



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

4
ВЫПУСК
2017

— МОСКВА —

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

В настоящее время одним из основных факторов, определяющих устойчивое развитие системы «природа – общество – человек», является взаимосвязь энергетики и глобального климата на нашей планете. Основные усилия международного сообщества по проблемам изменения климата направлены на достижение главных количественных показателей по ограничению эмиссии газов в атмосферу, достигнутых в конце 2015 г. Парижским соглашением Рамочной конвенции ООН по изменению климата. Несомненно, в XXI в. этому документу суждено оказать огромное влияние на все стороны жизни современного общества, и в первую очередь на масштабы и стереотипы потребления различных видов энергии, постепенный переход к «чистой» неуглеродной энергетике. В условиях неоиндустриального экономического уклада действенные меры по снижению антропогенного воздействия мировой экономики и энергетики на окружающую среду приобретают еще большую планетарную значимость.

В этом выпуске «Энергетической политики» представлены статьи и материалы исследований ведущих российских специалистов и экспертов по наиболее актуальным проблемам изменения климата, их тенденций и последствий, различным аспектам взаимосвязи энергетики и климатических условий. Полагаем, что опубликованные работы будут представлять интерес для всех заинтересованных читателей.

DEAR READERS!

Currently one of the main factors of sustainable development of system «nature – society – man» is the relationship between energy and global climate change on our planet. The international community for global climate change places a greater focus on achieving the main limiting values of gas emissions to the atmosphere approved in the Paris Agreement as part of the UN Framework Convention on Climate Change at the end of 2015. Undoubtedly, this document is destined to have a great influence on all the aspects of modern society life in the 21st century, and especially on the scale and stereotypes of different types of energy consumed along with a gradual transition to «clean» noncarbon energy. The neoindustrial economic order suggests an even greater planetary significance of effective measures required to reduce the man-made impact that the global economy and power industry have on the environment.

This «Energy Policy» issue presents articles and materials of studies conducted by leading Russian specialists and experts on the most urgent climate change problems, their trends and effects, various aspects of a relationship between the power industry and climate conditions. We suppose that the papers published will be of interest for all the readers concerned.



ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ, НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Выпуск **4** 2017

Издается с 1995 года

Редакционная коллегия:

В.В. Бушуев – д.т.н., профессор, генеральный директор ИЭС, главный редактор

Н.И. Воронай – д.т.н. чл.-корр. РАН, научный руководитель ИСЭМ СО РАН, зам. главного редактора

А.М. Мастепанов – д.э.н., профессор, зам. директора ИЭС, зам. главного редактора

В.В. Первухин – отв. секретарь, к.и.н., ИЭС

А.И. Громов – к.г.н., Фонд «Институт энергетики и финансов», директор по энергетическому направлению

А.Н. Дмитриевский – д.г.-м.н., академик РАН, научный руководитель ИПНГ РАН

В.А. Крюков – д.э.н., чл.-корр. РАН, зам. директора ИЭОПП СО РАН

Ю.Н. Кучеров – д.т.н., начальник департамента технического регулирования ОАО «СО ЕЭС»

А.А. Макаров – д.э.н., академик РАН, советник РАН

О.С. Попель – д.т.н., зам. директора ОИВТ РАН

В.В. Саенко – к.э.н., ИНП РАН

С.М. Сендеров – д.т.н., зам. директора ИСЭМ СО РАН

Ю.А. Станкевич – зам. председателя Комитета РСПП по энергетической политике и энергоэффективности

Е.А. Телегина – д.э.н., чл.-корр. РАН, декан факультета международного энергетического бизнеса РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Ю.К. Шафраник – д.э.н., председатель Совета директоров ЗАО «МНК «СоюзНефтеГаз»

А.Б. Яновский – д.э.н., зам. министра энергетики РФ

Учредители журнала «Энергетическая политика»: ЗАО «Глобализация и Устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии», Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
Издатель журнала ИЦ «Энергия».

Адрес редакции: 125009, Москва, Дегтярный пер., 9, оф. 011
Телефон ред.: (495) 229-42-41 (доб. 230)
E-mail: ies2@uamail.ru; krilosov@guies.ru
Web-site: <http://www.energystrategy.ru>

Выходит 6 раз в год

Ведущий редактор **С.И. Крылов**

Компьютерная верстка **В.М. Щербаков**

Отпечатано в типографии Onebook

Подписано в печать 28.08.2017

Формат 60х84/8

Бумага офсетная. Печать офсетная

Усл. печ. л. 11,62. Уч. изд. л. 12,5

Тираж 500 экз.

Заказ № 29 (67/02-99) ИЭС № 371

© ЗАО «Глобализация и Устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии», 2017
Журнал «Энергетическая политика» входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.
При перепечатке материалов ссылка на издание обязательна.



ПОБЕДИТЕЛЬ VII ВСЕРОССИЙСКОГО
ЖУРНАЛИСТСКОГО КОНКУРСА
«ЛУЧШАЯ ПУБЛИКАЦИЯ
ПО ПРОБЛЕМАМ ТЭК РОССИИ 2001 года»

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ЭНЕРГЕТИКА И КЛИМАТ

ENERGY AND CLIMATE

Обеспечение устойчивого развития энергетики.....	3
В.В. Бушуев. Энергетика и климат в системе «природа – общество – человек».....	6
V.V. Bushuev. Power generation and climate in the nature – society – man system	
А.М. Мастепанов. Климатическая политика в долгосрочных прогнозах развития мировой энергетики.....	10
A.M. Mastepanov. Climate policy in long-term forecasts of world energy development	
В.В. Клименко, А.Г. Терешин, Е.В. Федотова. Мировая энергетика, энергетические ресурсы планеты и глобальные изменения климата в XXI веке и за его пределами.....	26
V.V. Klimenko, A.G. Tereshin, E.V. Fedotova. World energy, fuel resources of the planet and global climate changes in the 21th century and beyond	
А.О. Кокорин. Изменения климата как основа Парижского соглашения.....	37
A.O. Kokorin. Climate change as basis of the Paris agreement	
А.А. Соловьянов. Климат, российская энергетика, Парижское соглашение.....	48
A.A. Solovyanov. Climate, Russian energy sector, Paris agreement	

В.Х. Бердин, М.М. Дыган, Ю.Ю. Посысаев, Г.М. Юлкин. Вклад России в достижение целей устойчивого развития ООН в области энергетики и климата.....	55
<i>V.H. Berdin, M.M. Dygan, Y.Y. Posysaev, G.M. Yulkin</i> Contribution of the Russian Federation to the achievement of the UN sustainable development goals in energy and climate	
В.М. Никитин, Н.В. Абасов, Т.В. Бережных, Е.Н. Осипчук. Ангара-Енисейский каскад ГЭС в условиях изменяющегося климата.....	62
<i>V.M. Nikitin, N.V. Abasov, T.V. Berezhnykh, E.N. Osipchuk.</i> Angara-Yenisei hydroelectric power chain under changing climate conditions	
Д.А. Соловьев, М.О. Моргунова, Т.С. Габдерахманова. Адаптация энергетической инфраструктуры в Арктике к климатическим изменениям с использованием возобновляемых источников энергии.....	72
<i>D.A. Solovyov, M.O. Morgunova, T.S. Gabderakhmanova.</i> Adaptation of Arctic energy infrastructure to climate changes using renewable energy sources	
В.И. Зоркальцев, И.В. Мокрый, И.И. Хажеев. Многолетние вариации зимних температур по регионам России и их влияние на надежность энергоснабжения.....	81
<i>V.I. Zorkaltsev, I.V. Mokry, I.I. Khazheev.</i> Multi-year variations in winter temperatures by Russian regions and their influence on energy supply security	
Е.П. Майсюк. Принципы и методы оценки эффективности природоохранных мероприятий в энергетике.....	92
<i>E.P. Maysyuk.</i> Principles and methods used for performance evaluation of environmental measures in power industry	

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ¹



Фото: <https://informburo.kz>

В формате «Восьмого Международного форума по энергетике в интересах устойчивого развития», прошедшего 11-14 июня 2017 г. в столице Республики Казахстан – городе Астане в рамках Международной специализированной выставки ЭКСПО-2017 «Энергия будущего», состоялась министерская конференция.

Международный форум по энергетике в интересах устойчивого развития является ежегодным мероприятием, организуемым пятью региональными комиссиями Организации Объединенных Наций с 2010 года.

После принятия в сентябре 2015 г. Генеральной Ассамблеей ООН повестки дня по «Устойчивому развитию – 2030» мир продолжает искать пути для достижения целей устойчивого развития и, в частности, выполнения Парижского соглашения об изменении климата. Для этого странам потребуется предпринимать согласо-

ванные действия с учетом своих национальных программ.

Энергия имеет решающее значение для достижения целей устойчивого развития – от искоренения нищеты до решения амбициозных задач в области здравоохранения, образования, водоснабжения и индустриализации, а также для предотвращения негативных последствий изменения климата.

Цель Восьмого форума по энергетике заключалась в согласовании подходов и решений на уровне министров энергетики стран-участниц мероприятия. Речь идет о сбалансированном «меню» вариантов конкретных шагов в рамках национальных программ государств. Связь между энергетикой и другими ключевыми проблемами развития (воды, продовольствия, здравоохранения, образования и т.д.) говорит о том, что могут возникать самые разнообразные возможности на фоне более широких межрегио-

¹ Материал подготовил В.В. Первухин – советник по международному энергетическому сотрудничеству Института энергетической стратегии, к.и.н., e-mail: valperv@yandex.ru

нальных перспектив и более комплексного подхода к принятию решений.

Каждый из предыдущих форумов способствовал переходу к новой, более совершенной энергетике в будущем. Так, например, Пятый форум (2014, Тунис) поставил перед странами задачу развития устойчивой энергетики. На Шестом форуме (2015, Армения) региональные комиссии ООН представили пять конкретных шагов, а на Седьмом форуме (2016, Азербайджан) был разработан конкретный план действий для международного сообщества по достижению общих целей.

Восьмой форум дал возможность осмыслить проведенную работу и достигнутые соглашения. В этом отношении особая роль была отведена министерской конференции, предварявшей начало работы форума. В мероприятии приняли участие генеральный директор ООН по промышленному развитию (ЮНИДО) Ли Йонг, вице-президент по вопросам Энергетического союза Европейской комиссии М. Шефчович, министр энергетики России А.В. Новак, министр энергетики Казахстана К. Бозумбаев, министр энергетики, промышленности и минеральных ресурсов Саудовской Аравии Х. аль-Фалих, главный исполнительный директор инициативы ООН «Устойчивая энергетика для всех» Р. Кайт и многие другие. Всего в работе форума участвовали около 2600 спикеров и делегатов.

Дискуссии в рамках 8-го форума и Министерской конференции вылились в обмен мнениями о запуске процесса трансформации, роли и значении регионального сотрудничества и планирования, необходимости взаимосвязанных решений и подходов для реализации повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. В центре внимания были также вопросы взаимосвязи использования ископаемого топлива, повышения энергоэффективности и развития ВИЭ, в т.ч. для решения климатических проблем.

М. Шефчович напомнил, что по Парижскому соглашению имеются национальные планы по снижению выбросов парниковых газов, и Евросоюз также предпринимает серьезные усилия в этом направлении.

А.В. Новак говорил о важности комплексного подхода к развитию энергетики, в том числе с учетом использования газа и атомной энергии

в мире. Несмотря на то, что повышение энергоэффективности и рост использования ВИЭ приведут к падению темпов увеличения спроса, российские эксперты рассчитывают на рост энергопотребления в течение следующих 20-ти лет более чем на 30%.

К. Бозумбаев признал, что Казахстан все еще отличается высокой энергоемкостью. Правительство республики ставит задачу снизить энергоемкость ВВП на 25% к 2020 г. и на 50% к 2050 г. путем модернизации экономики. Доля ВИЭ будет составлять к 2020 г. 3%, а к 2050 г. – 50%.

Х. аль-Фалих обратил внимание на развитие электромобилей, увеличение потребления газа домохозяйствами, развитие ВИЭ и т.д. Серьезные вызовы связаны с проблемой сохранения энергии, получаемой за счет ВИЭ, доставкой этих объемов до потребителей. По мнению саудовского министра, это потребует огромной энергетической структуры в мире.

Участники конференции, подчеркивая, что бизнес-сообщество играет важную роль в достижении целей устойчивого развития, указывали на необходимость надлежащего регулирования отношений между государственным и частным секторами, прозрачность процесса согласования подхода к решению задач устойчивого развития, основанного на взаимных интересах.

По итогам конференции принят документ под названием «Заявление министров. Доступ к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии». В заявлении министров признается, что энергия лежит в основе всех отраслей экономики. Для устойчивого развития мира государствам важно обеспечить доступ к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии и сократить объемы выбросов парниковых газов в энергетическом секторе. Повышение эффективности и сокращение выбросов будут иметь серьезное значение для достижения экологических целей. При этом будут учитываться национальные особенности стран и их экономик.

Поддержана разработка национальных планов действий в области устойчивой энергетики с учетом будущих энергетических потребностей государств и в соответствии с «Повесткой дня в области устойчивого развития на период

до 2030 года», Парижским соглашением об изменении климата. Будут приняты во внимание уже согласованные меры в области обеспечения энергоэффективности, уменьшения выбросов парниковых газов в энергетическом секторе и всеобщего доступа к энергии.

В заявлении министров энергетики отмечена инициатива Казахстана в создании Международного центра по развитию зеленых технологий и инвестиционных проектов «Энергия будущего» в Астане. Перед центром ставится задача оказания поддержки заинтересованным странам в таких областях, как реформирование энергетического рынка, энергоэффективность, возобновляемая энергетика, доступность энергии, энергетическая безопасность, финансы и инвестиции, технологии и базы данных по энергетике, индикаторы и анализ. Центру рекомендовано работать в сотрудничестве с соответствующими международными организациями и другими технологическими центрами.

Центр будет финансироваться Правительством Казахстана с привлечением добровольных внебюджетных ресурсов. Экспертная поддержка будет оказываться также заинтересованными организациями системы ООН, как-то: ПРООН, ЮНЕП, ЮНИДО, ЕЭК ООН и ЭСКАТО.

Министры выступают за развитие и распространение международно признанных минимальных стандартов энергоэффективности во всех секторах. В заявлении министров выражено стремление активно участвовать в международном диалоге по развитию технологий, укреплению энергетической политики и обмену передовым опытом. Будет оказываться содействие обеспечению доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех.

В заключение выражается пожелание вновь собраться под эгидой ООН для оценки прогресса в действиях государств по решению поставленных задач.

УДК 620.9+504.38 (100)

В.В. Бушуев¹

ЭНЕРГЕТИКА И КЛИМАТ В СИСТЕМЕ «ПРИРОДА – ОБЩЕСТВО – ЧЕЛОВЕК»

В статье дается обобщенное представление о взаимосвязи энергетики и климата на планете в увязке с природно-космическими, социотехногенными и эколого-гуманитарными процессами формирования и развития цивилизации. При этом автор утверждает, что антропогенное воздействие на глобальное потепление является лишь частью проблемы, искусственно затушевывающей все многообразие энерго-космического устойчивого развития системы «природа – общество – человек».

Ключевые слова: природа, климат, энергетика, экология, экономика, цивилизация.

Энергия – это работа, совершаемая внешними (космическими) силами по накоплению и трансформации природного потенциала Земли, обеспечивающего условия для жизнеобеспечения человечества, а также сама жизнедеятельность общества в процессе цивилизационного развития.

При этом экономика есть система хозяйственной деятельности, а экология – система гармонизаций отношений в нашем планетарном Доме – Экосе, включая триаду: природу – общество – человека. При этом одним из важнейших факторов существования и развития цивилизации является климат (как социоприродное явление), обеспечивающее «погоду в доме».

С одной стороны, климат является важнейшим энергетическим природным потенциалом, определяя возможности среды обитания человеческого сообщества; с другой – человек стремится создать свой микроклимат в этой среде, чтобы ему комфортнее было жить и развиваться.

Поэтому нельзя сводить энергию только к антропогенной (точнее – техногенной) хозяйственной деятельности, а экологию воспринимать только как охрану окружающей среды от вредных отходов этой деятельности. Противопоставление экономики и экологии в процессе энергетической деятельности человека не только неконструктивно, но и опасно для устойчивого развития цивилизации.

Недаром на 1-й Конференции 1972 г. в Рио-де-Жанейро по устойчивому развитию была высказана принципиально правильная мысль: экономика без экологии – это дорога в тупик, а экология без экономики – это путь в никуда.

К сожалению, в последние годы вновь обострились крайние суждения о необходимости ограничения энергетического и вообще хозяйственного развития в пользу так называемой экологической безопасности самого существования человечества. А комплексные изменения климата на планете стали сводиться лишь к проблеме глобального потепления, в основном из-за резкого увеличения выбросов парниковых газов при сжигании углеводородного топлива.

Не отрицая эту обеспокоенность мировой общественности, нельзя не видеть весьма однобокого подхода к общеклиматическим изменениям на планете, обусловленным как общеприродными (космическими) многолетними (многовековыми) флуктуациями температурного режима в ионосфере и приземном слое, так и неумением общества не просто ограничить использование природных (в первую очередь топливно-энергетических) ресурсов, а создать природоподобные безотходные технологии комплексного использования этих ресурсов. В природе нет вредных отходов. Она превращает одни продукты своей энергетической деятельности в новые потенциальные ресурсы: энергохимические продукты, образующиеся при формировании углеводородов в недрах за счет воздействия Солнца – в топливно-энергетические ресурсы, продукты гниения и сжигания древесины – в удобрения, выбросы парниковых газов – в питательную среду для роста «зеленой массы», таяние ледников – в запасы пресной воды и т.д. Человек же оставляет после себя массу ненужных и вредных отходов, предоставляя самой природе позаботиться об их утилизации и воспроизводстве полезных продуктов.

¹ Виталий Васильевич Бушуев – генеральный директор Института энергетической стратегии, профессор, д.т.н., e-mail: vital@df.ru

Поэтому основная задача цивилизации – это гармонизация отношений природы и общества не только (и не столько) от сокращения используемых ресурсов, а от повышения экологической эффективности своей деятельности. А энергетика, как система этой жизнедеятельности, может и должна не сворачивать рост материальных и культурных (духовных) человеческих потребностей, а делать эти потребности более разумными. Главное – не просто сохранять пределы устойчивости экономического развития, а отодвигать эти пределы за счет комплексного безотходного использования природных ресурсов во благо дальнейшего развития цивилизации на Земле.

Возвращаясь к проблеме климата в Доме – Экосе, необходимо формулировать задачу новой цивилизации – не просто сохранять статус-кво, а увеличивать (расширять) климатические условия для нормальной жизнедеятельности растущего по численности населения, стремящегося к комфортному общежитию во всех регионах планеты.

Климат – это не только температурный режим в земной атмосфере, это – энергетический баланс нашей планеты. Энергетический баланс Земли зависит от внешнего потока солнечной (космической) энергии и обратной реакции планеты, обусловленной ее накопленным потенциалом.

Мощность солнечного излучения, приходящего на Землю, оценивается в 1,2 млн ТВт, что более чем в 10 тыс. раз превышает мощность всех электростанций в мире. А потенциальная мощность энергии, накопленной в Земле, составляет всего 30 ТВт. Однако ее оказывается достаточно, чтобы вызывать природные катастрофы, оказывающие долгосрочное влияние на такие характеристики земной атмосферы как ее температура, влажность, пыленасыщенность, ураганы. В конечном итоге это проявляется в долгосрочных и более коротких климатических изменениях как на планете в целом, так и в различных зонах.

Необходимо также учитывать, что в сложной системе, где все факторы находятся во взаимоотношениях, нельзя выделить однозначно причину и следствие.

Но дело даже не в количественных сопоставлениях, а в том, что все эти потоки энергии (прямые и обратные) создают достаточно сложную энергоклиматическую картину в атмосфере Земли. Так, выбросы парниковых газов из морей и океанов провоцируются повышением поверхностной температуры, но и сама температура зависит от этих выбросов. Эти обратные связи могут быть как положительными, провоцируя нарастание процесса до определенного уровня, так и отрицательными, стабилизируя его развитие.

И тот и другой потоки энергии не остаются неизменными как во времени, так и в пространстве. Они зависят от вращения Земли вокруг своей оси и обращения Земли вокруг Солнца. А эти динамические параметры, в свою очередь, подвержены как длительным планетарным циклам, так и сравнительно коротким (12, 36 лет) флуктуациям. Обратные энергетические потоки в атмосферную зону вызваны как высвобождением энергии гидросферы и литосферы планеты при превышении их емкостных запасов, так и биогенной, антропогенной и техногенной деятельностью живых существ.

Поскольку в разных зонах околоземной поверхности (вблизи морей и рек, гор, пустынь, тундры, лесных массивов и городских агломераций) действие всех этих факторов проявляется неодинаково, то говорить о едином климате на планете, точнее – его динамических изменениях, неправомерно. Попытки увязать эти климатические характеристики лишь с одним параметром – температурой в приземном слое, на наш взгляд, не соответствуют системному подходу к общей картине энергоклиматических изменений на планете. Тем более что на планете существует 13 климатических поясов (арктический, умеренный, экваториальный и т.д.), в каждом из которых действие внешних и внутренних энергетических потоков проявляется по-разному. Поэтому говорить о каком-либо однонаправленном тренде – глобальном потеплении климата на планете – неправомерно ни с научной, ни с социально-политической точки зрения. Для одних районов это прогнозируемое потепление (если оно все-таки будет иметь место) будет благом – в частности для северо-восточной части Евразии; для других – районов Центральной Африки –

катастрофичным. Но, учитывая периодичность многих климатических изменений (наступления и отката ледниковых периодов, повторяющихся засух и обводнения Сахары и Арало-Каспийской впадины, освобождения ото льдов Севморпути в прошлом и усложнения ледовой обстановки в ряде арктических регионов, наводнений и летних заморозков в Европе), говорить об однозначных тенденциях глобального потепления, и уж тем более искать его однозначную причину в антропогенной (техногенной) деятельности индустриальной цивилизации – неправомерно.

Учитывая все более значимую (в количественном отношении) роль внешних факторов – динамических космоэнергетических процессов, представляется необходимым и целесообразным рассмотреть модели «Земля – Солнце» как модели «электрического динамо» [1].

Ток, наводящийся на поверхность Земли, определяет смещение оси магнитного поля нашей планеты, направления основных океанических течений, распределение теплых и холодных зон, движение материковых плит, а также основные потоки миграции птиц, животных и человеческих сообществ. Теллурический ток в теле планеты, имеющий космическое происхождение, увлекает за собой потоки водных и воздушных масс. Так, проекция этого тока на плоскости Земли имеет вид синусоиды и совпадает по направлению с Гольфстримом и основными Тихоокеанскими течениями.

Накапливаясь в энергетически активных зонах планеты, этот потенциал формирует условия для зарождения атмосферных и водяных вихрей – тайфунов, охватывающих огромные территории и обладающих большой разрушительной силой. По крайней мере, энергия этих природных явлений в сотни раз превышает мощность всех электростанций мира. Но в космопланетарной динамо-машине этот наведенный ток не остается неизменным, а перемещается по поверхности Земли со скоростью 40-45 градусов за 150 лет. Пульсации скорости вращения Земли всего на 1 секунду в год приводят к высвобождению (или поглощению) энергии – 1014 кВт·ч, что на порядок больше, чем в результате промышленной деятельности человека. В результате смещения тока по поверхности Земли происходит смещение энергоактивных зон планеты, а

вслед за этим – изменение глобальных морских течений, омывающих берега континентов.

По этой модели к концу XXI в. холодная зона сместится в северо-западные районы Евразии (в том числе в районы Скандинавии), а теплая зона – в южные районы Европы, провоцируя усиление там геомагнитной активности, засухи и лесных пожаров.

К сожалению, эти энергоклиматические модели Земли еще недостаточно разработаны. Но только рассматривая земные процессы как сочетание природно-космических и техногенных явлений, можно сформулировать более достоверную картину будущего нашей планеты.

И еще одно замечание – нельзя сводить техногенное влияние на климат только к проблеме сжигания углеводородного топлива. Известно, что строительство ГЭС Ангаро-Енисейского каскада в Сибири привело не только к региональному изменению климата (повышению влажности в районе Красноярска), но и имело более далеко идущие планетарные последствия.

Изменение стока сибирских рек привело к появлению наносов в их устье, что изменило условия для течения в северо-западной части Ледовитого океана. И большая часть энергии Гольфстрима оказалась энергетически запертой в Атлантическом океане, приводя к изменению климата на западном побережье Евразии (во Франции и Англии). К сожалению, эти факты не были проанализированы мировой научной климатической общественностью, и пока остаются лишь гипотезами.

Но хорошо известно, что строительство ГЭС Волжского каскада (включая Чебоксарскую, Куйбышевскую, Цимлянскую и др.) имело различные последствия не только для энергетики, но и для судоходства, ирригации, рыбозаповедения, сельского хозяйства и климата региона.

Но этот комплексный эффект имел массу положительных и негативных последствий. На основе энергетического потенциала сооружаемых ГЭС (появление новых мощностей, строительных организаций, инфраструктуры) созданы территориально-производственные комплексы в Тольятти, Волгограде, Ростове-на-Дону. То же – и в районах строительства ГЭС в Сибири (Красноярской, Саяно-Шушенской, Усть-Илимской, Братской и др.). И мерить этот ком-

плексный эффект только одной (положительной или отрицательной) оценкой неправомерно. Если в СССР еще учитывался приведенный народно-хозяйственный эффект, то сейчас такой показатель попросту отсутствует. Не говоря уже о том, что строительство ГЭС и других водно-хозяйственных объектов имеет не только комплексное социально-экономическое, но и энергоэкологическое значение.

В Программе развития гидроэнергетики России до 2050 г. и далее [2] делается попытка обосновать значение комплексного использования водных ресурсов на востоке страны, однако вопрос о комплексной экологической оценке предлагаемых решений пока даже не ставился. В лучшем случае оцениваются объемы вредно-

го воздействия на прилегающую территорию, а задача иная – сформулировать условия для повышения экологической эффективности принимаемых решений.

Еще более значима эта проблема для водно-энергетического района Центральной Азии, где вода становится важнейшим структурным потенциалом развития региона. И при этом необходимо учитывать, что этот потенциал включает в себя и климатические аспекты. Причем климат следует рассматривать не просто как характеристику природной среды, подверженную влиянию природных и социальных энергетических проявлений, а как показатель экологической эффективности (гармонизации отношений) в системе «природа – общество – человек».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушуев В.В., Копылов И.П. *Энергоскопизм России*. М.: Энергия, 2003, 184 с.

2. Богуш Б.Б., Хазиахметов Р.М., Бушуев В.В и др. *Основные положения программы развития гидроэнергетики России до 2035 года и на перспективу до 2050 года // Энергетическая политика*, 2016, № 1. С. 3-20.

Поступила в редакцию
04.08.2017 г.

V.V. Bushuev²

POWER GENERATION AND CLIMATE IN THE NATURE – SOCIETY – MAN SYSTEM

The article summarizes a relationship between the power generation and climate on our planet coupled with the space natural, anthropogenic social and human ecology processes of civilization formation and development. The author asserts that the anthropogenic impact on global warming is only part of the problem that artificially smoothes over the diversity of the Nature – Society – Man system sustainability in terms of space energy development.

Key words: nature, climate, power generation, ecology, economy, civilization.

² Vitaly V. Bushuev – Director General with Institute for Energy Strategy, professor, Doctor of Engineering, e-mail: vital@df.ru

УДК 504.38+620.9 (100)

А.М. Мастепанов¹

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗАХ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В статье рассмотрено отражение вопросов глобального изменения климата, необходимости снижения эмиссии парниковых газов, роста эффективности использования энергетических и других природных ресурсов, опережающего развития неуглеродной энергетики в долгосрочных энергетических прогнозах, разработанных наиболее авторитетными аналитическими организациями мира. Проанализированы основные климат-ориентированные сценарии таких прогнозов.

Ключевые слова: климатическая политика, мировая энергетика, прогнозы и сценарии, МЭА, Парижское климатическое соглашение, декарбонизация, ВИЭ, энергоэффективность.

Глобальное изменение климата в XXI в. является главным вызовом развитию человечества, отмечается в «Руководстве ПРООН по разработке стратегий низкоуглеродного климатически устойчивого развития» [1]. К такому невеселому выводу авторы руководства пришли еще в 2011 г., проанализировав многочисленные прогнозы, касающиеся климатических изменений и их последствий («самых суровых, если не сказать катастрофических») для всех отраслей экономики (сельского хозяйства, промышленности, энергетики, водного хозяйства и т.д.). Глобальное потепление приведет к непредсказуемым и экстремальным погодным явлениям, наводнениям, засухам и подъему уровня Мирового океана, что может самым негативным образом отразиться на запасах пищи и воды, здоровье человека, состоянии экосистем и биоразнообразии [1].

Изменение климата нередко сводят к глобальному потеплению. Вместе с тем, как отмечают специалисты, повышение температуры приземного слоя атмосферы – наиболее заметное из всех изменений климатических переменных, однако далеко не единственное. Не менее важны:

- повышение температурных амплитуд (рост континентальности климата);
- изменение количества осадков (уровень выпадения осадков возрастает в среднем по планете, однако снижается в «сухих» регионах), а также увеличение неравномерности их выпадения;

- общее сокращение площади горных и поверхностных ледников, а также таяние вечной мерзлоты;
- повышение уровня Мирового океана, увеличение частоты и интенсивности гидрометеорологических стихийных бедствий и др. [2, 3].

Причем изменение климата с точки зрения его влияния на мировую экономику не только представляет собой масштабную природную опасность, но и является катализатором разнонаправленных изменений во многих отраслях хозяйственной деятельности. Связанное с нехваткой пресной воды, продовольственной проблемой, стихийными бедствиями, миграциями, а также перспективами развития целого ряда ключевых отраслей – энергетики, транспорта, строительства, сельского хозяйства – изменение климата тесно вплелось в клубок глобальных экономических процессов [2].

Наиболее полные научные данные о глобальном изменении климата, его причинах и воздействии изменения климата на естественные и антропогенные системы, а также прогнозы климатических изменений до 2100 г. приведены в 5-м оценочном докладе, подготовленном МГЭИК в 2013-2014 годах. В нем же содержатся и рекомендации по смягчению изменений климата путем сокращения антропогенных выбросов в атмосферу парниковых газов в глобальном масштабе [4].

Естественно, что проблемы глобального изменения климата нашли самое непосредственное отражение и в долгосрочных прогнозах развития мировой энергетики.

¹ Алексей Михайлович Мастепанов – заместитель директора Института энергетической стратегии, д.э.н., академик РАЕН, профессор, e-mail: amastepanov@mail.ru

В последние десятилетия таким долгосрочным прогнозированием занимаются сотни национальных и международных коллективов и десятки тысяч специалистов в самых разных странах – и экспортерах энергоресурсов, и их потребителях. Наибольшим авторитетом среди специалистов в настоящее время пользуются прогнозы, разработанные Международным энергетическим агентством (МЭА), Управлением энергетической информации Министерства энергетики США, Секретариатом ОПЕК, Мировым энергетическим советом (МИРЭС) в сотрудничестве с Accenture Strategy и Институтом Пауля Шерпера, компаниями British Petroleum, ExxonMobil, Shell и др. Набирают популярность и аналогичные совместно разработанные прогнозы ИНЭИ РАН и Аналитического центра при Правительстве РФ.

В разрабатываемых прогнозах имеется, как правило, целая гамма (до 5-7) различных сценариев развития мировой энергетики, в том числе – климат-ориентированных, которые охватывают практически все возможные варианты ее развития, показывающих множество возможных вариантов в отношении и источников энергии, и технологий, и инструментов энергетической политики. Такие специальные климат-ориентированные сценарии в настоящее время обязательно присутствуют в прогнозах МЭА, МИРЭС и Секретариата ОПЕК. Но даже в тех прогнозах, где специальных климат-ориентированных сценариев нет, отдельные вопросы глобального изменения климата, необходимости снижения эмиссии парниковых газов, роста эффективности использования энергетических и других природных ресурсов, опережающего развития неуглеродной энергетики отражены достаточно подробно.

В 5-м оценочном докладе МГЭИК сделан и важнейший для энергетики вывод, поскольку именно энергетика в настоящее время является основным источником выбросов CO₂: «Антропогенные выбросы парниковых газов, вызванные в основном экономическим ростом и увеличением населения, возросли относитель-

но доиндустриальной эпохи, и сейчас они как никогда значительные. Это привело к беспрецедентным уровням атмосферных концентраций диоксида углерода, метана и закиси азота, по крайней мере – за последние 800 000 лет. Их воздействия совместно с воздействиями других антропогенных факторов обнаружены во всей климатической системе и крайне вероятно, что они являются главной причиной потепления, наблюдаемого с середины XX века». Соответственно, «для ограничения изменения климата потребуются существенное и устойчивое сокращение выбросов парниковых газов, которые в сочетании с адаптацией могут ограничить риски изменения климата» [5].

Климатическое соглашение, достигнутое в Париже 12 декабря 2015 г. в ходе COP-21², придало дополнительный импульс дискуссии о месте угля, нефти и газа в мировом энергобалансе будущего³. А поскольку основные выбросы парниковых газов связаны с углеродной энергетикой, то реализация Парижского соглашения напрямую скажется на роли этих энергоресурсов в перспективном энергообеспечении человечества.

Естественно, что воздействия на мировое энергопотребление реализации этого соглашения, вступившего в силу 4 ноября 2016 г., в полной мере во многих прогнозах пока еще не видно. Однако, поскольку подготовка Парижского соглашения велась не один год, многие исследовательские центры были к его подписанию вполне готовы, тем более что процесс роста инвестиций в низкоуглеродные технологии и повышение энергоэффективности, особенно в возобновляемые источники энергии, наблюдается уже не один год.

Так, в прогнозе МЭА, сделанном в 2016 г. (*WEO-2016*), специально подчеркивается, что на приводимые в нем прогнозы существенно повлияли как цели, «поставленные в Париже», так и «меры, которые правительства объявили для их достижения». Важно и то, подчеркивается в *WEO-2016*, что когда-то очень предсказуемая зависимость между ростом экономики, спросом

² 21-й конференции, проводимой в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата – РКИК.

³ В соответствии с соглашением, страны-подписанты поставили задачу удержания прироста глобальной средней температуры поверхности планеты к середине текущего столетия на уровне «намного ниже 2 °C сверх доиндустриальных уровней», и договорились продолжать усилия в целях ограничения роста этой температуры до 1,5 °C [6]. Следует, однако, отметить, что полного понимания того, что стоит за понятием «намного/значительно ниже» у специалистов нет. Соответственно, нет и полного понимания того, что необходимо сделать для достижения такой цели.

Таблица 1

Основные параметры прогноза в различных сценариях WEO-2016

Сценарии WEO-2016	Всего, млн т н.э.	В том числе:					Инвестиции*		Объем эмиссии CO ₂ , Гт
		Жидкие виды топлива	Природный газ	Уголь	Атомная энергия	Гидро-энергия и др. ВИЭ	Всего	в т.ч. - энерго-эффект	
Новых политик	17 866	4775	4313	4140	1181	3456	66 589	22 980	36,3
Текущих политик	19 636	5402	4718	5327	1032	3158	64 535	15 437	43,7
450	14 878	3326	3301	2000	1590	4662	74 933	35 042	18,4

Примечание: * – суммарные инвестиции за 2016-2040 гг., млрд долл. (в ценах 2015 г.).

Источник: по данным [7].

на энергоресурсы и энергию и объемом эмиссии углекислого газа (выбросами CO₂), в 2014-2015 гг. начала ослабевать. Соответственно, во всех трех уже ставших традиционными для МЭА сценариях – *Сценарии новых политик* (в последние годы ставшим базовым), *Сценарии текущих политик* и в климат-ориентированном *Сценарии «450»* – учтены как первые шаги мирового сообщества на путях ограничения глобального потепления ниже 2 °С, так и политические заявления основных мировых акторов [7].

Кроме того, в WEO-2016 представлено два дополнительных сценария, в которых сделана попытка более подробно рассмотреть возмож-

ности ограничения роста глобального потепления ниже 2 °С по сравнению с доиндустриальным уровнем (2 °С Scenario), и даже до 1,5 °С (1,5 °С Scenario). И хотя в Основном сценарии МЭА заложен рост всех видов ископаемого топлива, в Сценарии «450» к 2040 г. потребление нефти возвращается к уровню конца 1990-х – менее 75 млн баррелей/сутки. Основные параметры этих сценариев показаны в табл. 1 и на рис. 1 и 2.

Прогноз WEO-2016 МЭА дополняется вышедшим в том же году обзором *Energy Technology Perspectives 2016*. В нем, в Сценарии 2 °С (Scenario 2DS), ставится задача путем

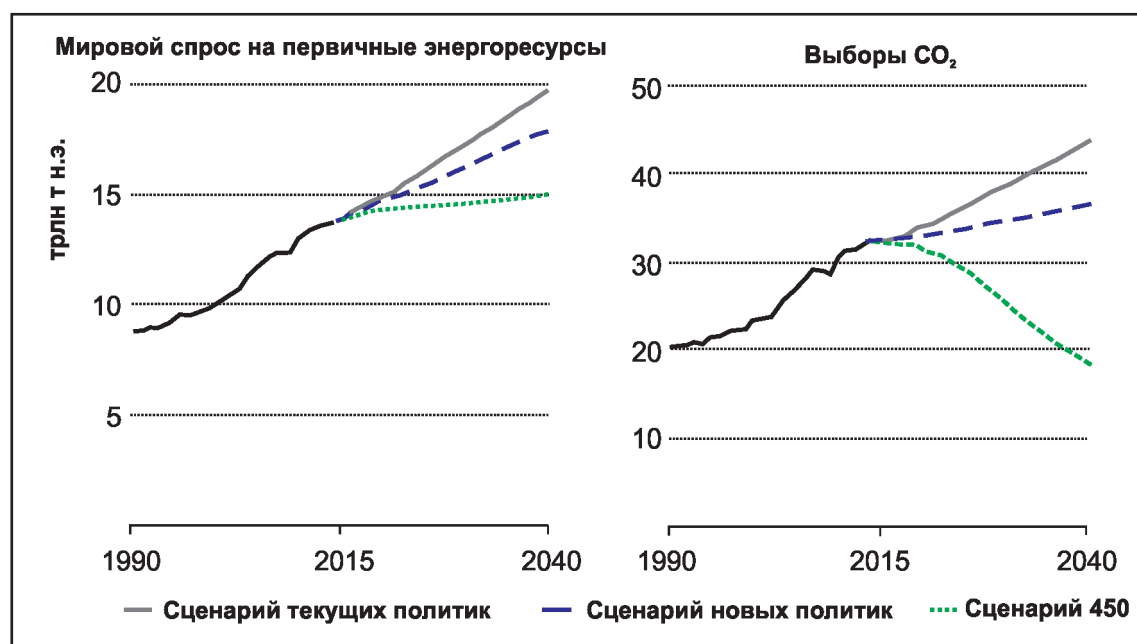


Рис. 1. Динамика и объемы мирового спроса на первичные энергоресурсы и выбросов CO₂ в различных сценариях WEO-2016

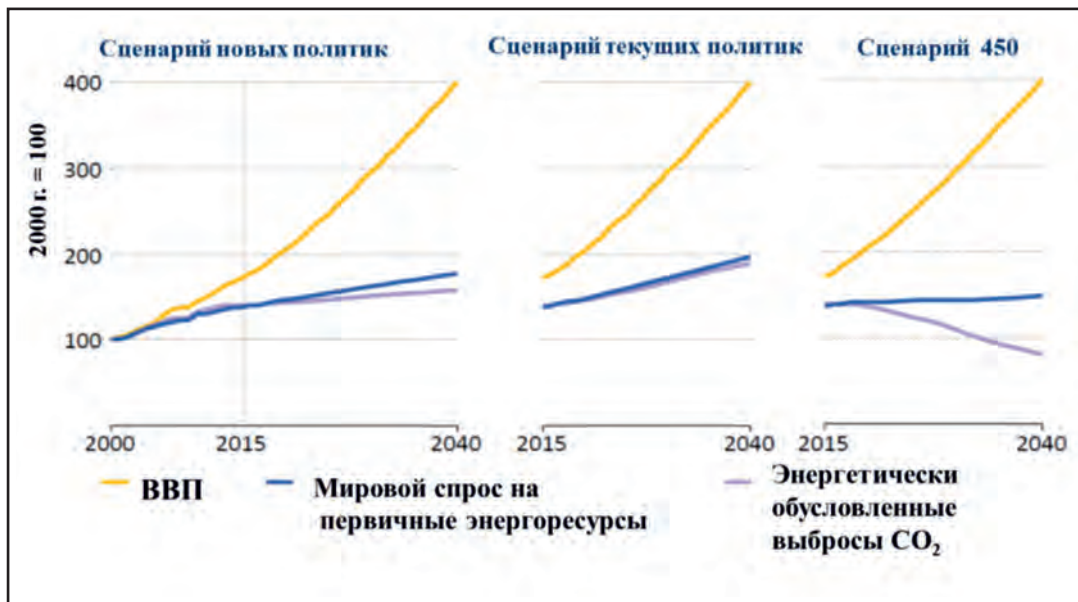


Рис. 2. Динамика ВВП, мирового спроса на первичные энергоресурсы и выбросов CO_2 в различных сценариях WEO-2016

развертывания низкоуглеродных технологий как при производстве, транспорте и преобразовании топлива, так и при его потреблении конечными потребителями, снизить спрос на первичную энергию к 2050 г. на 30%, а выбросы углерода в энергосистеме – на 70%, то есть вдвое относительно текущего уровня [8]. По мнению авторов этого обзора, в Сценарии 2DS инвестиционные затраты в электроэнергетике и в трех секторах конечного потребления (здания, промышленность и транспорт) не потребуют от мировой экономики значительных дополнительных усилий по финансированию. Декарбонизация электроэнергетики в Сценарии 2 °C с 2016 г. по 2050 г. потребует 9 трлн долл. (что соответствует 0,1% совокупного мирового ВВП за этот же период). Достижение уровня энергоэффективности, предусмотренного в Сценарии 2 °C в зданиях, промышленности и на транспорте, потребует суммарных дополнительных инвестиционных затрат за тот же период на уровне 3 трлн долл. [8].

Выше уже отмечалось, что у специалистов пока нет полного понимания того, что стоит за поставленной в Парижском соглашении целью «удержания прироста глобальной средней температуры намного ниже 2 °C сверх доиндустриальных уровней и приложения усилий в целях ограничения роста температуры до 1,5 °C». По-

пытка разобраться в этом как раз и сделана в WEO-2016: «Все климатические обязательства около 190 стран по Парижскому соглашению были детально проанализированы и включены в наш Основной сценарий. Более жесткие варианты декарбонизации, рассмотренные в WEO-2016, включают не только Сценарий 450 (соответствующий 50% вероятности ограничения глобального потепления на уровне до 2 °C), но также и первый анализ путей для возможного дальнейшего ограничения потепления» [7].

В частности, в WEO-2016 отмечается, что одним из возможных путей достижения цели «намного ниже 2 °C» является сокращение совокупного бюджета выбросов CO_2 в энергетическом секторе к 2100 г. до 830 млрд т, что на 250 млрд т ниже уровня Сценария 450. При этом выбросы энергетического сектора должны были бы стать равными нулю примерно к 2060 г. Признается также, что подобная задача потребует значительно большего наращивания низкоуглеродных технологий, чем в Сценарии 450. Например, для этого потребуются иметь на дорогах уже к 2040 г. 1,5 млрд пассажирских транспортных средств, что более чем в два раза превышает уровень Сценария 450. В электроэнергетике к этому же сроку необходимо будет довести долю низкоуглеродной энергетической мощности

почти до 80%. Соответственно, спрос на нефть упадет в этом случае к 2040 г. до 63 млн баррелей/сут., что примерно на 11 млн баррелей/сут. ниже, чем в Сценарии 450. Спрос на газ и уголь будет, соответственно, ниже на 370 млрд м³ и на 110 млн т у.т. [7, 8].

Достижение же цели «не допустить повышения температуры свыше 1,5 °C» создаст для энергетики дополнительные трудности, поскольку оно может потребовать достижения нулевых выбросов уже в 2040 году. Для этого все секторы конечного потребления должны быть электрифицированы беспрецедентными темпами и практически все производство электроэнергии и тепла должно быть низкоуглеродистым. А это, в свою очередь, по убеждению специалистов МЭА, потребует быстрого внедрения биомассы⁴ и технологий улавливания и хранения углерода для компенсации остаточных выбросов от использования ископаемого топлива в тех отраслях, где его трудно заменить.

В целом же для того чтобы не допустить повышения температуры свыше 1,5 °C, необходимо будет добиться немедленных радикальных сокращений выбросов CO₂, используя все известные технологические, поведенческие и нормативные методы декарбонизации, независимо от того, будут или нет созданы соответствующие эффективные технологии [8]⁵.

Прогностические сценарии МИРЭС отличаются не только стремлением заглянуть в достаточно далекое будущее (Сценарии 2013 г. – *World Energy Scenarios /2013* – имеют период прогнозирования до 2050 г. [11], а Сценарии 2016 г. – *World Energy Scenarios /2016* – до 2060 г. [12]), но и базируются на достаточно оригинальной философии. В ее основе лежит концепция «энергетической трилеммы»: энергетическая безопасность, энергетическое равенство (*всеобщая доступность энергии*) и экологическая устойчивость, предполагающая поиск решений в пользу безопасной, доступной и экологич-

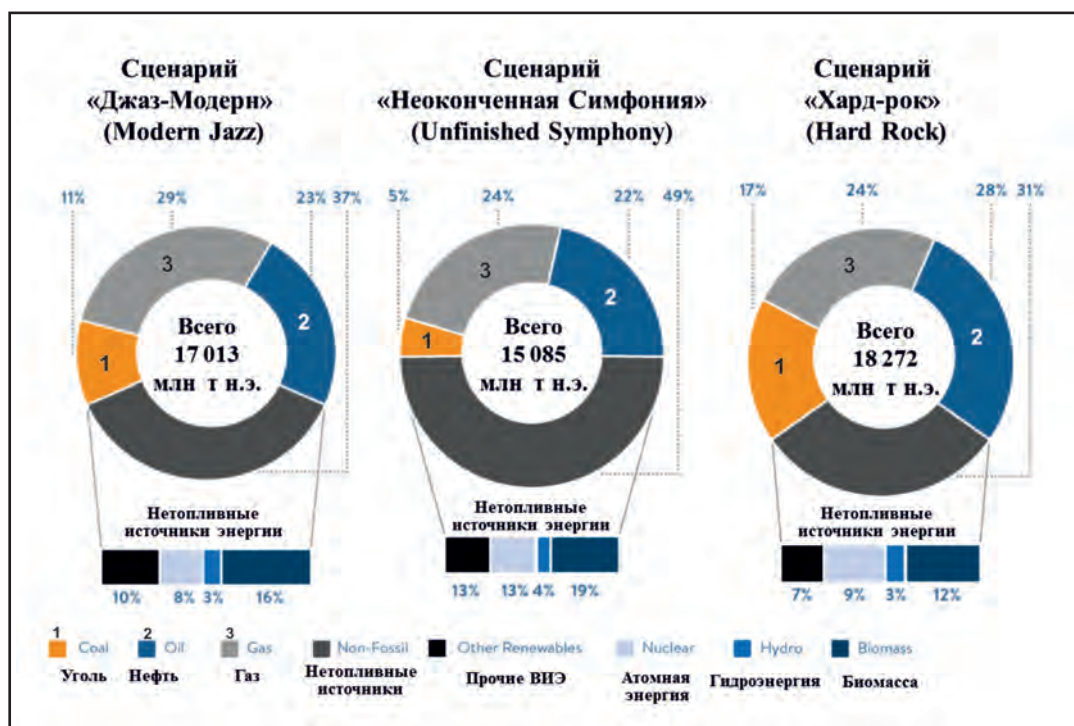
ной энергии. В последние годы эта концепция была дополнена философией «Великого перехода» в мир с низкими темпами роста населения, принципиально новыми технологиями, новыми экологическими вызовами и более глубоким пониманием экологических границ планеты, с измененной экономической и геополитической мощью в пользу Азии. Перехода, который является предпосылкой создания фундаментально нового мира для всей энергетической отрасли.

Не будучи направленными на какие-либо конкретные цели (например, сокращение выбросов CO₂), сценарии МИРЭС первоначально основывались на оценке перспектив энергетики исходя из двух принципиально разных траекторий ее возможного развития. Отсюда и два собственно сценария, опубликованных в 2013 г.: сценарий «Джаз» как более рассредоточенный, и сценарий «Симфония» как более организованный. В первом делается упор на энергетическое равенство с уделением приоритетного внимания обеспечению индивидуального доступа к энергии и ее доступности за счет экономического роста. «Симфония» имеет направленность на достижение экологической устойчивости на основе скоординированных на международном уровне политике и практике. Причем, как признают сами разработчики, ни один из этих сценариев, показывающих множество возможных вариантов в отношении и источников энергии, и технологий, и инструментов энергетической политики, а также различных геополитических сдвигов, не является ни абсолютно хорошим, ни абсолютно плохим, исходя из требований энергетической трилеммы. В этом смысле оба сценария МИРЭС являются базовыми, отличаясь друг от друга разным соотношением (балансом) между рыночной инициативой и государственным управлением.

В соответствии с философией «Великого перехода» в сценариях 2016 г. (WES/2016) разработаны три новых поисковых сценария,

⁴ Следует отметить, что в настоящее время в мире продолжается оживленная общественная и научная дискуссия по поводу фактических выбросов при использовании биомассы (биоэнергии) – в какой степени она является углеродно-нейтральной и на какие сроки. Сторонники утверждают, что, хотя сжигание биомассы приведет к выбросам углерода, деревья, которые были вырублены, вырастут снова, и в конечном итоге поглотят высвободившийся углерод из атмосферы обратно. Оппоненты же исходят из того, что даже если сказанное сторонниками и правда – а это также зависит от типа биомассы – то этот процесс может занять десятилетия, и все это время выделяющийся углекислый газ будет способствовать потеплению атмосферы. Подробнее см. [9]. Добавим к этому – соответствующие новые леса еще должны быть посажены и выращены.

⁵ Подробнее о климат-ориентированных сценариях в прогнозах МЭА см., например, [10].



Источник: [12].

Рис. 3. Структура мирового потребления первичных энергоресурсов в различных сценариях прогноза МИРЭС 2016 года

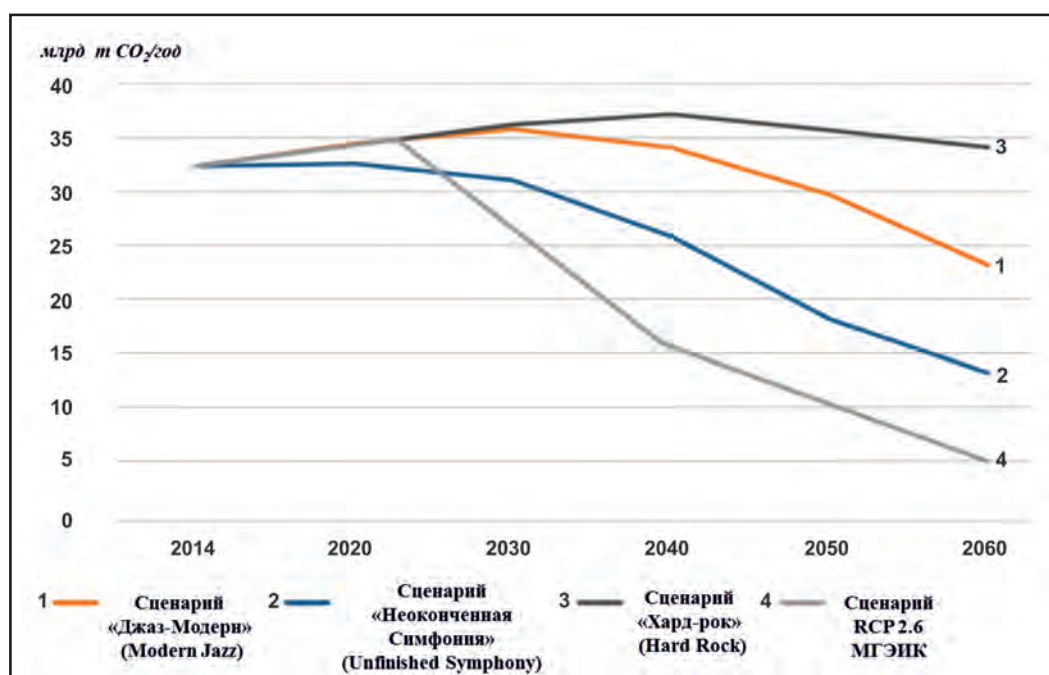


Источник: [12].

Рис. 4. Выбросы углекислого газа в 2014, 2060 гг., млрд т CO_2 / год

метафорически названных «Джаз-модерн», «Неоконченная симфония» и «Хард-рок». Эти сценарии очерчивают для энергетических лидеров некие рамки поведения и дают основу для размышлений об очень неопределенном будущем. Как отмечают разработчики, «Джаз-модерн» представляет собой «цифровые по-

межи» инновационного и рыночно ориентированного мира. «Неоконченная симфония» – это мир, в котором модели более «умного» и устойчивого экономического роста направляют его в низкоуглеродное будущее. «Хард-рок» исследует последствия более слабого и неустойчивого экономического роста в условиях изоляционист-



Источник: [12].

Рис. 5. Динамика глобальных выбросов CO₂ в различных сценариях WES/2016 в сравнении со сценарием RCP 2.6 МГЭИК⁶

ской политики. Все три сценария количественно наполнены с помощью глобальной многорегиональной модели энергетической системы.

Поисковые сценарии МИРЭС, в соответствии с заложенной в них философией, существенно отличаются друг от друга. В прогнозе 2016 г. суммарный спрос в мире на первичную энергию возрастет к 2060 г., по сравнению с 2014 г., на 10% в сценарии «Неоконченная симфония» (до 15085 млн т н.э.), на 25% в сценарии «Джаз-модерн» (до 17013 млн т н.э.) и на 34% в сценарии «Хард-рок» (до 18272 млн т н.э.). При этом меняется и структура покрытия этого спроса (рис. 3). Удельный вес в нем нетопливной энергетики (атомной и гидроэнергии, биомассы и других ВИЭ) составит 29% в сценарии «Хард-рок», 37% – в сценарии «Джаз-модерн» и 49% в сценарии «Неоконченная симфония».

Соответственно различается и ожидаемая динамика выбросов углекислого газа (рис. 4 и 5).

Отметим также, что, согласно этому прогнозу МИРЭС, спрос на электроэнергию в мире к 2060 г. удвоится. При этом наиболее быстро ее производство будет расти на ветровых и солнечных установках. В результате доля солнечной и ветряной генерации в суммарном производстве электроэнергии в мире увеличится с менее чем 4% в настоящее время, до 20-39% в 2060 году. Кроме того, во всех сценариях развития энергетики до 2060 г. прогнозируется увеличение потребления газа⁷.

Два дополнительных климат-ориентированных сценария разработано и в последнем прогнозе **Секретариата ОПЕК**, опубликованном в 2016 г. – *World Oil Outlook 2016* [15]. Оба эти сценария направлены на снижение выбросов парниковых газов более быстрыми темпами, чем в базовом сценарии. При этом в *Сценарии «А»* основной акцент делается на росте энергоэффективности и структурных изменениях в гене-

⁶ Сценарий RCP 2.6 – жесткий сценарий смягчения воздействий изменения климата, в котором траектория концентраций репрезентативна для сценария, стремящегося сохранить потепление на уровне, вероятно, ниже 2 °С относительно температур в доиндустриальный период. Как отмечается в 5-м оценочном докладе МГЭИК, большинство моделей показывает, что сценарии, соответствующие уровням воздействия, аналогичным RCP 2.6, характеризуются существенными отрицательными чистыми выбросами к 2100 г., равными приблизительно 2 млрд т CO₂/год. Всего в ходе подготовки 5-го доклада рабочей группой было рассмотрено около 300 базовых сценариев, 900 сценариев смягчения воздействия [4].

⁷ Подробнее о прогнозах МИРЭС см., например, [13, 14].

Таблица 2

Объем (млн баррелей н.э./сут.) и структура мирового потребления первичных энергоресурсов в 2040 г. в различных сценариях World Oil Outlook 2016

	Базовый сценарий		Сценарий А		Сценарий Б	
	Объем потребления	% к итогу	Объем потребления	% к итогу	Объем потребления	% к итогу
Нефть	99,8	26,1	96,2	25,9	88,0	24,8
Уголь	91,5	23,9	81,8	22,1	74,2	20,9
Газ	101,7	26,6	96,0	25,9	89,2	25,1
Атомная энергия	23,4	6,1	25,5	6,9	27,7	7,8
Гидроэнергия	9,9	2,6	10,2	2,8	10,5	3,0
Биомасса	38,1	10,0	39,8	10,7	41,0	11,5
Прочие ВИЭ	17,9	4,7	21,3	5,7	24,4	6,9
Всего	382,1	100,0	370,7	100,0	354,9	100,0

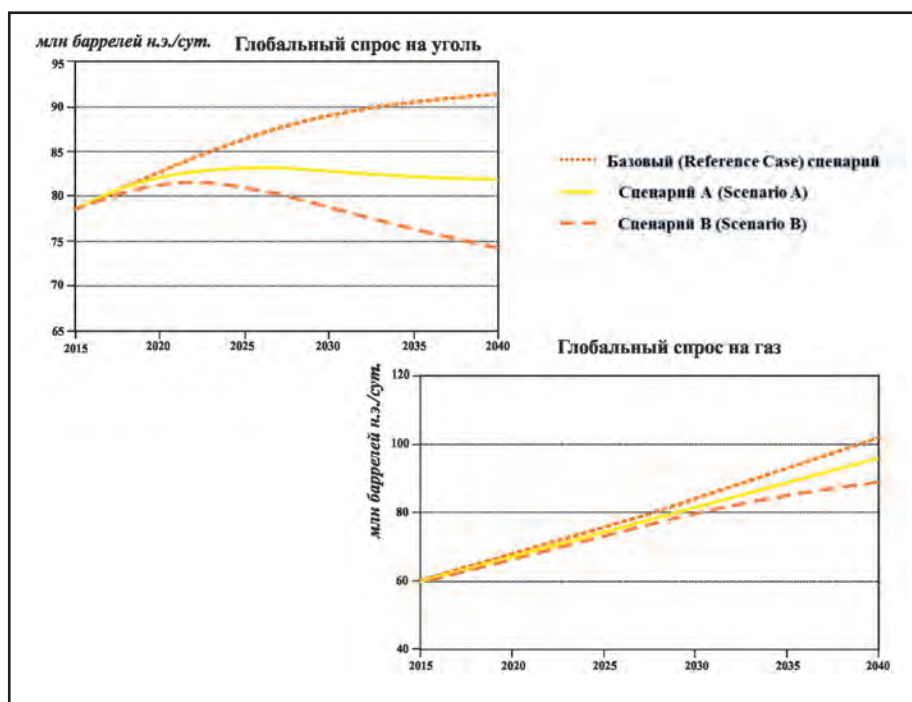
Источник: по данным [15].

рации электроэнергии, а в Сценарии «Б» предусмотрено полное и безусловное выполнение странами-подписантами Парижского соглашения взятых на себя добровольных обязательств по сокращению глобальных выбросов на период после 2020 года.

Данное исследование исходит из того, что в Базовом сценарии суммарный объем связанных

с энергетикой выбросов углекислого газа достигнет к 2030 г. 40 млрд т, а к 2040 г. – 42 млрд т (в 2014 г. – 33 млрд т). Динамика и структура мирового потребления первичных энергоресурсов в 2040 г. в различных сценариях World Oil Outlook 2016 показаны в табл. 2 и на рис. 6.

Как видно из этих материалов, прогнозируемое снижение эмиссии CO₂ в первую очередь



Источник: [15].

Рис. 6. Динамика глобального спроса на уголь и газ в различных сценариях World Oil Outlook 2016

скажется на объемах мирового спроса на уголь (снижение на 9,7-17,3 млн баррелей н.э./сут.), газ (на 5,7-12,5) и нефть (на 3,6-11,8 млн баррелей н.э./сут.). Максимальный прирост спроса прогнозируется на энергию, полученную из «прочих ВИЭ» (на 3,4-6,5 млн баррелей н.э./сут. по сравнению с базовым сценарием).

Своеобразным аналогом климат-ориентированных сценариев МЭА можно считать *Сценарий передовых технологий (Advanced Technologies Scenario)* в прогнозах авторитетного японского **Института экономики энергетики**. В этом сценарии максимально учитываются возможности развития технологий, направленных на рост эффективности использования энергии и низкоуглеродное развитие энергетики, которые не только обеспечивают повышение энергетической безопасности стран, но и решение проблем изменения климата.

Так, в очередном прогнозе, опубликованном в октябре 2016 г. (*Asia/World Energy Outlook 2016*) [16], представлены два полноценных сценария развития мировой энергетики: *Базовый (Reference)* и *Сценарий передовых технологий* с

периодом прогнозирования до 2040 года. Кроме того, в нем имеется целый ряд неполных (частичных или фрагментарных) сценариев, в которых рассматриваются технологии улавливания и хранения CO₂, промышленное использование водорода, разные уровни использования атомной энергии и др. и их влияние на перспективные объемы эмиссии парниковых газов. Среди них и так называемый *Дезинтеграционный сценарий (Energy supply disruption scenario)*, в котором рассматриваются различные глобальные риски (политические и геополитические, техногенные и природные) и возможное развитие мировой энергетики при их реализации. В числе этих глобальных рисков «газовые войны» с Украиной и терроризм, землетрясения, спад добычи нефти из-за резкого падения цен на нее и др. Некоторое представление об основных сценариях *Asia/World Energy Outlook 2016* дают рис. 7 и 8.

В Сценарии передовых технологий, где предусмотрены максимально возможные меры по сокращению выбросов CO₂ (при условии получения на то социального согласия), потребление



Источник: [16].

Рис. 7. Изменение объемов глобального энергопотребления в двух сценариях *Asia/World Energy Outlook 2016*



Источник: [16].

Рис. 8. Динамика эмиссии парниковых газов в основных сценариях
Asia/World Energy Outlook 2016

энергии в мире в 2040 г. меньше, чем в Базовом сценарии на 2343 млн т н.э., или 12%.

Выбросы CO_2 в Сценарии передовых технологий достигнут пика примерно в 2020 г. и в дальнейшем начнут снижаться. К 2050 г. они сократятся на 3,8% против уровня 2014 г. и на 13,7 млрд т по сравнению с Базовым сценарием, что эквивалентно 42% глобальных выбросов.

Представляют интерес и оценки создания в глобальном масштабе системы улавливания и захоронения углекислого газа, сделанные в Asia/World Energy Outlook 2016. Такая система, по расчетам специалистов IEEJ, позволит снизить объем выбросов к 2040 г. на 4,2 млрд т CO_2 , в том числе энергетически обусловленных – на 3,0 млрд т, а в 2050 г. – на 7,6 и 6,3 млрд т, соответственно. При этом стоимость улавливания и захоронения углекислого газа будет составлять от 30 до 140 долл./т CO_2 в зависимости от типа электрогенерации, стоимости топлива и КПД ТЭС. Отметим, что в работе МЭА Energy Technology Perspectives 2015 [17] стоимость по-

добных работ (так называемые «углеродные цены») прогнозируется до 100 долл./т CO_2 в 2030 г. и 170 долл./т CO_2 – в 2050 г.

Как уже отмечалось выше, даже в тех прогнозах, где специальных климат-ориентированных сценариев нет, отдельные вопросы глобального изменения климата, необходимости снижения эмиссии парниковых газов, роста эффективности использования энергетических и других природных ресурсов, опережающего развития неуглеродной энергетики отражены достаточно подробно. Хорошим примером таких прогнозов являются прогнозы **Управления энергетической информации Министрства энергетики США**. В международном обзоре (прогнозе), опубликованном EIA в 2016 г. (International Energy Outlook 2016 – IEO-2016 [18]) рассматривается пять сценариев развития мировой энергетики (базовый, высоких и низких темпов экономического роста, высоких и низких цен на нефть), но специального климат-ориентированного сценария в нем нет. Однако в

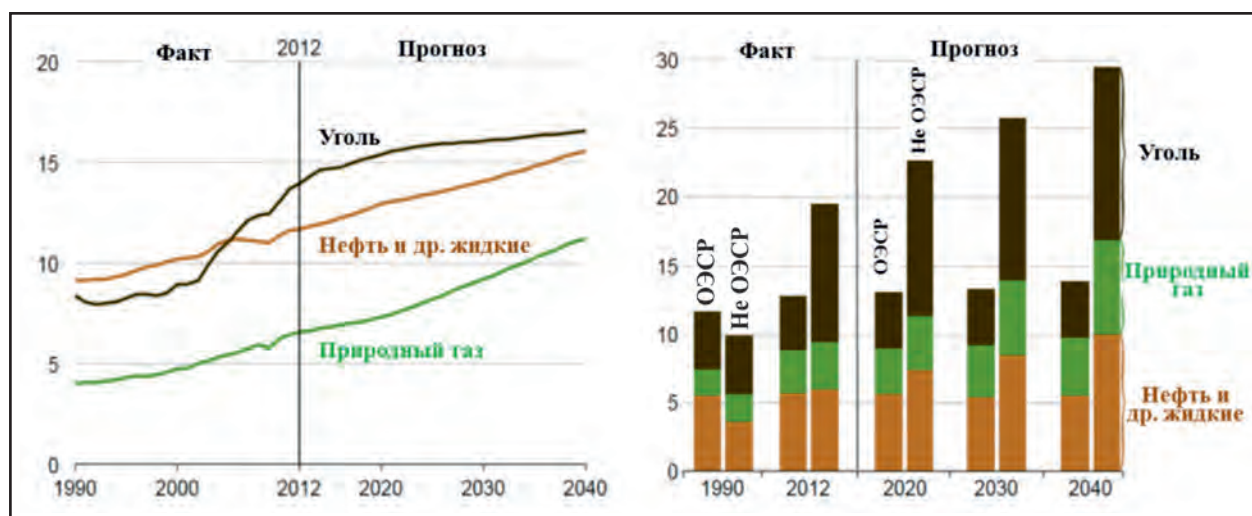
рамках Базового сценария в этой работе сделан анализ и прогноз на период до 2040 г. не только собственно энергетики, но и энергетически обусловленных выбросов CO_2 , в том числе по группам стран, основным государствам и видам органического топлива (рис. 9 и 10).

Причем анализ относящихся к климату показателей сделан в ИЕО-2016 в двух вариантах: с учетом реализации принятого в США «Плана чистой энергетики» (Clean Power Plan – CPP)⁸ и без него. Показано, что реализация этого Плана позволит США, и странам ОЭСР в целом, вдвое снизить прирост выбросов CO_2 за 2012-2040 гг. (который составит не 1 млрд т, а только 500 млн т).

Управление энергетической информации США как отмечается в самом ИЕО-2016 пыталось включить в базовый сценарий прогноза целый ряд различных конкретных деталей, в частности определить цели развития ВИЭ. Однако сохраняющаяся большая неопределенность в вопросах реализации энергетической политики

не позволила сделать это. Кроме того, отмечают авторы ИЕО-2016, помимо эмиссии углекислого газа, связанного с энергетикой, существуют и другие парниковые газы (например, метан), и другие источники (например, обезлесение), которые способствуют выбросам и накоплению парниковых газов, но не рассматриваются в этом прогнозе. И они, отмечается в ИЕО-2016, могут оказать значительное влияние как на удельный вес отдельных стран и регионов в общих глобальных выбросах парниковых газов, так и на достижение ими своих ПОНУВ. Поэтому и прогнозы ЕИА в отношении выбросов CO_2 могут существенно измениться, тем более что может меняться как правоприменение действующих законов и политики, направленных на сокращение выбросов парниковых газов, так и принятие новых или усиление существующих законов.

ИЕО-2016 исходит из того, что связанные с энергетикой выбросы CO_2 (энергетически об-



Источник: [18].

Рис. 9. Динамика мировых энергетически обусловленных выбросов углекислого газа по основным видам топлива и группам стран

⁸ В марте 2015 г. США приняли на себя добровольные обязательства по снижению выбросов парниковых газов (так называемые ПОНУВ или INDC), согласно которым к 2025 г. эмиссия парниковых газов в стране должна быть сокращена на 26-28% по сравнению с 2005 годом. Для выполнения этих обязательств Агентством по охране окружающей среды США был разработан так называемый «План чистой энергетики». Окончательный вариант этого Плана был обнародован президентом Обамой 3 августа 2015 года. Этот документ (RIN 2060-AR33) объемом 460 страниц под названием «Руководство по выбросам углеродных загрязнений для существующих стационарных источников: электрогенерирующих установок» был опубликован в Федеральном регистре 23 октября 2015 года. Основные положения Плана учтены в ИЕО-2016. По оценкам ЕРА, этот План сократит выбросы CO_2 в энергетическом секторе к 2030 г. на 32% по сравнению с уровнем 2005 года.

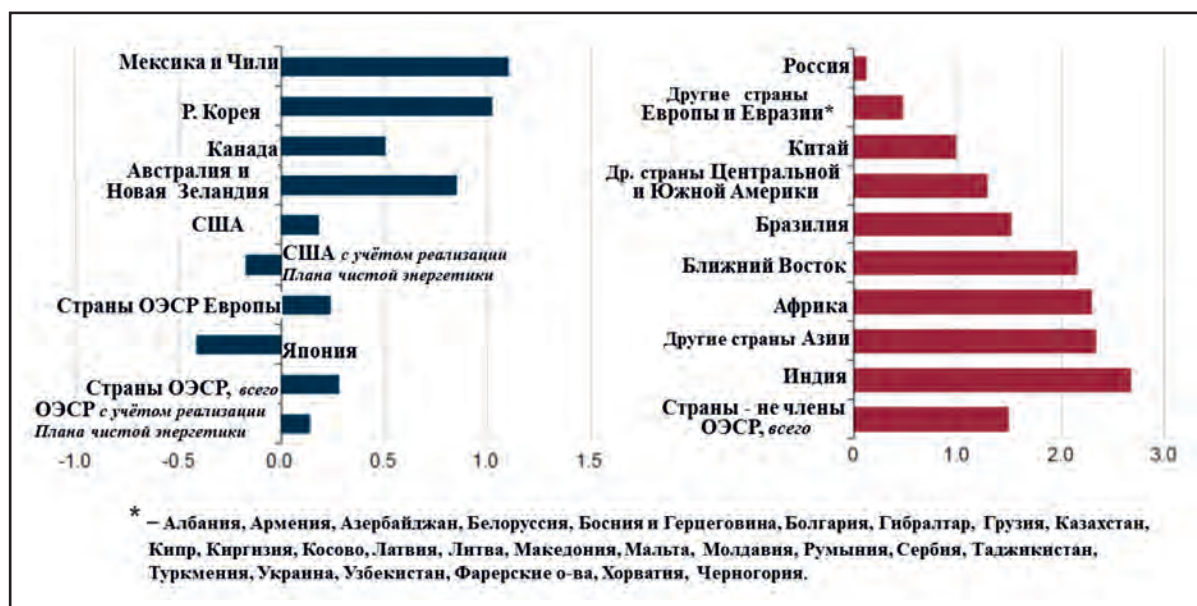


Рис. 10. Среднегодовые темпы энергетически обусловленных выбросов углекислого газа в странах ОЭСР и не ОЭСР за 2012-2040 гг., %/год

условленные выбросы)⁹ достигнут к 2040 г. 43,2 млрд т против 32,3 млрд т в 2014 году. Из них на страны ОЭСР будет приходиться 13,8 млрд т или 32% всех мировых выбросов, а на остальные государства – 29,4 млрд т или 68%.

В разрезе учитываемых видов топлива на уголь будет приходиться 16,5 млрд т (38%), жидкие виды топлива – 15,5 млрд т (36%) и на природный газ – 11,2 млрд т (26%) (табл. 3).

Реализация принятого в США Плана чистой энергии позволила бы, как уже было отмече-

Таблица 3

Прогнозируемая динамика роста энергетически обусловленных выбросов CO₂ в разрезе основных групп стран и видов топлива

Группы стран/виды топлива	1990	2012	2020	2030	2040	Изменение за 2012-2040 гг., %
Страны - члены ОЭСР, всего	11,6	12,8	13,0	13,3	13,8	8
в т.ч.: жидкое топливо	5,5	5,7	5,6	5,5	5,6	-3
природный газ	2,0	3,1	3,3	3,8	4,2	35
уголь	4,1	3,9	4,1	4,1	4,0	2
Страны - не члены ОЭСР, всего	9,9	19,5	22,6	25,8	29,4	51
в т.ч.: жидкое топливо	3,6	6,0	7,3	8,5	10,0	67
природный газ	2,0	3,4	4,0	5,4	6,9	102
уголь	4,2	10,1	11,3	11,9	12,5	24
Мир, всего	21,4	32,3	35,6	39,1	43,2	34
в т.ч.: жидкое топливо	9,1	11,7	12,9	14,0	15,5	33
природный газ	4,0	6,6	7,3	9,2	11,2	70
уголь	8,4	14,0	15,0	15,3	16,0	18

Источник: по данным [18].

⁹ В ИЕО-2016 энергетически обусловленные выбросы CO₂ определяются как выбросы, связанные со сжиганием ископаемого топлива (жидкого топлива, природного газа и угля), и выбросы, связанные с дегазацией нефтяного сырья. Выбросы от сжигания на факелах природного газа в это понятие не включены.

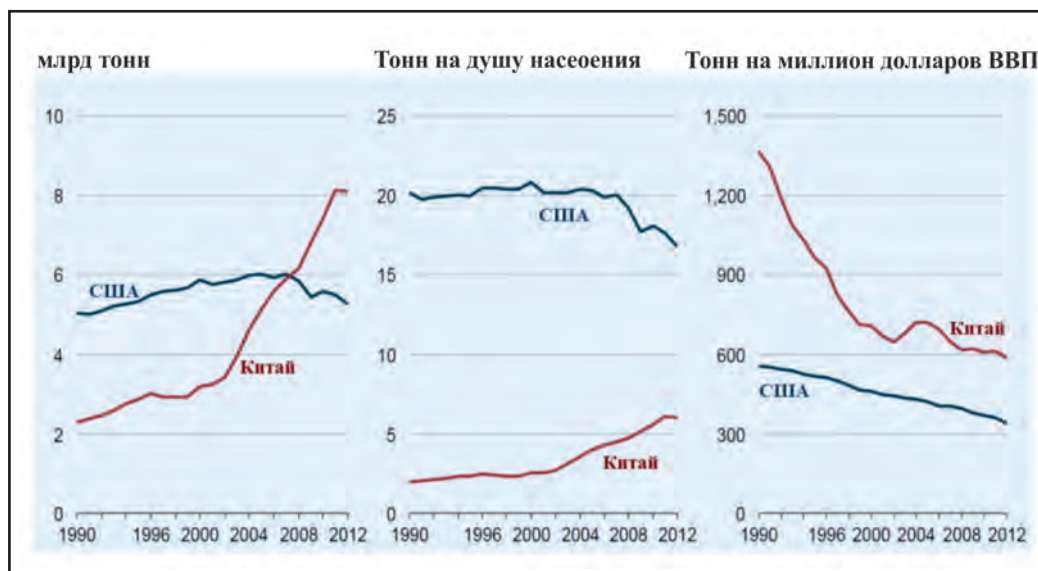
но выше, снизить суммарные энергетически обусловленные выбросы CO_2 на 0,5 млрд т. Практически все это снижение намечалось обеспечить за счет снижения угольной электрогенерации (на 560 млрд кВтч уже в 2030 г., или почти на 33% по сравнению с прогнозом без учета реализации этого Плана).

Однако 28 марта 2017 г. новый Президент США Д. Трамп подписал распоряжение Об энергетической независимости, в котором содержится призыв к пересмотру Плана чистой энергетики. А 1 июня 2017 г. Трамп сделал заявление о выходе страны из Парижского соглашения по климату. Естественно, что эти шаги новой администрации США в значительной мере дезавуируют и прогнозы Министерства энергетики, и принятые предыдущей администрацией Соединенных Штатов меры по декарбонизации своей экономики. Более того, своими действиями США вносят серьезный дисбаланс и значительные коррективы в уже идущий в мире процесс декарбонизации энергетики.

Особое место в ИЕО-2016 занимает сравнение политики по выбросам CO_2 в крупнейших странах – его эмитентах: Соединенных Штатах и Китае (рис. 11), и Евросоюзе (их ПОНУВ, мерам и направлениям снижения выбросов углекислого газа, базовым показателям и др.).

Кроме того, в ИЕО-2016 проанализированы те неопределенности, которые связаны с реализацией климатической политики ЕС. Как известно, Европейский союз принял обязательства уже к 2030 г. сократить на 40% общие выбросы парниковых газов по сравнению с уровнем 1990 года. Однако к настоящему времени решена лишь часть поставленных задач. Поэтому в ИЕО-2016 объемы выбросов по странам ОЭСР Европы, основой которых является ЕС, существенно выше, чем можно было бы ожидать, исходя из ранее принятых целей Евросоюза¹⁰.

Интересные выводы и суждения о проблемах глобального изменения климата и их влиянии на величину и структуру глобального спроса на топливо и энергию, мерах и направлениях снижения эмиссии парниковых газов и развитии неуглеродной энергетики имеются и в ряде других прогнозов. Так, в прогнозе **Bloomberg New Energy Finance's New Energy Outlook 2016 (NEO 2016)** делается однозначный вывод о том, что даже низкие цены на уголь и газ до 2040 г. не повлияют на трансформацию мировой энергетики и переход ее на низкоуглеродную стадию развития. При этом производство электроэнергии на базе ветровых и солнечных станций станет самым дешевым способом получения электро-



Источник: [18].

Рис. 11. Энергетически обусловленные выбросы углекислого газа в США и Китае, 1990–2012 гг.

¹⁰ Подробнее о прогнозах Управления энергетической информации Министерства энергетики США см., например, [19].

энергии во многих странах уже в 2020-х гг., а в большинстве стран мира – в 2030-х годах.

А в Сценарии 2 °С этого прогноза сделана и оценка затрат на такое развитие: чтобы предотвратить повышение глобальной температуры более чем на 2 °С, в производство безуглеродной электроэнергии к 2040 г. необходимо будет вложить 14,5 трлн долл. [20].

В прогнозах Группы компаний ВР были предложены различные варианты действий для сокращения выбросов CO₂. Среди них – замена газом угля в производстве электроэнергии, рост выработки электроэнергии на АЭС и на базе ВИЭ, оснащение угольных ТЭС системой сбора и захоронения углекислого газа, рост энергоэффективности, принятие более жестких стандартов выбросов CO₂ транспортными средствами и др.

Однако, как отмечается в *BP Energy Outlook 2035/2015* [21], проведенные расчеты показали, что ни один из этих вариантов не может обеспечить достижения поставленных целей. Причем каждый вариант имеет свои собственные проблемы: затраты, технологические нормы, медленный оборот существующего акционерного капитала, способность к осуществлению политики в глобальном масштабе и инерция в поведении изменения. Соответственно, обращается внимание на сложность выбора предпочтительных мер и на необходимость платы за выбросы, которая может обеспечить правильные стимулы для принятия наиболее экономически эффективных решений и инвестиций.

Детально рассматривается целый ряд мер, направленных на снижение выбросов (атомная энергетика и ВИЭ, перспективы развития электромобилей и их влияние на потребление нефти и др.) и в последнем прогнозе ВР (*BP Energy Outlook 2035/2017*) [22]. В то же время показано, что хотя их реализация и приведет к резкому замедлению темпов роста выбросов углекислого газа относительно прошлого периода (до 0,6% в год против 2,1%), но все равно не сможет обеспечить тот уровень эмиссии, который может потребоваться для достижения целей, поставленных на Конференции COP-21 в Париже.

Чтобы показать возможную конфигурацию, которая обеспечивает траекторию снижения

выбросов, соответствующую реализации Сценария 450 МЭА, в *BP Energy Outlook 2035/2017* дополнительно разработан сценарий еще более быстрого перехода к низкоуглеродной экономике. В нем выбросы углекислого газа к 2035 г. снизятся на 32% по сравнению с уровнем 2015 года. Большая часть этого снижения обеспечит энергетический сектор: к 2035 г. энергетика будет почти полностью декарбонизована, а глобальные выбросы от производства электроэнергии составят менее четверти от уровня 2015 года.¹¹

Свои «изюминки» есть и в других прогнозах. Анализ рассмотренных прогнозов показывает, что все они являются для исследователей хорошей базой для лучшего понимания сложных взаимосвязей между глобальной энергетической и климатической политикой, геополитических и технологических рисков, неопределенностей и возможных «развилки» в тенденциях будущего развития всей мировой экономики и энергетики.

Выводы

В заключение сделаем некоторые выводы относительно климатической политики и развития мировой энергетики в ближайшие десятилетия и на более отдаленную перспективу.

- Углеводородные ресурсы в ближайшие десятилетия (по крайней мере до 2035-2040 гг.) останутся основой мирового энергопотребления. При этом определяющим фактором грядущих изменений мирового энергетического баланса и его структуры будет выступать прежде всего технологический фактор, а именно – степень доступности и эффективности технологий, обеспечивающих разработку различных типов ресурсов нефти и газа, использование возобновляемых источников энергии, рост эффективности использования энергии, формирование инновационной экономики, основанной на малоэнергоёмких нано-, био-, информационных, когнитивных и других подобных технологиях.
- Несмотря на замедление темпов роста выбросов, абсолютные объёмы выбросов

¹¹ Подробнее о прогнозах ВР см., например, [23].

углекислого газа в обозримой перспективе продолжают расти, поскольку быстрый экономический рост в странах, не входящих в ОЭСР, при всем прогрессе в росте энергоэффективности и снижении углеродоемкости их экономик, приводит и к абсолютному росту этих выбросов.

- При всей важности проблемы декарбонизации энергетики центральное место в климатической политике должна занять доступность энергоресурсов, поскольку сегодня, в условиях глобального их профицита, миллиарды людей все еще полагаются на биомассу как на основной энергоноситель, а более одного миллиарда человек до сих пор не имеет доступа к электроэнергии.
- В обществе в целом наблюдается глобальная поддержка в решении вопросов, связанных с изменениями климата и другими экологическими проблемами, о чем, в частности, свидетельствует ратификация Парижского соглашения и призывы реа-

лизовать Цели ООН в области устойчивого развития. Однако достижение подобных глобальных целей возможно лишь на путях всестороннего международного сотрудничества, объединения усилий всех заинтересованных сторон и четкой координации действий между органами управления на разных уровнях и частным сектором экономики. Возможно ли все это в условиях политического противостояния между крупнейшими странами мира и повсеместной практики санкций и антисанкций? Или мир пойдет по пути дезинтеграционного сценария?

- Ограничение глобального потепления не более чем двумя градусами (2 °C), потребует не только огромных усилий и принятия дополнительных, к уже взятым, обязательств (ПОНУВ), но и очень высокой платы за выбросы углекислого газа. Готова ли к этому наша цивилизация?

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка стратегий низкоуглеродного климатически устойчивого развития: Руководство ПРООН. Версия 1. ПРООН, Апрель 2011. – URL: <http://www.rusecounion.ru/sites/default/files/UNDP-LED.pdf>
2. Макаров И.А. Глобальное изменение климата как вызов мировой экономике и экономической науке // Экономический журнал ЖУРНАЛ ВШЭ. 2013, № 3. С. 512- 532. – URL: <https://www.hse.ru/data/2014/11/18/1101171625/Макаров.pdf>
3. Pachauri R. et al. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2007.
4. Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. – URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
5. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_ru.pdf
6. Принятие Парижского соглашения. Приложение. Парижское соглашение. ООН/РКИК, 12 December 2015. Документ FCCC/CP/2015/L.9. Russian. Original: English. – URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/l09r.pdf>
7. World Energy Outlook 2016. OECD/IEA, 2016, 684 p.
8. Energy Technology Perspectives 2016. OECD/IEA, 2016, 418 p. – URL: http://www.iea.org/bookshop/719-Energy_Technology_Perspectives_2016
9. Rauli Partanen. Bioenergy increases emissions in Europe. – URL: <http://energypost.eu/bioenergy-increases-emissions-europe/>
10. Масменанов А.М. Климат ориентированные сценарии в прогнозах МЭА // Экологический вестник России, № 6, 2017. С. 12-18.
11. World Energy Scenarios. Composing energy futures to 2050. – World Energy Council 2013. 44 p. – URL: <http://www.worldenergy.org/wp->

content/uploads/2013/10/World-Energy-Scenarios_Composing-energy-futures-to-2050_Full-report1.pdf.

12. World Energy. Scenarios /2016. THE GRAND TRANSITION. – World Energy Council 2016. 138 p. – URL: http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Scenarios-2016_Full-Report.pdf.

13. Мастепанов А.М. Энергетические прогнозы МИРЭС // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. № 5, 2017. С. 12-18.

14. Мастепанов А.М. Климат ориентированные сценарии в прогнозах развития мировой энергетики, разработанных МИРЭС и Секретариатом ОПЕК // Экологический вестник России. № 7, 2017. С. 12-16.

15. World Oil Outlook 2016. Organization of the Petroleum Exporting Countries, 2016, 428 p. – URL: http://www.opec.org/opec_web/en/publications/340.html

16. Asia / World Energy Outlook 2016 -Consideration of 3E's+S under new energy circumstances in the world- October 2016. The Institute of Energy Economics, JAPAN. 256 p. – URL: <http://eneken.iej.or.jp/data/7199.pdf>

17. Energy Technology Perspectives 2015. OECD/IEA, 2015, 418 p. – URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2015.pdf>

18. International Energy Outlook 2016. With Projections to 2040. May 2016. U.S. Energy Information Administration. Office of Energy Analysis U.S. Department of Energy. Washington, DC 2058. – URL: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

19. Мастепанов А.М. Отражение проблем глобального изменения климата в прогнозах Управления энергетической информации США// Экологический вестник России. № 8, 2017. С. 12-20.

20. New Energy Outlook 2016. Powering a Changing World. Bloomberg New Energy Finance. – URL: <https://www.bloomberg.com/company/new-energy-outlook/>

21. BP Energy Outlook 2035. February 2015. – URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2015.pdf>

22. BP Energy Outlook. 2017 edition. – URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>

23. Мастепанов А.М. Отражение проблем глобального изменения климата в прогнозах BP// Экологический вестник России. № 8, 2017.

Поступила в редакцию
13.08.2017 г.

A.M. Mastepanov¹²

CLIMATE POLICY IN LONG-TERM FORECASTS OF WORLD ENERGY DEVELOPMENT

The article covers such issues as global climate changes, the need to reduce greenhouse emissions, more efficient utilization of energy and other environmental resources and priority development of carbon-free generation reflected in long-term energy forecasts developed by world's most credible analytical organizations. Main climate-oriented scenarios of such forecasts are analyzed.

Key words: climate policy, world energy industry, forecasts and scenarios, IEA, Paris Climate Agreement, decarbonization, RES, energy efficiency.

¹² Alexey M. Mastepanov – Deputy Director of the Institute for Energy Strategy, Doctor of Economics, member of RANS, Professor, e-mail: amastepanov@mail.ru

УДК 620.9+504.38 (100) «21-22»

В.В. Клименко, А.Г. Терешин, Е.В. Федотова¹

МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ПЛАНЕТЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ²

Представлен разработанный в Научно-исследовательском университете «МЭИ» в рамках историко-экстраполяционного подхода к исследованию развития энергетики прогноз потребления энергии в мире на период XXI-XXII вв., который предполагает его стабилизацию во второй половине XXI столетия на уровне 28-30 млрд т у.т./год. Показано, что перспективная структура энергопотребления определяется доступными ресурсами органического топлива, а также различными ограничениями, накладываемыми, в том числе, Парижским климатическим соглашением 2015 года. Проанализированы ожидаемые глобальные изменения атмосферы и климата, а также последствия их проявлений для энергетики России.

Ключевые слова: объем и структура мирового энергопотребления, прогноз, ресурсы, глобальные изменения атмосферы и климата, последствия для энергетики России.

Как уже давно и хорошо известно, удельное (приходящееся на душу населения) потребление энергии является надежным индикатором состояния развития государства и общества [1-2]. История развития человечества тесно связана с ростом удельного потребления энергии от 0,15 т у.т./(год.чел.), характерного для палеолитического человека, до нынешних почти 3 т у.т./(год.чел.). Энергетика современного общества в основном базируется на использовании ископаемого топлива: нефти, угля и газа, – совместная доля которых в коммерческом энергопотреблении достигает 86%. Однако сжигание ископаемого топлива одновременно является главной причиной изменения газового состава атмосферы Земли и вполне уже ощутимых изменений климата, которые, по мнению некоторых экспертов, в скором будущем могут достичь угрожающих масштабов [3]. Нарастающее беспокойство мирового сообщества по этому поводу постепенно привело к идее о необходимости масштабного сокращения эмиссии в атмосферу газов, вызывающих парниковый эффект. Важнейшим этапом на этом пути стало заключение в декабре

2015 г. Парижского соглашения. Этому документу, без сомнения, суждено в течение ближайших десятилетий, а, скорее и всего столетия, оказать громадное влияние на все стороны жизни современного общества – в первую очередь на масштабы и стереотипы потребления энергии. В качестве своей основной цели Парижское соглашение декларирует предотвращение повышения среднеглобальной температуры более чем на 2 °С, по сравнению с доиндустриальной эпохой (серединой XIX в.), и стремление приложить все усилия для ограничения его уровнем 1,5 °С и предполагает решительное и быстрое сокращение эмиссии парниковых газов, в основном в результате радикальных реформ в энергетике.

В этой статье мы попытаемся дать ответ на несколько главных вопросов.

1. Прежде всего – возможно ли в принципе осуществление реформ в мировой энергетике со скоростью, предписываемой Соглашением?

2. Если Соглашение будет полностью имплементировано, какой при этом должна стать структура мирового энергобаланса?

¹ Владимир Викторович Клименко – главный научный сотрудник, руководитель научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) глобальных проблем энергетики, Национальный исследовательский университет (НИУ) «МЭИ», чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор, e-mail: nilgre@mpei.ru;

Алексей Германович Терешин – ведущий научный сотрудник НИЛ глобальных проблем энергетики, НИУ «МЭИ», д.т.н., e-mail: TereshinAG@mpei.ru;

Екатерина Валерьевна Федотова – научный сотрудник НИЛ глобальных проблем энергетики, НИУ «МЭИ», к.т.н., e-mail: e.v.kasilova@gmail.com

² Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 13.1137.2017/ПЧ государственного задания – в части расчетов изменений атмосферы и климата, грант для молодых российских ученых МК-1494.2017.8 – в части исследования структуры мирового энергетического баланса), Российского научного фонда (грант № 16-19-10568 в части оценки последствий климатических изменений для энергетики России). В.В. Клименко выражает благодарность Минобрнауки России за поддержку (задание № 13.4662.2017/ВУ государственного задания).

3. И, наконец, являются ли мероприятия в рамках Соглашения достаточными для того, чтобы удержать потепление в пределах 1,5 или 2 °С в течение нынешнего столетия?

В поиске ответа на эти вопросы мы будем использовать понятие углеродного коэффициента K_c (показателя углеродной интенсивности, или карбоноёмкости энергетики) – эмиссии углекислого газа в атмосферу, выраженной в тоннах углерода (т С), которая приходится на тонну условного топлива потребленной коммерческой энергии. Этот коэффициент является универсальным индикатором, позволяющим судить, насколько безопасной для климата является энергетика страны или мира.

На рис. 1 показана эволюция K_c для восьми крупнейших потребителей энергии в мире, ответственных в настоящее время за выброс в атмосферу более 70% диоксида углерода, рассчитанная по данным [4-5]. Расчет показывает, что сегодня K_c изменяется в широких пределах от 0,64 т С/т у.т. для Китая и Индии с их преимущественно угольной энергетикой до 0,35 т С/т у.т. для Канады и Бразилии, где велика доля гидро- и ядерной энергетики, а также биотоплив. Из всех развитых стран мира наименьшим K_c обладает Норвегия (0,20 т С/т у.т.), где основу

энергетики составляют гидроэлектростанции. Чтобы представить себе масштаб преобразований, предполагаемый Соглашением, отметим, что средний мировой углеродный коэффициент к 2100 г. должен достичь его современных значений для Норвегии, то есть опираться в основном на возобновляемые источники энергии при незначительной роли нефти и газа и фактически полном отсутствии угля в энергобалансе. Подчеркнем: *выполнение Парижского соглашения косвенно предполагает резкое снижение потребления угля в мире вплоть до фактически полного отказа от него в течение нескольких ближайших десятилетий.*

О том, как далеко желаемая картина будущего мира отстоит от сегодняшней, можно судить по рис. 2, где представлена хронология изменения K_c за последние 165 лет. На этом графике без труда прослеживаются три различных стадии развития: период относительно стабильного K_c (1850-1940 гг.), когда уголь занимал доминирующее положение в мировой энергетике; эпоха значительного снижения K_c (1940-1995 гг.), когда уголь был в значительной мере потеснен сначала нефтью, а затем газом, гидро- и ядерной энергией; и, наконец, современный этап (1996-2015 гг.), когда снижение углеродной ин-

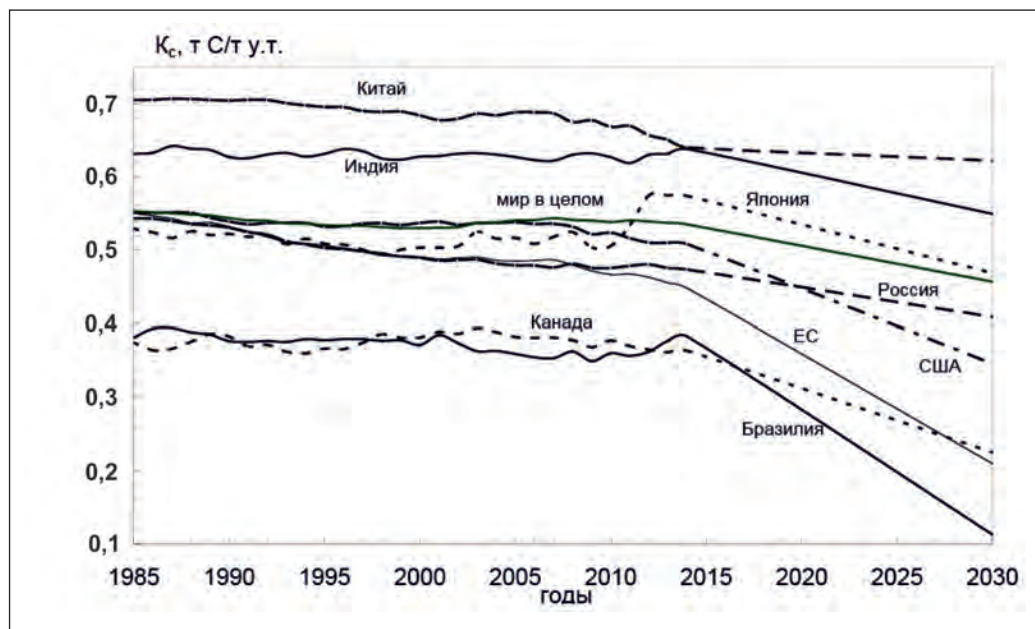


Рис. 1. Изменения углеродного коэффициента K_c мирового энергопотребления в 1985-2030 гг. с учетом обязательств, принятых на себя государствами-участниками Рамочной Конвенции ООН по изменению климата [4-5].

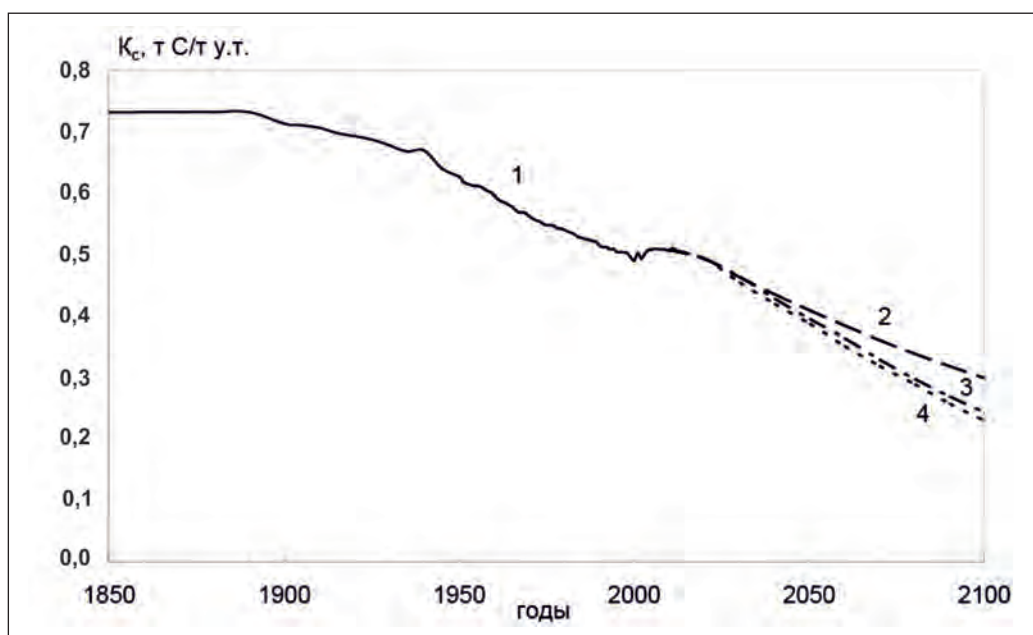


Рис. 2. Изменения углеродного коэффициента K_c мирового энергопотребления в 1850-2100 гг.: исторические данные (1) и сценарии – консервативный (2), «парижский» (3) и целевой (4).

тенсивности внезапно остановилось. Это произошло в результате прихода «второй угольной волны», вызванной резким возрастанием потребления твердого топлива в развивающихся странах, и в первую очередь – в Китае и Индии. По иронии судьбы прекращение снижения карбооемкости мировой энергетики произошло именно в тот период, когда мировое сообщество всерьез озаботилось охраной климата, следствием чего явилось подписание в 1997 г. известного Киотского протокола. Таким образом, история убедительно демонстрирует, что дистанция между желаемым и реальным подчас оказывается очень велика.

Итак, Парижское соглашение призвано переломить современные негативные тенденции и, более того, сделать это очень быстро. Попытаемся понять, что говорит история мировой энергетики о возможностях ее быстрого реформирования. Данные по средним за пятилетние периоды значениям скорости изменения углеродного коэффициента K_c за истекшие полстолетия (рис. 3) показывают, что из восьми крупнейших стран мира, ответственных более чем за 70% современной мировой эмиссии парниковых газов, лишь богатым гидроэнергетическими ресурсами Канаде и Бразилии на коротких промежутках времени удавалось демонстрировать скоро-

сти снижения K_c выше 0,8% в год. Для мира в целом этот показатель выглядит еще скромнее и не превышает 0,45% в год, что явно недостаточно для реализации Соглашения. На рис. 3 данные по абсолютным историческим максимумам скорости снижения K_c сопоставлены с параметрами, декларированными государствами-участниками Рамочной Конвенции ООН по изменению климата. Из этого сопоставления следует, что для реализации только первой фазы соглашения (2015-2030 гг.) необходимо за несколько лет развить беспрецедентную скорость преобразований в энергетике, которая намного превышает достигавшиеся в историческом прошлом значения, а потом еще и поддерживать их в течение целого столетия!

На рис. 4 в полулогарифмическом масштабе представлено изменение с течением времени долей различных источников энергии в мировом энергетическом балансе. Как видно из данных мировой энергетической статистики, темпы внедрения различных видов органического топлива (уголь, нефть, газ) в соответствующих периодах весьма сходны, и каждый из них примерно за 70 лет после уверенного появления на рынке достигал доминирующего положения (уголь – 60% к концу XIX в., нефть – 40% к середине 1970-х гг., природный газ – 27% к

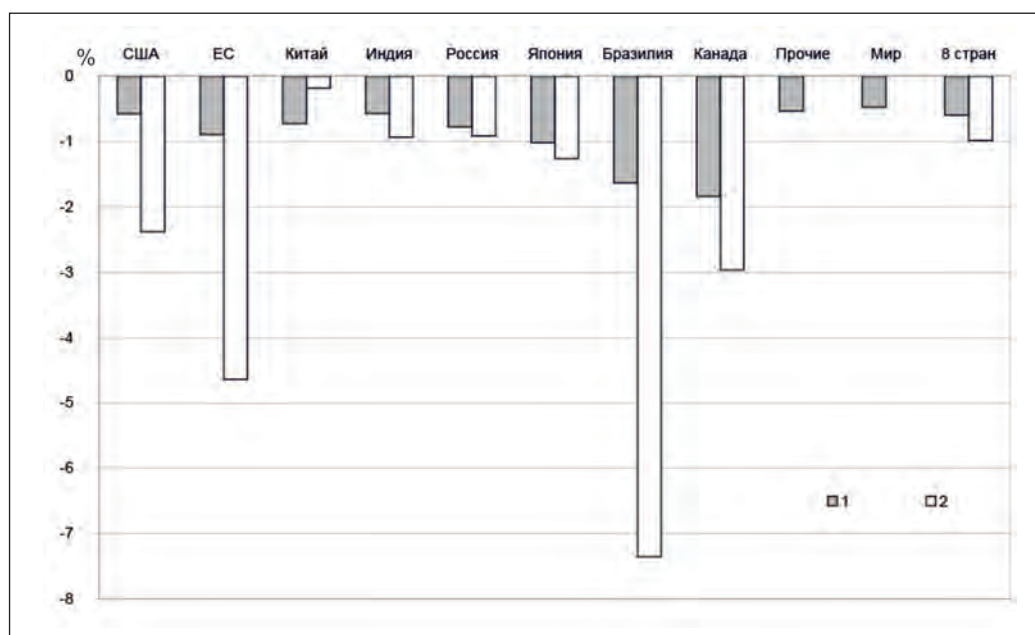


Рис. 3. Ежегодные темпы изменения углеродного коэффициента ΔK_c энергопотребления в ряде стран мира: исторические максимумы (1) и целевые ориентиры Парижского соглашения (2)

настоящему времени). В дальнейшем скорость распространения падает и сменяется обратным процессом – вытеснением устаревающих видов энергии. Это явление с 1970-х годов известно, как «волны Маркетти». Несколько особняком стоят источники энергии, не связанные с выбросами углекислого газа – гидро- и атомная энергетика. Темпы развития ГЭС оказались значительно ниже по сравнению с использованием ископаемых топлив из-за ограниченности доступных гидроэнергетических ресурсов и высокой капиталоемкости технологий. В настоящее время гидроэнергетика обеспечивает лишь 7% мирового энергопотребления. Атомная энергетика, напротив, пережила подлинный бум в 1960-80-х гг., который после нескольких тяжелых аварий на АЭС завершился стагнацией (на уровне менее 5% от мирового энергопотребления) и продолжительным спадом.

Доля нетрадиционных возобновляемых источников (НВИЭ) в мировом энергетическом балансе не превышала 1% вплоть до начала XXI в., пока не произошел качественный скачок в их развитии (рис. 4). Ветроустановки и солнечные панели из разряда «альтернативной энергетики» перешли в категорию полноправных участников энергетического рынка. Реальные инвестиции в возобновляемую энергетику на протяжении

2017-2021 гг. будут составлять более половины вложений в энергетические проекты [6]. Это несомненный успех многолетних мер поддержки возобновляемых технологий. Впервые в истории направленная трансформация энергетических систем дала результаты, заметные на глобальном уровне. Однако при масштабном внедрении возобновляемой генерации в существующие энергосистемы неизбежно возникают ограничения, связанные со стохастической природой основных возобновляемых источников энергии – солнечного излучения и ветра.

Повышение доли выработки возобновляемых источников уже до 5-10% требует пересмотра методов управления энергосистемой [7]. Универсального решения этой проблемы пока не существует, в разных странах используются уникальные национальные стратегии. К примеру, Дания обеспечивает стабильность работы своей энергосистемы, используя свое транзитное положение по отношению к перетокам электроэнергии между Скандинавией и Германией. В самой Германии ввод возобновляемых мощностей сочетается с развитием электрических сетей, а с 2017 г. используются законодательные процедуры, ограничивающие мощность возобновляемых источников, вводимых в течение года.

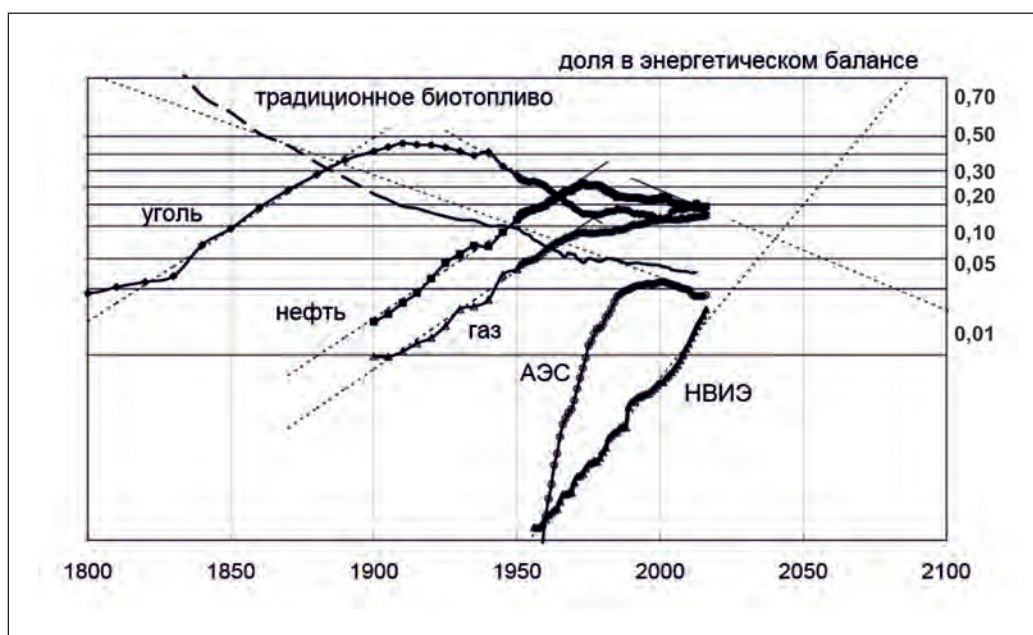


Рис. 4. Темпы продвижения различных источников энергии

Другие ограничения развития возобновляемой генерации определяются высоким периодом службы тепловых электростанций, а также инерцией психологических и технологических установок, которые сложились за два последних столетия доминирования ископаемого топлива [8]. Многочисленные преимущества внедрения возобновляемых источников и достигнутый на сегодня уровень конкурентоспособности возобновляемых технологий позволяет утверждать, что преодоление указанных трудностей реально. Однако системный характер перемен, необходимый для их преодоления, означает, что скорость внедрения НВИЭ будет ниже, чем для нефти или газа [9] и не позволяет надеяться, что нетрадиционные возобновляемые источники достигнут доминирующего положения на рынке энергии ранее конца XXI века.

С высоты исторического опыта сценарий беспрецедентно быстрого снижения углеродной интенсивности энергетики (назовем его «парижский») выглядит неоправданно оптимистическим. С другой стороны, как будет показано ниже, поставленной цели – сдерживания глобального потепления в пределах 2 градусов – даже он не достигает, поэтому в дополнение к нему рассмотрены еще два:

- консервативный, со скоростью снижения $K_c = 0,62\%$ в год, что соответствует

абсолютному историческому максимуму, достигнутому в период 1940-1974 гг. (см. рис. 3);

- целевой, позволяющий удержать повышение температуры в пределах 2°C до 2100 г., с возрастающей скоростью снижения K_c (начиная с $0,8\%$ /год, увеличиваясь в 1,2 раза каждые 30 лет, что соответствует периодичности смены поколений).

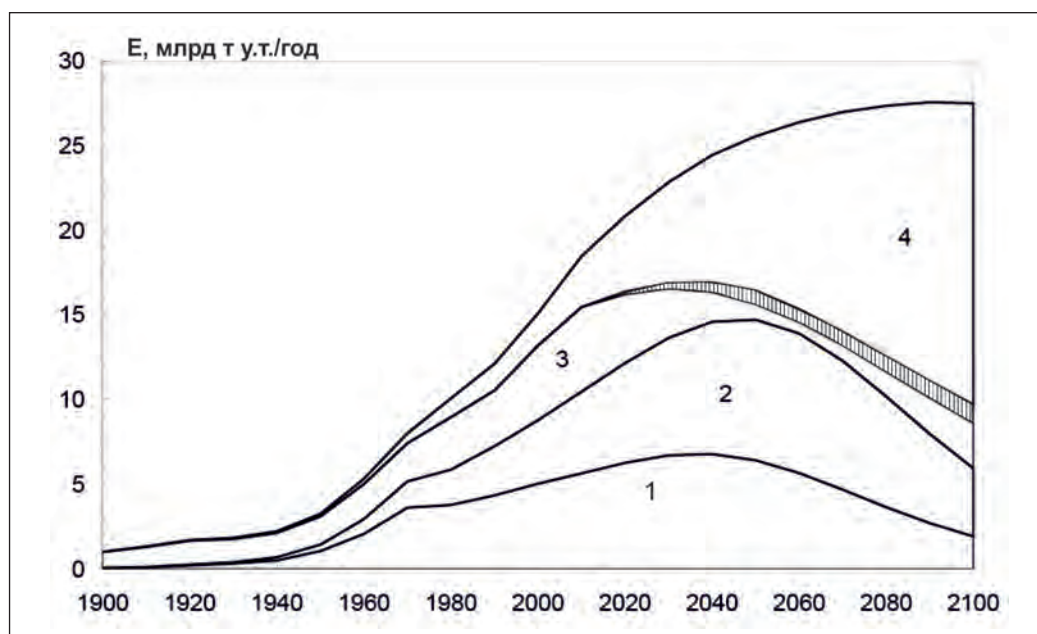
Структура мирового энергопотребления на период до 2100 г., соответствующая заданным траекториям изменения его углеродного коэффициента K_c , представлена на рис. 5. Для оценки мировой потребности в энергии использован актуализированный вариант генетического прогноза развития энергетики [10-11], показавшего хорошее соответствие данным последних 25 лет [12]. Объемы потребления нефтегазового топлива рассчитаны с учетом масштабного использования его нетрадиционных ресурсов: сланцевых газа и нефти, угольного метана (таблица). Максимум потребления углеводородных ресурсов, согласно этим оценкам, ожидается в середине текущего столетия на уровне 12 млрд т у.т./год (против нынешних 11 млрд т у.т./год), а к концу столетия объемы сжигания нефти и газа снизятся вдвое, до 6 млрд т у.т./год. Уголь в этих расчетах является «замыкающим» энергетический баланс топливом, объем ис-

пользования которого в ближайшие 50 лет для обеспечения необходимого снижения K_c должен неуклонно сокращаться, чтобы достигнуть к 2060 г. минимальных значений в 1,4 млрд т у.т./год для консервативного и 0,7 млрд т у.т./год для целевого сценария. К концу столетия возможно некоторое увеличение потребления угля до 3-4 млрд т у.т./год с целью компенсации выбывающего нефтегазового топлива. Стоит отметить, что в последние десять лет ежегодное потребление угля в мире превышало 5 млрд т у.т., достигнув исторического максимума в 5,6 млрд т у.т. в 2012 году.

Совершенно ясно, что для радикального снижения углеродной интенсивности мировой

энергетики необходимо развитие источников энергии, не связанных с потреблением органического топлива. Доля таких источников (гидро- и ядерная энергетика, нетрадиционные возобновляемые источники энергии) для достижения поставленных целей по снижению эмиссии к середине XXI столетия должна составить около трети суммарного энергопотребления, что, несомненно, является серьезным вызовом для мирового сообщества.

Эволюция эмиссии и концентрации углекислого газа, а также среднеглобальной температуры воздуха в случае последовательного и неуклонного осуществления Парижского соглашения представлены на рис. 6-7. В расчетах ис-



1 – нефть, 2 – природный газ, 3 – уголь, 4 – источники энергии, не связанные с выбросами CO_2 . Заштрихованная область – дополнительное снижение объемов потребления угля для удержания глобального потепления в XXI в. в пределах 2 градусов.

Рис. 5. Изменения структуры мирового коммерческого энергопотребления E в период 1900-2100 гг. при полной имплементации Парижского соглашения (2015 г.)

Ресурсы ископаемого органического топлива (млрд т у.т.)

Вид топлива	Традиционные	Нетрадиционные		Всего
	Доказанные извлекаемые запасы [4]	Дополнительные ресурсы [13]	Технически извлекаемые ресурсы [14]	Окончательные извлекаемые ресурсы
Нефть	331	69	250	650
Газ	241	429	300	970
Уголь	616	1000	700	2300

пользовались модели глобального углеродного цикла и климата, разработанные в лаборатории глобальных проблем энергетики МЭИ [15], прошедшие успешную проверку данными наблюдений за последние 25 лет [12]. Можно ожидать, что эмиссия CO_2 при сжигании органического топлива и производстве цемента, неуклонно возрастающая в течение двух с половиной столетий индустриальной истории, достигнет своего максимума на уровне около 10-11 Гт С/год уже в 30-х гг. нынешнего столетия (рис. 6), после чего начнет постепенное снижение с возрастающей скоростью. Тем не менее, даже в случае успешной реализации Парижского сценария, к концу нынешнего столетия глобальная эмиссия все еще будет выше 6 Гт С/год, то есть на уровне начала XXI века. В рамках этого весьма оптимистичного сценария концентрация CO_2 приближается к критическому рубежу – 500 ppm (объемных частей на миллион) в конце нынешнего столетия и продолжает расти далее, хотя и с небольшой скоростью. Тем не менее преодоление рубежа среднеглобальной температуры в $1,5^\circ\text{C}$ неотвратимо и наступит при любом сценарии дальнейшего развития событий еще при жизни нынешнего поколения не позднее 2050-х гг. (рис. 7). Хотя и с ощутимым замедлением, температура продолжит свой дальнейший рост и

превысит критическую отметку в 2°C не позднее первой четверти XXII в. Более того, мы полагаем, что с учетом влияния естественных факторов климата это событие произойдет еще раньше, а именно — в 80-х гг. нынешнего столетия. Сомнения в возможности удержания потепления в условно безопасных пределах высказывались и ранее [11, 17-18]. Теперь же мы получаем новые подтверждения, что даже полномасштабная имплементация достигнутых в Париже соглашений не позволяет достичь желаемой цели.

Перед мировым сообществом стоит нелегкий выбор между осуществлением еще более жестких мер по сокращению эмиссии, что на наш взгляд, почти нереально, или адаптацией к совершенно новым климатическим условиям, которые продлятся не одно столетие. Исторический опыт свидетельствует в пользу ограниченных способностей мировой энергетики к реформации, что ставит под сомнение возможность полного осуществления Парижского соглашения. Каких последствий по изменению климата можно в связи с этим ожидать?

Ранее [19] мы проанализировали, каким образом уже достигнутое к настоящему времени среднеглобальное потепление на 1 градус (зафиксированное, к примеру, в период 1994-2013 гг. по сравнению со средним значением за

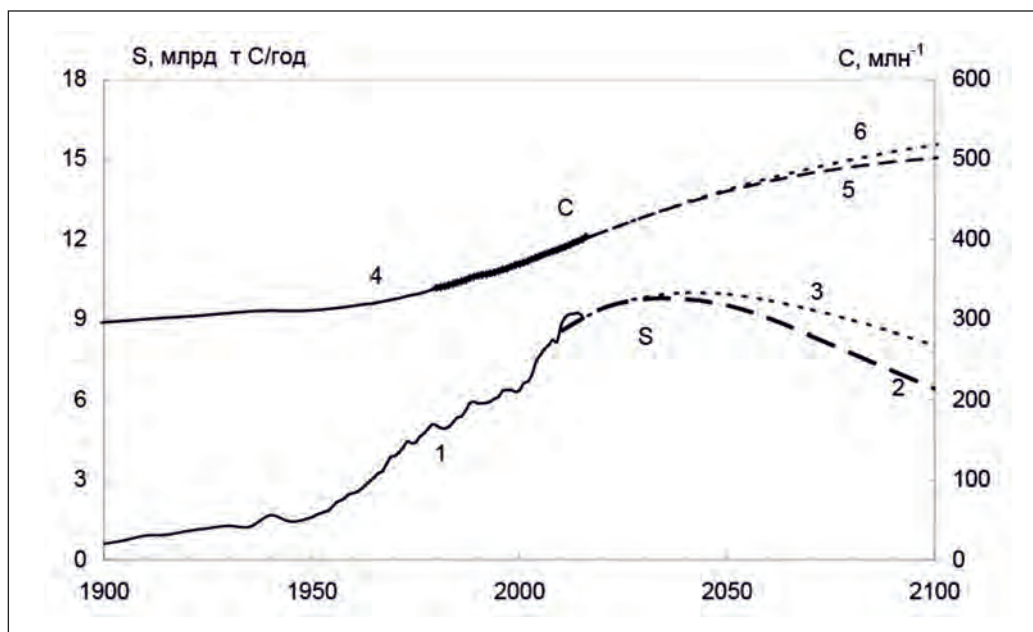
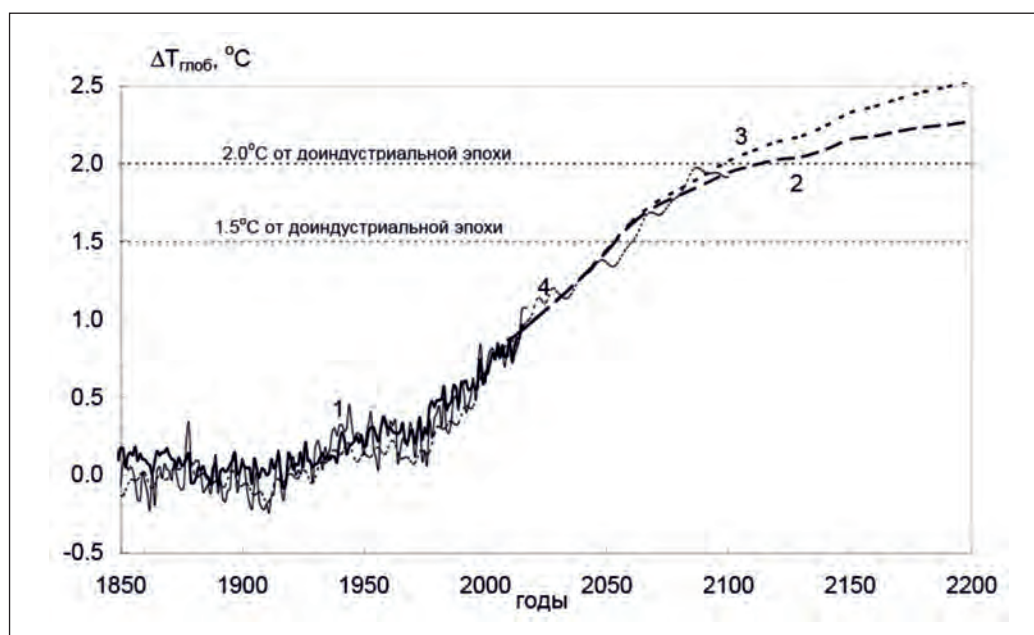


Рис. 6. Динамика эмиссии S (в пересчете на углерод) и атмосферной концентрации C диоксида углерода в период 1900-2100 гг.: история (1, 4) и сценарии «парижский» (2, 5) и консервативный (3, 6).



Температура отсчитана от средних значений за период 1871-1900 гг.

Рис. 7. Изменения среднеглобальной температуры $\Delta T_{\text{глоб}}$ в 1850-2200 гг.: история (1), сценарии – «парижский» (2), консервативный (3) и прогноз с учетом влияния естественных факторов [16] (4)

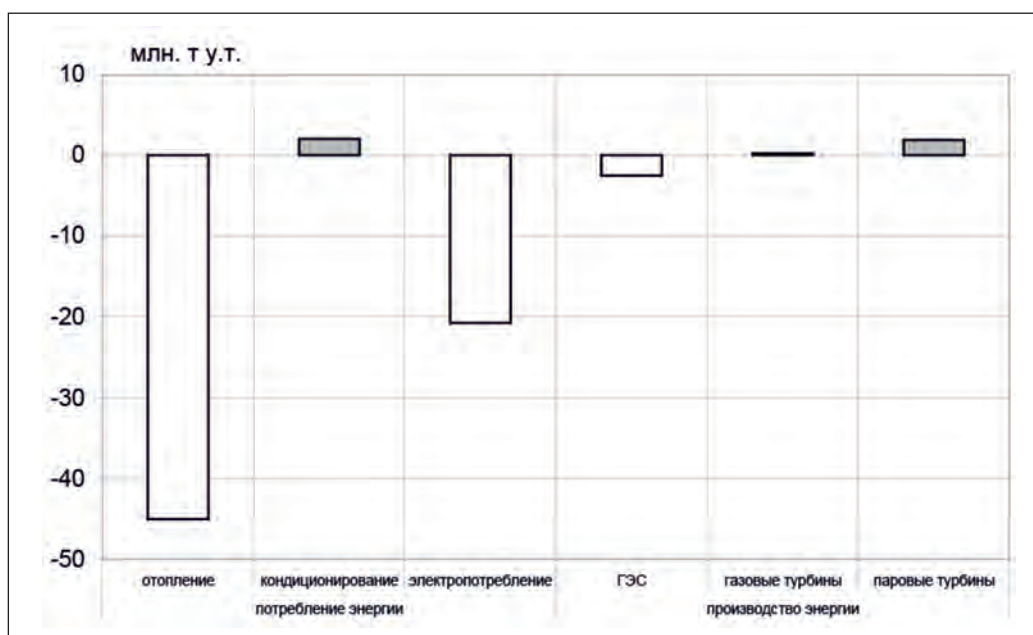
1951-1970 гг.) распределяется по территории Северного полушария. Максимальные значения повышения среднегодовой температуры воздуха наблюдаются в умеренных широтах, достигая 2-3 градусов на большей части северной Евразии и в приполярных регионах Северной Америки. Также обращают на себя внимание отдельные, не столь большие области экстремального потепления в Африке и на Ближнем Востоке. В то же время климат большей части американского континента, почти всей Европы и территории юго-востока Азии испытывает значительно менее интенсивное потепление, сравнимое или даже уступающее по размеру среднеглобальным значениям.

В силу особенностей глобальной климатической системы Россия оказывается в эпицентре происходящих на планете климатических изменений. Именно на территории нашей страны следует ожидать наиболее масштабных изменений, которые, несомненно, приведут к значительному смягчению природных условий. Так, к середине столетия в Центральной России средние годовые температуры воздуха по нашим расчетам [19-21] повысятся примерно на 1,5 °C, в результате чего, например, климат Москвы се-

редины XXI в. будет соответствовать современным природным условиям Варшавы.

Очень заметными будут и изменения прикладных температурных характеристик – градус-суток теплого и холодного периодов, что приведет к существенному изменению потребности в энергии на отопление и кондиционирование зданий в России (см. рис. 8). С учетом того, что соотношение этих энергозатрат в масштабах страны в настоящее время составляет более порядка величины в пользу отопления [19-21], можно сделать вывод о существенном, на 12-15%, сокращении затрат на коммунальное энергопотребление.

Из других важнейших климатических факторов, способных повлиять на энергетический комплекс России, нужно отметить изменение режимов увлажненности на территории страны и ледовой обстановки в арктических морях. В результате изменения количества осадков и интенсивности испарения с поверхности, согласно модельным оценкам, ожидается заметное (на 10-15% по сравнению с современным уровнем) увеличение стока рек в азиатской части России при незначительном его уменьшении на юге европейской территории страны, в связи



Для электроэнергетики пересчет сделан исходя из среднего значения удельного расхода топлива на ТЭС России в 2015 г. – 322,8 г у.т./кВт·ч)

Рис. 8. Энергетический эффект климатических изменений на территории России к середине XXI в. (изменение потребности в топливе)

с чем предполагается соответствующее увеличение среднесуточной выработки ГЭС [22].

Повышение температуры воздуха, которое более заметно проявляется в высоких широтах, приведет к увеличению продолжительности навигации на всех омывающих Россию морях. Особенно быстро будет меняться ледовая обстановка в западном секторе Российской Арктики, что значительно облегчит разработку главных шельфовых месторождений и доставку грузов по Северному морскому пути, продолжительность навигации по которому к середине столетия увеличится почти на месяц по сравнению с двухмесячным периодом в настоящее время [23].

Справедливости ради нужно отметить и негативные последствия климатических изменений для энергетики России. Следует ожидать некоторого снижения эффективности выработки электроэнергии на тепловых, и в особенности на атомных станциях, а также работы прочего газотурбинного оборудования – в частности газоперекачивающих установок [24]. Однако даже в масштабах страны в середине текущего столетия суммарные энергетические потери в этих секторах экономики составят менее 3 млн т у.т./год, в то время как только снижение годовой по-

требности в энергии на отопление превысит 45 млн т у.т. (рис. 8). Серьезные проблемы для энергетической инфраструктуры, в первую очередь нефте- и газопроводов, возникнут в результате существенной деградации вечной мерзлоты [25].

Выводы

1. Исторический опыт свидетельствует в пользу ограниченных способностей мировой энергетики к реформации, что ставит под сомнение возможность полного осуществления Парижского соглашения.

2. Выполнение Парижского соглашения предполагает резкое снижение потребления угля в мире вплоть до фактически полного отказа от него в течение нескольких десятилетий.

3. Преодоление рубежа глобального потепления в 1,5 °C неотвратимо и наступит при любом сценарии дальнейшего развития нашей цивилизации еще при жизни нынешнего поколения не позднее 2050-х годов.

4. Последовательное выполнение Парижского соглашения позволяет удержать повышение температуры в пределах 2 °C до 2100 г., но не предотвращает ее дальнейший рост.

5. Наблюдающиеся и ожидаемые изменения климата на территории России будут иметь в целом благоприятные последствия для отечественного энергетического комплекса, в первую

очередь за счет снижения отопительной нагрузки – основной статьи национального энергопотребления.

ЛИТЕРАТУРА

1. White L.A. *The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome*. 1959. N.Y.: McGraw-Hill.
2. Клименко В.В. Энергия, климат и историческая перспектива России // *Общественные науки и современность*. 1995. № 1. С. 99-105;
3. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. 1552 p.
4. BP Statistical Review of World Energy 2017. BP p.l.c., 2017. 52 p.
5. *Intended Nationally Determined Contributions. Compilation as communicated by 1st October 2015*. New York, UNFCCC, 2015. 1447 p.
6. *Global power generation 5-year spending outlook* / Industry Info Resources, Ireland: Galway, March 2017.
7. *Perspectives for the energy transition – investment needs for a low-carbon energy system*. OECD/IEA & IRENA. Berlin: German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2017. 204 p.
8. Fischer-Kowalski M., Schaffartzik A. Energy availability and energy sources as determinants of societal development in a long-term perspective // *MRS Energy & Sustainability*. 2015. №2. P. 1-14.
9. Smil V. The long slow rise of solar and wind // *Scientific American*. 2014. Vol.310. P. 52-57.
10. Снытин С.Ю., Клименко В.В. и Федоров М.В. Прогноз развития энергетики и эмиссии диоксида углерода в атмосферу на период до 2100 года // Докл. АН. 1994. Т. 336, № 4. С. 476-480.
11. Клименко В.В., Терешин А.Г. Мировая энергетика и глобальный климат после 2100 г. // *Теплоэнергетика*. 2010. № 12. С. 38-44
12. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. Опыт построения дальних прогнозов воздействия мировой энергетики на атмосферу Земли // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2015. Т. 51, № 2. С. 158-168.
13. *Survey of Energy Resources 2001*. London: World Energy Council, 2001. 396 p.
14. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources in 41 Countries Outside the US*. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration / Department of Energy, 2013. 730 p.
15. *Энергия, природа и климат* / В.В. Клименко, А.В. Клименко, Т.Н. Андрейченко, В.В. Довгальюк, О.В. Микушина, А.Г. Терешин, М.В. Федоров. М.: Изд-во МЭИ, 1997. 215 с.
16. Клименко В.В. Почему замедляется глобальное потепление? // Докл. АН. 2011. Т. 440. № 4. С. 536-539.
17. New M., Liverman D., Schroder H. and Anderson K. Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications // *Phil. Trans. Royal Society. Ser. A*. 2011. Vol. 369. No. 1934. P. 6-19.
18. Rogelj J., Nabel J., Chen C., Hare W., Markmann K., Meinshausen M. Schaeffer M., Macey K., Höhne N. Copenhagen Accord pledges are paltry // *Nature*. 2010. Vol. 464. No. 7292. P. 1126–1128.
19. Клименко В.В. Влияние климатических изменений на уровень теплопотребления в России // *Энергия*. 2007, № 2. С. 2-8.
20. Изменение объема и структуры коммунального энергопотребления под влиянием экономических и климатических факторов / В.В. Клименко, А.В. Клименко, А.Г. Терешин, Д.С. Безносова, Т.Н. Андрейченко // *Теплоэнергетика*. 2012. № 11. С. 3-10.
21. Клименко В.В., Гинзбург А.С., Демченко П.Ф., Терешин А.Г., Белова И.Н., Касилова Е.В. Влияние урбанизации и потепления климата на энергопотребление больших городов // Докл. АН. 2016. Т. 470, № 5. С. 519-524.
22. Климатические факторы возобновляемых источников энергии / В.В. Елистратов,

Е.М. Акентьева, М.М. Борисенко, Н.В. Кобышева, Г.И. Сидоренко, В.В. Стадник. СПб.: Наука, 2010.

23. Мохов И.И., Хон В.Ч. Продолжительность навигационного периода и ее изменения для Северного морского пути: модельные оценки // *Арктика: экология и экономика*. 2015. № 2 (18). С. 88-95.

24. Клименко В.В., Клименко А.В., Касилова Е.В., Рекуненко Е.С., Терешин А.Г. Эффективность работы газотурбинных установок в России в меняющихся климатических условиях // *Теплоэнергетика*. 2016. № 10. С. 14-22.

25. Клименко В.В., Хрусталева Л.Н., Микушина О.В., Емельянова Л.В., Ершов Э.Д., Пармузин С.Ю., Терешин А.Г. Изменения климата и динамика толщ многолетнемерзлых пород на северо-западе России в ближайшие 300 лет // *Криосфера Земли*. 2007. Т. XI, № 3. С. 3-13.

Поступила в редакцию
21.07.2017 г.

V.V. Klimenko, A.G. Tereshin, E.V. Fedotova³

WORLD ENERGY, FUEL RESOURCES OF THE PLANET AND GLOBAL CLIMATE CHANGES IN THE 21th CENTURY AND BEYOND

The paper outlines the global energy consumption forecast for the 21st and 22nd centuries developed at the National Research University Moscow Power Engineering Institute as part of the historical extrapolation approach to the energy development research. This forecast suggests demand plateau at the level of 28-30 billion tons of coal equivalent per year in the second half of the 21st century. It is shown that the prospective pattern of energy consumption is determined by the fossil fuel reserves available as well as various restrictions such as that imposed by the 2015 Paris Climate Agreement. The expected global changes in the atmosphere and climate are reviewed along with their effect on the Russian power industry.

Key words: volume and structure of global energy consumption, forecast, reserves, global atmosphere and climate changes, effect on the Russian power industry.

³ Vladimir V. Klimenko – Principal Researcher, Head of the Research Laboratory for Global Energy Problems, National Research University Moscow Power Engineering Institute, Corresponding Member of the RAS, Doctor of Engineering, Full Professor, *e-mail:* nilgpe@mpei.ru;
Alexey G. Tereshin – Leading Researcher at the Research Laboratory for Global Energy Problems, National Research University Moscow Power Engineering Institute, Doctor of Engineering, *e-mail:* TereshinAG@mpei.ru;
Ekaterina V. Fedotova – Researcher at the Research Laboratory for Global Energy Problems, National Research University Moscow Power Engineering Institute, PhD in Engineering, *e-mail:* e.v.kasilova@gmail.com

УДК 339.9: 551.5

А.О. Кокорин¹

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА КАК ОСНОВА ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ²

В статье рассматривается, как уровень научных знаний по проблеме изменения климата повлиял на содержание Парижского соглашения ООН. Описываются объективные сложности понимания физической основы антропогенного воздействия на климат, а также сложности трансформации долгосрочных прогнозов в практические действия на ближайшие годы [1]. Эти проблемы приводят к тому, что, признавая негативный и антропогенный характер изменений климата XXI в., крупнейшие страны не видят для себя большого риска от медленного снижения выбросов парниковых газов. До 2030 г. их устраивает стабильный уровень глобальных выбросов, без их снижения. Анализ данных последних лет показывает, что это реально, а сами глобальные выбросы уже практически вышли на «плато», в основном благодаря замене угля на газ и ВИЭ в Китае и США. В результате Парижское соглашение делает акцент на адаптацию к изменениям климата, а сфере выбросов оно представляет собой «паузу». В ближайшие 10-15 лет все страны действуют только на национальном уровне, без обязательных международных мер. В дальнейшем, если климатические риски и ущерб для крупнейших стран будут нарастать, для совместных мер могут быть сделаны поправки к соглашению с их последующей ратификацией.

Ключевые слова: изменения климата, выбросы парниковых газов, адаптация, Парижское соглашение.

Введение

Парижское соглашение Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) представляет собой рамочный документ о принципах глобальных действий. Однако, открывая новый этап мировой климатической политики, оно не является договоренностью об активных шагах по снижению выбросов парниковых газов антропогенного происхождения. Первичная роль принадлежит национальным действиям по конкурентоспособному высокотехнологичному развитию [2, 4]. Не вводятся международных платежей за выбросы парниковых газов, страны даже не обязаны осуществлять их регулирование. Согласно соглашению достаточно лишь принимать внутренние меры, ведущие к меньшим выбросам, фактически это делается уже давно, в частности Россия предпринимает шаги по повышению энергоэффективности и успешно отчитывается в ООН.

Не является ли это следствием неуверенности стран в антропогенном характере изменений климата или недостаточного уровня знаний? На климатических переговорах в ООН все страны говорят о доверии к климатической на-

уке и выводам Межправительственной группы экспертов об изменении климата (МГЭИК) по физическим аспектам влияния человека на климатическую систему [3] и по их воздействию на природу [12]. Но крупнейшие страны не спешат следовать экономическим выкладкам МГЭИК, а также использовать все технические и финансовые ресурсы для скорейшего достижения долгосрочной цели Парижского соглашения [3].

Такая ситуация, во-первых, объясняется объективными сложностями *понимания проблемы антропогенного воздействия на климатическую систему Земли*. Во-вторых, *неоднозначностью связи между будущими рисками и сегодняшними действиями*, между глобальным ущербом и потерями своей страны. В итоге многие специалисты в области финансов и энергетики видят лишь экономическую сторону Парижского соглашения и высказывают подозрения, что иной стороны нет вообще, что твердой физической основы у данной договоренности не существует.

Основа есть, но убедиться в этом можно лишь обратившись к специальной научной литературе по физике атмосферы и океана. Поэтому первой задачей данной статьи является краткое изложение основы, ориентированное на

¹ Алексей Олегович Кокорин – директор программы «Климат и энергетика», Всемирный фонд дикой природы (WWF), к.ф.-м.н., e-mail: yakokorin@wwf.ru

² Работа выполнена по проекту WWF России и РАНХиГС «Анализ экономических аспектов реализации Парижского климатического соглашения ООН».

объективные сложности понимания физической проблемы и перехода к практическим действиям. Именно они обусловили акцент Парижского соглашения на адаптацию и слабость действий по выбросам. Рассмотрение показывает, что крупнейшие страны пока не видят для своей территории и своего бизнеса сильных климатических угроз на ближайшие десятилетия, на период обычного горизонта экономического планирования. Также важно, что, несмотря на отсутствие действий ведущих стран, специально направленных на снижение выбросов, они более не растут. Их динамика определяется не Парижским соглашением, а глобальным трендом на высокотехнологичное развитие в широком смысле слова, включая большее использование газа и ВИЭ. Однако стабилизация выбросов не означает, что они пойдут вниз: вероятнее, что будут на одном уровне до 2030 года.

Сложности понимания физической основы антропогенного воздействия на климатическую систему

Особенностью очень небольшого, но существенного антропогенного усиления естественного парникового эффекта является то, что его главная фактологическая база обычному человеку не видна в принципе³.

Видимые глазу факты относятся только к приземному слою атмосферы (температура, осадки, ветры и т.п.), снежному и ледовому покрову. Росгидрометом публикуются детальные данные, карты изменения среднегодовой, сезонной и месячных температур за последние 40 лет и т.п. [7]. Вывод однозначен – рост температуры велик и гораздо больше погрешности измерений, он никак не может быть объяснен искусственными эффектами некорректного расположения метеостанций, недостатком или неполной обработкой данных. Однако пространственная и временная изменчивость очень велика, размах отклонений температур от нормальных значений (средних за период с 1961 по 1990 гг.) достигает 20 °C, в то время как рост средней темпера-

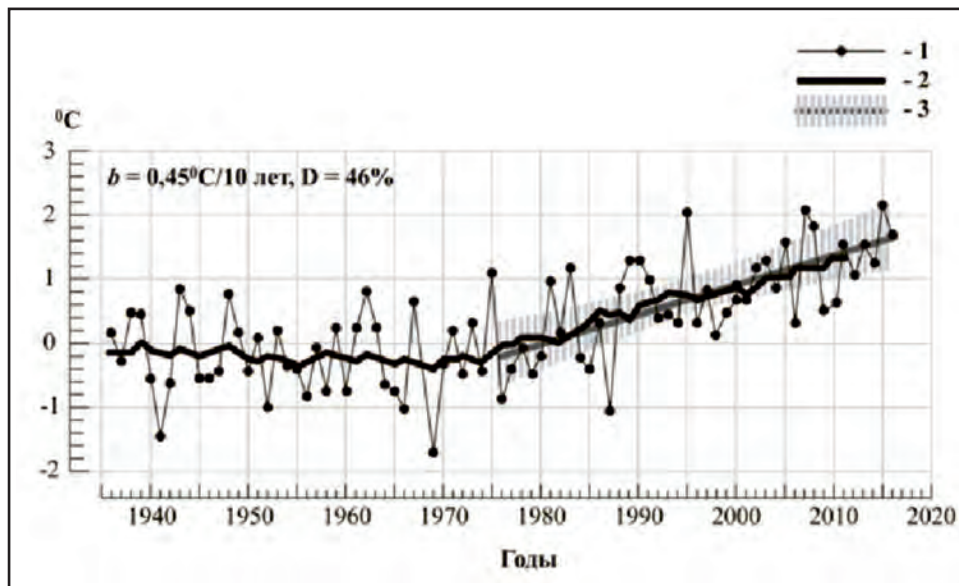
туры за последние 40 лет составил только 1,8 °C [7], рис. 1. Говоря об атмосфере, более корректно вести речь не о глобальном потеплении, а об *изменении климата*. Оно очень наглядно проявляется в росте числа и интенсивности опасных метеорологических явлений (сильных осадков, аномальных температур, штормовых ветров и т.п.). За последние 15-20 лет их число возросло с 150-250 до 500-550, в 2016 г. их было 590, подчеркнем, что это все явления, а не только нанесшие ущерб (они учитываются отдельно), что эффект нельзя списать на бесхозяйственность или некорректность рядов наблюдений [7].

К видимым явлениям также нужно отнести сокращение снежного и ледового покрова Арктики [7] и изменения в Антарктике. Они вызваны одностипными изменениями циркуляции атмосферы, но приводящими к разным трендам (усиление меридионального переноса воздушных масс ведет к таянию Арктики, но сохранению морских льдов в Антарктике). К видимым эффектам можно отнести и данные о приходе и уходе ледниковых периодов, полученные на антарктической станции «Восток» [1].

Однако все перечисленное еще не является доказательством антропогенного воздействия. Такие изменения и колебания были и в прошлом, хотя по сравнению с XX в. аномальные явления стали чаще и сильнее. Все соглашались с ролью человека в изменении микроклимата – в мегаполисах и окрестностях крупных водохранилищ, но далеко не все согласны поверить в антропогенное глобальное потепление, особенно в холодную погоду. Из внимания ускользает, что закон сохранения энергии применим лишь ко всей климатической системе Земли в целом, а не к конкретному городу, или даже к приземному слою воздуха на всей планете. Энергический разбаланс есть, но он гораздо глубже в прямом смысле слова.

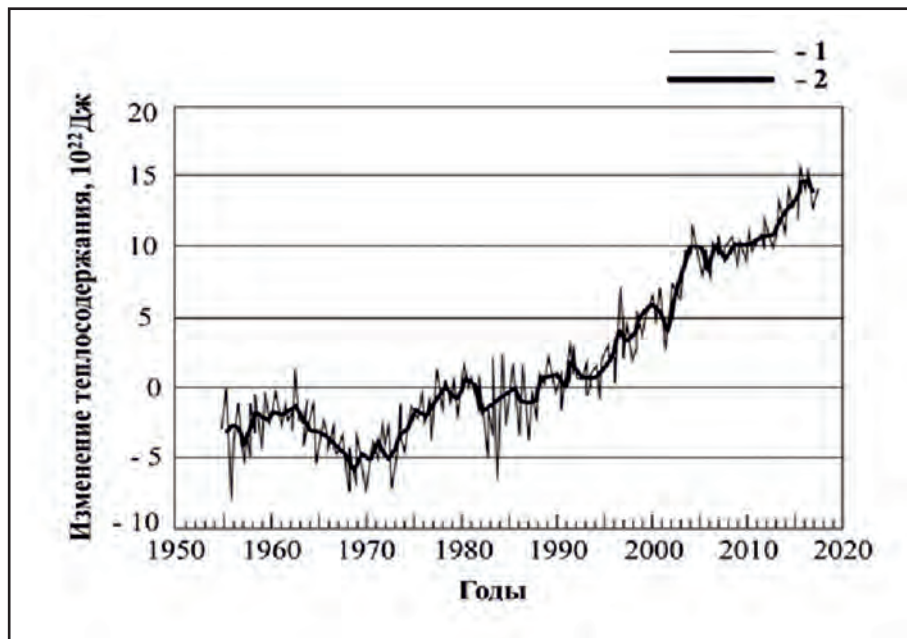
Первый невидимый глазу аргумент – повышение теплосодержания верхних сотен метров всех океанов. По энергетике процесса оно несоизмеримо больше любых изменений в атмосфере [1, 15]. Именно благодаря этому факту можно

³ Ниже дается очень краткое изложение фактов, предполагающее, что читатель может обратиться к базовым первоисточникам. Под ними понимаются публикации в профильных научных журналах, систематизированные прежде всего в специальных обзорах Росгидромета – двух всеобъемлющих докладах [1, 6], ежегодных докладах [7], а также аналогичных материалах Всемирной метеорологической организации [15].



- 1 – отклонения среднегодовой температуры от средних значений за 1961-1990 гг.;
 2 – 11-летнее скользящее среднее;
 3 – линейный тренд за 1976-2016 гг. с 95%-й доверительной полосой;
 b – коэффициент тренда, D – вклад тренда в суммарную дисперсию.

Рис. 1. Температура приземного слоя воздуха на территории России в 1936 -2016 гг. [7]



- 1 – трехмесячные значения (по октябрь-декабрь 2016 г.);
 2 – среднегодовые значения по 2016 год.

Рис. 2. Рост теплосодержания верхнего слоя Мирового океана (0-700 м) по отношению к 1955-2006 гг. [15]

говорить, что идет *глобальное потепление* – разбаланс в сторону большей энергии, рис. 2. Если теплосодержание главного, океанского, звена климатической системы растет, то факт потепления остается неизменным даже в гипотетическом случае охлаждения всей атмосферы.

С другой стороны, источником тепла является тропосфера, где имеет место второй базовый эффект – беспрецедентный рост концентрации CO_2 , которого не было как минимум миллион лет. Более того, изотопный анализ неопровержимо свидетельствует, что рост преимущественно вызван сжиганием ископаемого топлива [1, 11]. К этому можно добавить понижение температуры стратосферы [7]. Оно характерно именно для усиления парникового эффекта («пленка» толще), в случае солнечных причин изменения температуры в тропосфере и стратосфере однонаправлены, как уже бывало ранее.

В масштабе отдельных лет и десятилетий большую роль играют естественные факторы – солнечные и океанские вариации, извержения вулканов. Все они, равно как и антропогенное загрязнение атмосферы аэрозольными частицами, сажей, озоном и др., детально анализируются и численно сопоставляются с усилением парникового эффекта [1, 6, 11]. В сочетании с хорошо изученным парниковым эффектом как таковым (важен учет его спектральных особенностей, в частности по водяному пару – главному парниковому газу атмосферы) все это однозначно говорит о том, что в долгосрочном масштабе XX-XXI вв. мы встретились со значительным антропогенным глобальным потеплением [1, 6, 11].

Принципиально важно, что долгосрочный антропогенный эффект накладывается на естественные вариации различного временного масштаба. При извержениях вулканов с заносом аэрозолей в стратосферу в течение 1-3 лет наблюдается глобальное похолодание на 0,1-0,2 °C. В случае солнечных вариаций в те или иные десятилетия XXI в. возможно глобальное похолодание на 0,2-0,3 °C. Океанские вариации могут обуславливать сильные региональные эффекты, например, хорошо видна примерно 5-летняя периодичность морских льдов в Арктике [7]. Одна-

ко в глобальном масштабе их действие нивелируется. Даже сильное Эль-Ниньо⁴ с перекачкой огромного количества энергии из океана в атмосферу, наблюдавшееся в 2015-2016 гг., привело к относительно небольшому скачку глобальной температуры приповерхностного слоя воздуха и уменьшению общего теплосодержания океана. В краткосрочном плане это очень сильный эффект, см. рис. 1 и 2. В 2017-2018 гг. по температуре тропосферы будет похолодание, что может вызвать немало идей об окончании глобального потепления в средствах массовой информации, но о смене долгосрочной тенденции речи быть не может. При осреднении естественных эффектов на все столетие они значительно уступают антропогенному тренду [1, 6, 11].

Сложности перехода от долгосрочных глобальных прогнозов к практике

Есть три обстоятельства, которые принципиальным образом тормозят принятие решений по снижению антропогенного воздействия на климатическую систему Земли.

1. Временной лаг между снижением выбросов и уменьшением негативных последствий, например, засух, наводнений, горимости лесов и т.п. Независимо от действий мирового сообщества (термоядерная война не рассматривается) изменения климата в течение 30-40 лет уже предопределены накопленной концентрацией CO_2 в атмосфере и инерцией океана. Снижая выбросы в 2020-2040-е годы, мировое сообщество облегчает жизнь будущих поколений: от снижения интенсивности опасных метеорологических явлений, подъем уровня океана, таяние арктических льдов и многолетнемерзлых пород и др., но только во второй половине XXI в. и далее. Фактически речь идет о том, чтобы избежать худших вариантов будущего развития событий [1, 11, 12].

2. Географическая неравномерность эффекта. На вторую половину XXI в. четыре различных сценария – проекций отклика климатической системы на различную динамику антропогенных выбросов парниковых газов – дают разный

⁴ Течение Эль-Ниньо (исп. El Nino – «малыш, мальчик»), или Южная осцилляция (англ. Southern Oscillation, SO) – колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана.

прогноз. В худшем случае сильно негативных эффектов много (проекция RCP 8.5, что соответствует росту температуры к 2100 г. на 4-5 °C от доиндустриального уровня), рис. 3. Например, чрезвычайная пожароопасность лесов Сибири, сильнейшие засухи в засушливых странах, затопление низменных территорий и т.п. [1, 12]. При этом эффекты очень неравномерны географически. Для больших стран они, как правило, охватывают лишь часть территории и оставляют возможность для маневра. В менее драматических проекциях, при росте глобальной температуры на 3 °C, пространственные различия по общему эффекту не слабее. Ряд малых стран, особенно тропических островных государств, низменных прибрежных или засушливых районов попадают под очень сильный удар. В то же время большая часть территорий крупнейших стран испытывает относительно небольшие проблемы, которые могут быть сглажены мерами адаптации [5, 10].

3. Значительная неопределенность прогнозов. В научных публикациях все предположения и условия прогнозов тщательно описываются, предельно корректно используются термины «определенно», «вероятно» или «возможно» [1, 11, 12]. Часто дается широкий диапазон оценок. Например, говорится, что повышение уровня Мирового океана в XXI в. составит от 50 см до 1 метра, а в XXII в., возможно, увеличится до 3 метров. При этом, как правило, указывается, что есть научные работы, показывающие возможность более сильных эффектов, в частности, повышения на 5 метров и более (в случае разрушения западно-антарктических шельфовых ледников и ускоренного таяния ледового щита Гренландии). Три, а тем более 5 метров, – это серьезная опасность, хотя и сильно отличающаяся от алармистских проекций затопления крупных городов Европы. Однако, будучи изложенной в академическом стиле и лишь как верхняя граница оценок, дает политикам немалую «свободу». Заметим также, что в публикациях по физике антропогенного воздействия в принципе не содержится каких-либо прикладных выводов экономического характера. В итоге образуется люфт для принятия решений за пределами климатической науки – на экономическом и политическом уровне.

Влияние оценки климатических рисков на Парижское соглашение

Главная новая черта соглашения – признание адаптации глобальной задачей, равной по значимости снижению выбросов, – не случайна. Расчеты, делающиеся страховыми компаниями, говорят о большом и растущем ущербе от аномальных климатических явлений для США и других развитых стран. Однако это далеко не полная картина, так как страховое покрытие остальной части мира несоизмеримо ниже. В натуральном выражении главная часть ущерба от изменений климата уже приходится и будет приходиться на развивающиеся страны Африки, Азии и Латинской Америки [14].

Осознание ситуации с адаптацией – главный идеологический результат Парижского соглашения. В 2010-2014 годах финансирование мер адаптации в развивающихся странах по различным международным каналам выросло с 4,5 до 25 млрд долл. в год, а до 2030 г. прогнозируется рост ежегодных расходов до 140 млрд [14]. Если выбросы парниковых газов не будут сильно снижаться, то во второй половине века на адаптацию потребуется до 500 и более млрд долл. в год. Альтернатива – невозможность проживания людей на больших территориях Африки и Азии и переселение десятков, а, возможно, и сотен миллионов человек.

Ситуация со снижением выбросов более неопределенна. До конференции в Париже крупнейшим странам нужно было выяснить, *какой может быть траектория глобальных выбросов до 2030 г.*, и убедиться, что *такая динамика ведет к относительно небольшим для них рискам и потерям.* Нужно было посчитать, что произойдет, если все страны мира при решении уже стоящих перед ними задач будут делать выбор в пользу более высокотехнологичных решений. Под задачами здесь понимаются экономическое развитие, продвижение за рубеж своих технологий, геополитические устремления (например, к независимости от импортируемых энергоносителей), чистота воздуха (там, где его загрязнение достигло неприемлемых уровней, например, в Китае), рабочие места, ликвидация бедности и т.п. Задачу снижения выбросов как первичного драйвера своих внутренних планов страны

практически не ставят. Это возможно только после признания необходимости снижения выбросов как самоцели [2]. Пока же речь идет о том, что власти побуждают бизнес к ускоренному освоению новых технологий, которое чисто коммерчески, вероятно, и так было бы выгодно, но несколько позже. В целом картина примерно следующая: эти действия выгодны, скажем, 1 млн компаний и организаций по всему миру (цифра условная), связывающим свой бизнес с ускоренным обновлением технологий, но не выгодно 0,5 млн компаний, которым было бы выгодно «заморозить» ситуацию. Первые выигрывают, но вторые оказывают немалое сопротивление, обвиняя «Париж» в заговоре, нацеленном на то, чтобы люди *«выбросили старое, чтобы купить новое и дать прибыль его производителям»*.

В 2014-2015 гг. ЕС, США, Япония и другие развитые страны приложили максимум усилий, чтобы добиться от Китая, Индии, Бразилии, ЮАР, Мексики и других крупнейших развивающихся стран данных о траекториях их выбросов парниковых газов при ускоренном уходе от старых технологий и внедрении новых. Состоялось несколько раундов двусторонних переговоров, после чего на основании сценариев взаимовыгодного развития страны определили свои параметры по парниковым газам до 2025-2030 года. Полученные цифры имеют глубокую экономическую основу, в частности, трансформацию энергетики в сторону большего использования газа и ВИЭ. Поэтому решение Президента США о выходе из Парижского соглашения не столь существенно. Многие компании, города, штаты США неслучайно заявили, что не будут менять своих планов. Сейчас выбросы США примерно на 17% ниже, чем в 2005 г., и идут вниз. В Париже Соединенные Штаты обещали к 2025 г. снизить их на 26-28% по сравнению с уровнем 2005 года. Роль задуманных бывшей администрацией США специальных мер по стимулированию технологий, которые, вероятно, не будут реализованы, относительно невелик. Ожида-

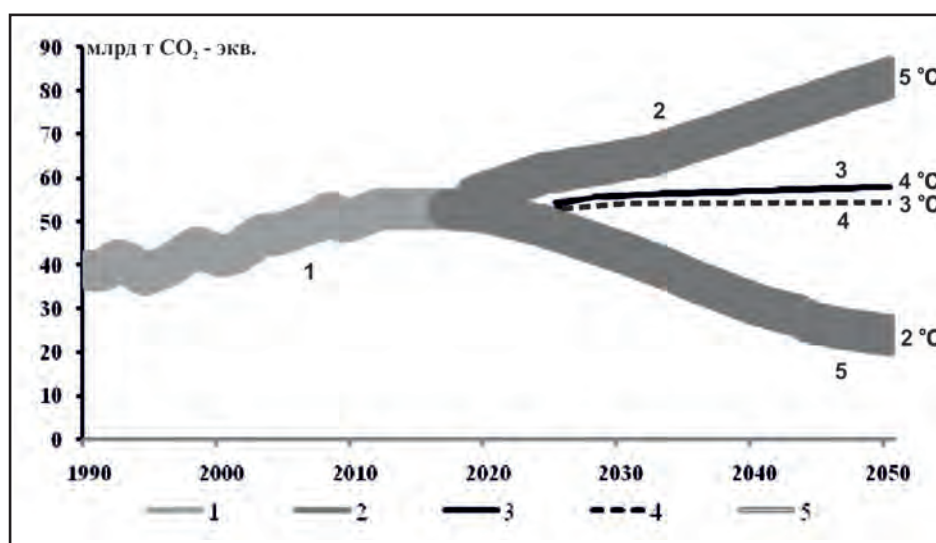
ется, что в 2025 г. выбросы будут примерно на 24% ниже 2005 г., причем с неизменным нисходящим трендом. Поэтому с точки зрения глобальной долгосрочной динамики выбросов ситуация не меняется.

В Парижском соглашении обещания стран получили название «вкладов». Для более слабых стран типично наличие нескольких вариантов «вкладов» – в зависимости от того, будут ли привлечены внешние инвестиции или нет⁵. Россия в своем «вкладе» планирует развиваться без роста выбросов, что хорошо соответствует последней редакции энергетической стратегии на период до 2035 г. [8]. Важно подчеркнуть, что «вклады» не являются международными обязательствами. Это один из принципов Парижского соглашения, жестко отстаиваемый крупнейшими развивающимися странами.

«Вклады» идентичны национальным целям стран на 2025 или 2030 год. Каждая страна обязана иметь цель и подать в ООН информацию о ней, но предметом переговоров в ООН цели не могут быть в принципе. Россия планирует принять национальную цель в 2020 году⁶. Обещанные в Париже значения – лишь возможный ее вариант, который может быть изменен. После подачи принятой страной национальной цели («вклада»), согласно Парижскому соглашению, ее можно корректировать только в сторону снижения выбросов, также цель на 2035 г. должна подразумевать меньшие выбросы, чем цель на 2030 год и т.д. Поэтому правку данных в Париже обещаний уже сделали немало стран, например, Аргентина и Канада, но для глобальной динамики выбросов это несущественные изменения. Также принципиально, что страны не обязаны вводить какие-либо платежи или регулирование выбросов, требуются лишь внутренние меры, ведущие к снижению выбросов. О таких мерах Россия и другие страны успешно отчитываются каждые два года. Таким образом, в смысле выбросов, Парижское соглашение очень слабое. Ничего нового делать не надо, так как крупнейшие страны вполне устраивает нынешняя динамика.

⁵ Вся информация имеется на сайте РКИК ООН (специальный портал по «вкладам» стран в глобальные усилия, в частности – по снижению выбросов парниковых газов). URL: http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/8766.php.

⁶ Распоряжение Правительства РФ №2344-р от 03.11.2016 «План реализации комплекса мер по совершенствованию государственного регулирования выбросов парниковых газов и подготовки к ратификации Парижского соглашения, принятого 12 декабря 2015 г. 21-й сессией Конференции сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата».



1 – данные о выбросах в 1990–2016 гг. (ширина линии примерно соответствует диапазону неопределенности);
 2 – «базовый» сценарий, диапазон неопределенности на 2030 г. – 58,5–68,5 млрд т, на 2050 г. – 70–90 млрд т;
 3 – цели стран по Парижскому соглашению на 2025–2030 годы («безусловные» – без финансовой помощи развивающимся странам) и экстраполяция тренда на 2050 год;
 4 – цели стран по Парижскому соглашению на 2025–2030 годы («условные» – с финансовой помощью развивающимся странам) и экстраполяция тренда на 2050 год;
 5 – «путь 2 °C» – достижение долгосрочной цели Парижского соглашения, диапазон неопределенности на 2030 г. – 31–44 млрд т, на 2050 год – 18–28 млрд т.

Источник: расчеты автора по данным [11, 14].

Рис. 3. Траектории глобальных выбросов парниковых газов до 2030 г. в сравнении с путями роста глобальной температуры приземного слоя воздуха к концу XXI века

UNEP и ряд других организаций сделали расчеты общего результата всех «вкладов» [5, 13]. Получилось, что планы на период до 2030 г. означают стабильный уровень глобальных выбросов, а его экстраполяция на XXI в. ведет мир по пути 3 °C с диапазоном от 2,7 до 3,3 °C (к 2100 г. нижний слой атмосферы на 2,7–3,3 °C теплее доиндустриального уровня). Диапазон зависит как от неопределенностей расчетов климатических параметров, так и от наличия или отсутствия у ряда развивающихся стран финансовой поддержки. Траектория без поддержки названа «безусловной», а с поддержкой – «условной», рис. 3.

Конечно, средняя температура – лишь некий индикатор, но за ним кроются серьезные последствия – засухи, наводнения, шторма, затопление низменных территорий и т.п. В сумме парижские обещания развеяли опасения худшего развития событий – пути 4–5 °C, для которого прогнозы очень негативны [1, 12, 13, 14]. Страны

сумели существенно отойти от сценария «бизнес как обычно» (BAU), на 2030 г. оценки говорят об отклонении в 10–15%. Три, а не 4 °C означает, что крупнейшие страны будут подвержены не столь сильным климатическим рискам и понесут гораздо меньшие расходы на адаптацию [10, 12]. Однако при следовании путем 3 °C потери более 100 небольших развивающихся стран очень серьезны. На обширных территориях, где и сейчас есть дефицит воды, ситуация ухудшится. Низменные территории, малые островные государства сильно пострадают от наводнений, нагонных явлений, подъема уровня Мирового океана. В особенно тяжелом положении оказались малые островные государства, для их спасения нужен путь 1,5 °C [11, 13].

Поэтому в Парижском соглашении заложен обязательный пересмотр национальных целей каждые 5 лет, чтобы приближаться к менее 2 °C, что заявлено как цель соглашения на

XXI век. При этом ничего не говорится о том, насколько каждые 5 лет цели усиливаются – возможно, совсем символически.

Реально ли удержаться на «плато» глобальных выбросов?

Вопрос приближения к 2 °C будет более актуален в 2023-м и 2028-м годах, когда в РКИК ООН намечено подведение итогов глобальных действий. До конца 2018 г. предстоит лишь выработать правила данного процесса (не выходя за рамки принципов соглашения, то есть без оценки национальных целей, а лишь обрисовывая общую картину). Сейчас более актуален вопрос об удержании глобальных выбросов на «плато».

Мировое энергетическое агентство (МЭА), World Resource Institute (WRI) в 2017 г. сообщили о практической неизменности выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива, производства цемента и других промышленных процессов в 2013-2016 годах [9]. Они представляют собой 2/3 всех глобальных антропогенных эмиссий парниковых газов. При этом рост остальных выбросов либо маловероятен, либо несущественен по абсолютной величине. В развитых странах площадь лесов стабильна, а в развивающихся темпы сведения лесов снижаются. Ожидать существенного роста выбросов метана маловероятно, так как рост эмиссий от животноводства, отходов и выращивания риса ниве-

лируется их снижением при операциях с газом, нефтью и углем [11].

Когда в 2008-2009 годах выбросы CO₂ пошли вниз (здесь и далее имеются в виду выбросы без учета лесного и сельского хозяйства), это объяснялось глобальным экономическим кризисом. В 2010 г. они вернулись на прежнюю траекторию долгосрочного роста с 2000 г., см. рис. 4. Однако затем произошло кардинальное изменение – мировой ВВП стал расти при неизменных выбросах CO₂.

2015-2016 годы были очень теплыми, так как наряду с общим трендом потепления сказалось влияние Эль-Ниньо – «перекачка» накопленного в южной тропической части Тихого океана тепла в атмосферу. При этом гораздо сильнее был рост температур в южных широтах [15], расход электроэнергии на кондиционирование возрос и компенсировал снижение затрат на отопление в северных странах.

В 2016 г. в Китае выбросы CO₂ снизились на 1%, что во многом явилось следствием снижения спроса на уголь [9], а экономика выросла на 6,7%. Наблюдался рост ВИЭ, атомной энергетики и потребления газа как альтернативы углю. Сильной движущей силой перехода с угля на газ в промышленности и ЖКХ также стала необходимость снизить загрязнение воздуха. Две трети роста спроса на электроэнергию, который составил 5,4%, было покрыто за счет неуглеродных источников. Именно в использовании газа в «угольных» странах, прежде всего Китае и

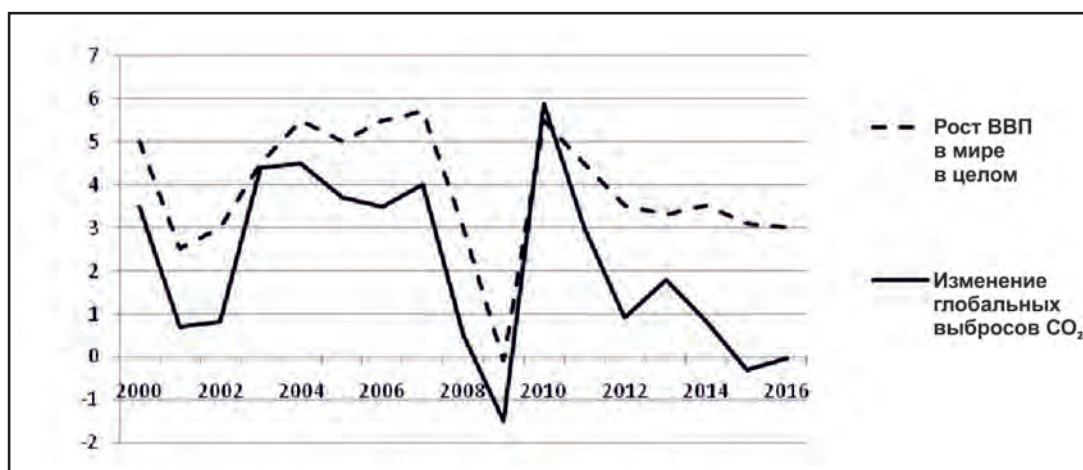


Рис. 4. Сопоставление выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива и производства цемента и экономического роста в мире в целом в 2000-2016 гг., в % изменения от предыдущего года [9]

Выбросы CO₂ в крупнейших странах и в мире в целом в 2015 году⁷

Страны	Доля в глобальных выбросах CO ₂ (оценка на 2015 г.), %	Изменение выбросов CO ₂ в 2015 г. (оценка) %
Мир в целом	100	-0,1
Группа 20	82	-0,5
Страны, не входящие в Группу 20	18	+3
Китай	29	-0,7
США	14	-2,6
ЕС-28	10	+1,3
Индия	7	+5,1
Россия	5	-3,4
Япония	3,5	-2,2

Индии, содержится важнейший потенциал снижения выбросов CO₂ (в Индии доля газа лишь около 5%).

В США в 2016 г. выбросы CO₂ снизились на 1,7%, а экономика выросла на 1,6%. Сланцевый газ и ВИЭ значительно потеснили уголь, потребление которого в 2016 г. снизилось на 8,6%. При этом потребление газа возросло на 0,9%, а нефтепродуктов на 1,1%. Снижение выбросов достигнуто за счет снижения углеродоемкости энергетики, с 2005 г. более чем на 25%, в 2016 г. выбросы CO₂ в электроэнергетике снизились на 5%. В угольной энергетике с 2010 г. закрылись более 250-ти станций, что объясняется экономическими причинами, причем этот процесс продолжается и в 2017 году.

В других странах процесс замены угля на газ, ВИЭ и атомную энергию не столь существенен для глобальной динамики CO₂. В ЕС выбросы CO₂ в 2016 г. практически не изменились, спрос на газ вырос на 8%, а на уголь снизился на 10%. ВИЭ в ЕС играют важную роль, но она меньше угольно-газового фактора. В целом 20 крупнейших стран дают более 80% всех выбросов CO₂, см. таблицу. В них в целом в 2015 г. снижение выбросов составило 0,5%, в то время как в мире в целом выбросы уменьшились на 0,1%.

В иной ситуации находятся более мелкие развивающиеся страны, где в целом в 2015 г. выбро-

сы выросли на 3%. В большинстве из них идет процесс первичной индустриализации, когда новое производство не сменяет старое, а возникает впервые. В России выбросы CO₂ не имеют тенденции к росту, но снижение тоже не прогнозируется, в кризисном, 2015 г., ситуация была нетипична [8].

Рассмотрение представленных в РКИК ООН стратегий низкоуглеродного развития ряда ведущих стран на период до 2050 г. говорит о большой разнице в действиях до и после 2030 года⁸. Радикальные действия отодвигаются на более отдаленную перспективу, на иной этап глобальных действий. 2030 г. – некий рубеж и новый этап Парижского соглашения, когда, возможно, к нему будут приняты поправки, стимулирующие ускоренное снижение выбросов. Заметим, что иного способа изменить соглашение, кроме поправок, нет, а сами поправки подлежат новой ратификации и вступают в силу только для ратифицировавших их стран.

Заключение

Парижское соглашение в целом адекватно отражает уровень научных знаний по проблеме изменения климата. Его долгосрочная цель учитывает интересы наиболее слабых и уязви-

⁷ Database Edgar. Trends in global CO₂ emissions; 2016 European Commission, Joint Research Centre. 86 pp. URL: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu> or <http://www.pbl.nl/en/trends-in-global-co2-emissions>

⁸ UNFCCC, 2017. United Nations Framework Convention on Climate Changes. Official documents and decisions, including the Paris Agreement. National reports with information on greenhouse gas emissions. INDC Portal. NDC Registry. Long-term Strategies. URL: <http://unfccc.int/2860.php>

мых стран, местностей и групп населения, но на ближайшие 10-15 лет реализация договоренности соответствует взглядам лишь крупнейших государств.

В соответствии с обещаниями стран на период до 2030 г., которые они дали в Париже, глобальные выбросы парниковых газов выходят на «плато». Данные последних лет показывают, что оно уже достигнуто, а удержание стабильного глобального уровня совершенно реально даже без специальных мер по снижению выбросов. Однако такая траектория ведет к росту температуры к концу века не на 2, а на 3,3 °С. Это приемлемо для крупнейших стран мира (по крайней мере на ближайшие 10-15 лет), но не удов-

летворяет более слабые и уязвимые государства. О глобальной динамике выбросов после 2030 г. пока судить преждевременно. Это зависит как от понимания рисков и ущерба от изменений климата для крупнейших стран, так и от экономических параметров использования различных источников энергии.

С точки зрения решения климатической проблемы как таковой, Парижское соглашение – договоренность об отсрочке активных глобальных действий по снижению выбросов парниковых газов, компенсированное обширной финансовой помощью развивающимся странам в их адаптации к негативным эффектам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. М.: Росгидромет. 2014. 1008 с. URL: <http://www.meteorf.ru/product/climat/>
2. Кокорин А.О. Новые факторы и этапы глобальной и российской климатической политики // Экономическая политика. 2016. Т. 11. № 1. С. 15-176. URL: <http://www.ep.ane.ru/pdf/2016-1/kokorin.pdf>
3. Кокорин А.О. Ущерб и прямые риски от изменения климата как основа Парижского соглашения ООН // Экологический ежегодник. 2016. № 9. С. 14-26. URL: <http://www.ecology-science.com>
4. Кокорин А.О. Прямое и косвенное влияние Парижского соглашения на выбросы парниковых газов // Аналитический вестник Совета Федерации РФ. 2017 № 6 (663). С. 15-22. URL: http://www.council.gov.ru/activity/analytics/analytical_bulletins/79345/
5. Кокорин А.О. Анализ факторов и последствий быстрой ратификации Парижского соглашения ведущими странами и его вступления в силу // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2017. № 2 (150). С. 97-100. URL: <http://priroda.ru/lib/detail.php?ID=11741>
6. Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. М.: Росгидромет. 2008. Т. 1, Изменения климата, 227 с. Т. 2, Последствия изменений климата, 288 с. URL: <http://climate2008.igce.ru/v2008/htm/index00.htm>
7. Росгидромет. Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2016 год. М.: Росгидромет. 70 с. URL: <http://www.meteorf.ru/product/climat/>
8. Энергетическая стратегия России на период до 2035. Министерство энергетики РФ, проект от 01.02.2017. URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1920>
9. IEA, 2017. IEA finds CO2 emissions flat for third straight year even as global economy grew in 2016. URL: <http://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/iea-finds-co2-emissions-flat-for-third-straight-year-even-as-global-economy-grew.html>
10. IMF 2016: Mai Farid, Michael Keen, Michael Papaioannou, Ian Parry, Catherine Pattillo, Anna Ter-Martirosyan. After Paris: Fiscal, Macroeconomic, and Financial Implications of Climate Change. IMF SDN/16/01, January 2016, 46 p.
11. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/ T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex,

P.M. Midgley (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press. 1535 p. URL: www.ipcc.ch

12. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York,*

USA: Cambridge University Press. 688 p. URL: www.ipcc.ch

13. UNEP 2015. *The Emissions Gap Report 2015. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme. 97 p.*

14. UNEP 2016. *The Adaptation Finance Gap Report 2016. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya. URL: <http://www.unep.org/climatechange/adaptation/gapreport2016/>*

15. WMO, 2017. *World Meteorological Organization Statement of the State of the Global Climate in 2016. WMO-No. 1189 Geneva, 28 p.*

Поступила в редакцию
03.07.2017 г.

A.O. Kokorin⁹

CLIMATE CHANGE AS BASIS OF THE PARIS AGREEMENT

The article deals with impact of the level of scientific knowledge on climate change on content of the UN Paris Agreement. Intrinsic complications in understanding of the physical basis of the anthropogenic influence on climate are considered as well as complications in transformation of long-term prognoses to practical measures in coming years. In the result largest countries recognizing negative and anthropogenic nature of climate change in the XXI century do not see very serious own risks from slow global greenhouse gas emission reduction. They are contented by stable level of the global emission without decrease by 2030. Analysis of data of the last years reveals that stable level is quite probable. Global emission is already practically on a plateau mainly due to replace of coal by gas and renewables in China and USA. In the result the Paris Agreement emphasizes adaptation to climate changes, while in mitigation the agreement could be considered as a «pause». In the next 10-15 years all countries will act only on the national level without mandatory international measures. Hereafter if climatic risks and losses for largest countries will grow up, amendments to the agreement on measures could be made with subsequent ratification.

Key words: Climate changes, greenhouse gas emissions, adaptation, Paris Agreement.

⁹ Alexey O. Kokorin – Director of the program «Climate and energy», WWF-Russia, PhD, e-mail: yakokorin@wwf.ru

УДК 620.9+504.38 (470+571)

А.А. Соловьянов¹

КЛИМАТ, РОССИЙСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ПАРИЖСКОЕ СОГЛАШЕНИЕ

Описано состояние климатической системы в постиндустриальный период. Дана характеристика российского энергетического сектора как источника выбросов парниковых газов. Оценены последствия ратификации Парижского соглашения для российской экономики.

Ключевые слова: энергетика, климат, парниковые газы, выбросы парниковых газов, Парижское соглашение, углеродный налог, возобновляемые источники энергии, оценочный доклад МГЭИК.

Изменения климата в постиндустриальный период

Данные гидрометеорологических наблюдений во всем мире свидетельствуют о глобальных изменениях в климатической системе Земли, которые стали особенно проявлять себя с середины XX века.

Анализу характера этих изменений их причинам, возможным сценариям дальнейшего развития событий и разработке мер, которые могли бы повлиять на приостановку этих изменений, посвящены многочисленные исследования, среди которых можно упомянуть работы Всемирной метеорологической организации (ВМО) [1], Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change) (МГЭИК – IPCC) [2-8], организаций Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ (Росгидромета) и Российской академии наук (РАН) [9, 10].

Неоспоримым фактом является то, что в течение достаточно продолжительного времени происходит потепление атмосферы и Мирового океана, а также изменение количества осадков, ускорение таяния морского льда, повышение уровня океана. Нарастает число продолжительных засух, мощных волн тепла и катастрофических осадков, происходят и другие аномальные климатические явления. В 2016 г., который, по данным ВМО [1], характеризовался самой высокой средней глобальной температурой за последнее столетие (на 1,1 °C выше доиндустриального периода), произошел ряд экстремальных клима-

тических событий, являющихся дополнительным свидетельством в пользу происходящих негативных изменений климатической системы. В их число входят:

- снижение количества осадков на Африканском континенте на 60% ниже среднего уровня;
- катастрофические наводнения в Юго-Восточной Азии;
- самый влажный за всю историю наблюдений год в Китае;
- рекордная зимне-весенняя засуха в Канаде, которая привела к сильнейшему лесному пожару в провинции Альберта;
- разрушительные лесные пожары в Тасмании.

Ощущает на себе негативные изменения климатической системы и территория Российской Федерации. Здесь среднегодовая температура растет [9] в 2,5 раза быстрее глобальной – со скоростью 0,45 °C за 10 лет. Особенно быстро растет температура в полярной области, или 0,8 °C за 10 лет (Таймыр).

Увеличивается [9] в России и число опасных гидрометеорологических явлений, что также приписывается происходящим изменениям климата. В 2016 г. в целом на территории РФ отмечено 988 неблагоприятных событий, из них 380 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. Наиболее крупный ущерб природе и экономике нанесли сильные пожары на юге Восточной Сибири и дождевые паводки в Приморском крае.

Естественно, что в таких обстоятельствах необходимо понимать, что происходит с климатом

¹ Александр Александрович Соловьянов – заместитель директора Всероссийского научно-исследовательского института охраны окружающей среды (ФГБУ «ВНИИ Экология»), д.х.н., профессор, академик РАН, e-mail: solovyanov@mail.ru

и можно ли каким-то образом предотвратить или замедлить его негативные изменения.

6 сентября 1988 г. Генеральная Ассамблея ООН дала мандат Межправительственной группе экспертов по изменению климата, сформированной совместно ВМО и Программой ООН по окружающей среде, на проведение основополагающих научных исследований по проблемам изменения климата, оценку влияния этих изменений для окружающей среды и социально-экономической системы, разработку стратегий, способствующих ослаблению негативных последствий климатических изменений. С тех пор МГЭИК выпустила пять так называемых оценочных докладов (в 1990, 1995, 2001, 2007 и 2013-2014 годах), которые размещены на соответствующем сайте [2].

Практически все сценарии развития ситуации в климатической системе, которые представлены в оценочных докладах МГЭИК, прогнозируют дальнейшее глобальное потепление в XXI в. и рост опасных гидрометеорологических явлений. При этом отмечается, что потепление может быть неравномерным и неоднородным для отдельных регионов, и в масштабах десятилетий могут наблюдаться даже периоды временного похолодания.

Одним из основных вопросов, который ставился в этих оценочных докладах, касался того, являются ли негативные изменения климата следствием преимущественно антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) или нет. В четвертом оценочном докладе, в 2007 г. [3], ключевая роль антропогенных выбросов ПГ в развитии парникового эффекта рассматривалась как вероятная («весьма вероятно, что основной наблюдаемый прирост глобальной средней температуры с середины XX в. обеспечен наблюдаемым ростом концентраций в атмосфере антропогенных парниковых газов»). В пятом оценочном докладе [4-8] уже утверждалось, что «с вероятностью от 95 до 100% влияние человека было доминирующей причиной потепления, наблюдаемого с середины XX века». При этом эксперты МГЭИК считают, что такой вывод следует из согласованности наблюдаемых и расчетных изменений во всей климатической системе.

Очевидно, что найденный «виновник» глобального потепления очень удобен – он на виду

и для борьбы с ним достаточно просто найти подходящие меры, особенно если есть достаточно влиятельные выгодоприобретатели (см. далее).

Недостатки позиции экспертов МГЭИК требуют специального рассмотрения, но это не входит в задачи данной статьи. Тем не менее следует упомянуть, что существуют многочисленные альтернативные гипотезы (не слишком внимательно рассмотренные экспертами МГЭИК) происхождения глобального потепления [11], которые выдвинули и обосновали достаточно известные ученые. Они называют такие причины повышения температуры, как: изменение солнечной активности, вариации угла оси вращения и орбиты Земли, изменение характера тепловых потоков в толще океана, повышение вулканической активности, влияние космических факторов – космического излучения и звездной пыли. Нельзя забывать также о том, что повышение температуры воды и водяного пара в атмосфере, который дает основной вклад в парниковый эффект, может происходить за счет поглощения высокочастотного излучения, интенсивность которого непрерывно растет благодаря хозяйственной деятельности человека. Кроме того, рост концентрации ПГ в атмосфере, скорее всего, происходит по схеме автоускорения: повышение температуры воды автоматически приводит к снижению растворимости газов, в том числе диоксида углерода; повышение температуры почвы – к таянию вечномерзлотных грунтов и выделению из них диоксида углерода, а также метана. Изменение климата вообще может иметь циклический характер и происходить само по себе без каких-либо внешних воздействий.

Российская энергетика как источник выбросов парниковых газов

Рассмотрим, как в свете обнаруженного «виновника» глобального потепления выглядит российский энергетический сектор. Основным источником информации о выбросах ПГ в России является так называемый Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (далее Кадастр) [10]. В Кадастр

Таблица 1

Динамика выбросов парниковых газов в Российской Федерации, млн т CO₂-экв. [10]

ПГ	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2014
CO ₂	2589,7	1629,5	1504,2	1593,9	1662,6	1727,5	1671,6
CH ₄	942,4	655,4	634,3	790,3	827,3	852,6	859,1
N ₂ O	183,2	115,2	98,9	90,0	94,9	94,7	90,2
ГФУ	35,9	15,4	26,6	19,8	13,4	17,6	24,1
ПФУ	15,1	13,5	9,9	6,3	3,6	3,3	3,1
SF ₆	1,1	0,4	0,7	1,3	0,6	5,2	0,8
Всего	3767,6	2429,4	2274,5	2501,6	2602,5	2700,9	2648,9

включены данные о выбросах и абсорбции всех парниковых газов (ПГ), указанных в приложении А к Киотскому протоколу – диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄), закиси азота (N₂O), гидрофторуглеродов (ГФУ), перфторуглеродов (ПФУ) и гексафторида серы (SF₆), а также газов с косвенным парниковым эффектом – окислов азота (NOX) окиси углерода (CO) и диоксида серы (SO₂). Эти данные регулярно обновляются и представляются в секретариат Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН).

Данные о совокупных антропогенных выбросах в РФ всех ПГ, не регулируемых Монреальским протоколом, представлены в табл. 1. По сравнению с 1990 г. (базовым годом РКИК ООН и Киотского протокола) совокупные выбросы ПГ к 2014 г. снизились на 29,7% и составили 2648,9 млн т CO₂-экв.

В июле 2017 г. в секретариат РКИК ООН были представлены предварительные данные за 1990-2015 годы. В соответствии с ними эмиссия ПГ с территории РФ в 2015 г. составила 2651 млн т CO₂-экв. (70,4% от уровня 1990 г.), то есть практически столько, сколько и в 2014 году.

В соответствии с данными Кадастра в совокупном выбросе ПГ в Российской Федерации, начиная с 1990 г., доминируют выбросы энергетического сектора (табл. 2). Причем распределение выбросов ПГ по секторам меняется очень мало. Уменьшился вклад сельского хозяйства. В противоположность другим секторам, выбросы, связанные с обращением с отходами производства и потребления, демонстрируют постоянный рост. Они уже превысили уровень базового года и, вероятно, будут расти и в дальнейшем.

В России широко используются все основные ископаемые топлива – уголь, нефть и природный газ, а также продукты их переработки. В относительно небольших количествах в качестве топлива используется торф, горючие сланцы с 2012 г. не используются.

В энергетическом секторе выбросы ПГ обусловлены добычей, первичной переработкой, транспортировкой и использованием ископаемого топлива (нефти, газового конденсата, природного и попутного газа, угля, торфа и др.) и продуктов его переработки. К технологическим процессам использования ископаемого топлива

Таблица 2

Динамика выбросов парниковых газов в Российской Федерации по секторам, млн т CO₂-экв. [10]

Сектор	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2014
Энергетика	3077,2	1964,5	1843,7	2067,9	2164,4	2246,3	2191,2
Промышленные процессы и использование продукции	298,1	181,1	197,0	210,1	202,9	213,0	212,7
Сельское хозяйство	314,8	205,3	152,5	135,0	136,5	136,5	132,4
Отходы	77,5	78,5	81,3	88,5	98,7	105,1	112,6
Всего	3767,6	2429,4	2274,5	2501,6	2602,5	2700,9	2648,9

Таблица 3

Динамика выбросов парниковых газов в энергетическом секторе Российской Федерации, млн т CO₂-экв. [10]

Газ	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2014
CO ₂	2338,0	1478,4	1346,8	1414,8	1481,9	1545,2	1491,4
CH ₄	729,9	480,9	492,1	647,9	677,6	695,7	694,2
N ₂ O	9,3	5,2	4,8	5,2	5,0	5,4	5,6
Всего	3077,2	1964,5	1843,7	2067,9	2164,4	2246,3	2191,2

относится и его сжигание для получения тепла и электрической энергии. В составе выбросов ПГ энергетического сектора исключительное положение занимают диоксид углерода, метан и закись азота.

В 2014 г. выбросы ПГ в энергетическом секторе составили 2191,2 млн т CO₂-экв. (табл. 2 и 3), что на 28,8% ниже уровня 1990 года. В их составе преобладал диоксид углерода – на него в 2014 г. приходилось 68,1% всех выбросов по сектору. Вклады метана и закиси азота составили 31,7% и 0,3% соответственно (табл. 3).

Суммарные выбросы ПГ при сжигании топлива в 2014 г. составляли 1426 млн т CO₂-экв. (табл. 4), что на 37,7% меньше, чем в 1990 году. На долю сжигания топлива в 1990 г. в России приходилось 74,4% общих выбросов в секторе «Энергетика». В 2014 г. эта доля составила 65,1%.

Помимо выбросов ПГ, образующихся при сжигании ископаемого топлива, достаточно большие объемы ПГ поступают в атмосферный воздух в результате утечек и технологических потерь (табл. 4). Их доля составляет почти 35% от общего объема выбросов ПГ в энергетическом секторе.

Основными источниками ПГ при сжигании топлив являются предприятия – перерабатывающая промышленность, производство тепло- и электроэнергии, промышленное производство, сельское хозяйство, транспорт, коммунальная отрасль, конечное потребление населением.

В период с 1990 по 2014 гг. произошло значительное изменение доли потребления различных видов топлив (табл. 5), а, следовательно, и вкладов от сжигания твердых, жидких и газообразных топлив в суммарную эмиссию CO₂ в России (табл. 6).

В 2014 г. по сравнению с 1990 г. на 22% выросла доля выбросов диоксида углерода от сжигания природного газа, а доли выбросов, обусловленные сжиганием жидких и твердых топлив, сократились соответственно на 14% и 8% (табл. 6). Но это также означает, что при производстве одного и того же количества энергии выбросы ПГ сократились, ибо природный газ при сжигании в наименьшей степени загрязняет атмосферный воздух среди основных видов органического топлива (табл. 7).

Таким образом, если Российская Федерация решит и дальше реализовать меры по сокра-

Таблица 4

Динамика выбросов парниковых газов от основных категорий источников энергетического сектора Российской Федерации, млн т CO₂-экв. [10]

1990	1995	2000	2005	2010	2012	2014
Сжигание топлива						
2288,7	1446,5	1307,4	1350,4	1409,3	1468,4	1426,0
Утечки и испарение при использовании твердого топлива						
87,6	58,6	50,5	54,7	55,8	59,9	60,2
Утечки и испарение при использовании нефти и газа						
700,9	459,4	485,7	662,9	699,2	717,9	705,0
Всего						
3077,2	1964,5	1843,7	2067,9	2164,4	2246,3	2191,2

Таблица 5

Динамика потребления основных видов топлива в РФ, % к 1990 году

Виды топлива	1995	2000	2005	2010	2012	2014
Всего, в том числе	63,01	60,00	61,08	63,02	67,81	66,84
Жидкое топливо	43,96	37,89	37,39	34,56	43,23	46,62
Твердое топливо	65,78	60,25	50,09	48,20	52,60	46,42
Природный газ	77,01	77,59	85,05	92,56	94,42	92,32
Торф	49,65	42,93	21,76	16,81	18,74	18,83

Таблица 6

Динамика выбросов CO₂ в Российской Федерации при сжигании первичных видов топлива, млн т CO₂-экв. [10]

Виды топлива	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2014
Всего, в том числе	2363	1510	1367	1339	1350	1479	1404
Жидкое топливо	926	408	314	309	275	354	355
Твердое топливо	625	411	363	282	272	308	265
Природный газ	803	686	686	745	801	816	782
Торф	7	3	3	1	1	1	1

Таблица 7

Удельные выбросы диоксида углерода при сжигании различных видов органического топлива

Топливо	Выброс CO ₂ , т CO ₂ /ГДж
Нефть, газовый конденсат	73,3
Автомобильный бензин	69,3
Дизельное топливо	74,1
Мазут топочный	77,4
Каменный уголь различных месторождений	90-95
Бурый уголь/Лигнит	101,0
Горючий сланец и битуминозные пески	107,0
Природный газ	54,4
Торф	106,0
Промышленные отходы	143,0
Дрова для отопления и древесные отходы	112,0
Древесный уголь	112,0

щению выбросов ПГ, то наиболее успешными должны быть действия, направленные на дальнейшую газификацию экономики и сокращение потерь и утечек при операциях с любым видом органического топлива.

Парижское соглашение и последствия его ратификации для России

12 декабря 2015 г. решением 21-й Конференции сторон РКИК ООН было одобрено Па-

рижское соглашение, которое 22 апреля 2016 г. в штаб-квартире ООН в Нью-Йорке было подписано от имени Российской Федерации заместителем председателя Правительства РФ А.Г. Хлопониным. В отличие от Киотского протокола, где развитым странам устанавливались пороговые значения эмиссий ПГ, Парижское соглашение направлено на удержание прироста глобальной средней температуры «намного ниже 2 °С сверх доиндустриальных уровней» и приложение усилий для ограничения роста температуры до уровня 1,5 °С. Естественно, считается, что для достижения этой цели нужно ограничить антропогенные выбросы ПГ.

Центральным понятием Парижского соглашения являются определяемые на национальном уровне вклады (Intended Nationally Determined Contributions, INDC, далее – вклады). Соглашение предполагает, что каждая страна самостоятельно разработает и реализует свой вклад, направленный на ограничение выбросов ПГ. Предполагается также, что страна в любое время может скорректировать свой вклад в сторону ужесточения природоохранных мер. Развитые страны в большинстве своем предполагают снижать выбросы ПГ на определенную долю от объема выбросов ПГ в базовом году. Российская Федерация уже обещала сократить выбросы ПГ к 2030 г. на 25-30% от уровня 1990 г. с учетом поглощающей способности лесов.

В соответствии с Парижским соглашением РКИК ООН предлагает развитым странам для предотвращения эмиссии ПГ и адаптации к изменению климата увеличить уровень финансовой поддержки развивающимся и малым островным странам исходя из целевого уровня 100 млрд долл. в год к 2020 году. Также РКИК ООН призывает обеспечить передачу им технологий для наращивания потенциала по борьбе с выбросами ПГ.

Для компаний и стран, связанных с добычей и использованием ископаемого топлива, ратификация Парижского соглашения несет в себе очевидные риски. Хотя в тексте соглашения прямо не говорится о необходимости сокращения потребления ископаемого топлива, однако очевидно, что без такого сокращения снизить эмиссию ПГ нельзя. Практически же ископаемое топливо в топливном балансе должно заме-

щаться (полностью или частично) либо за счет развития атомной энергетики (которая имеет значительное число противников во многих странах), либо за счет широкомасштабного внедрения энергосберегающих технологий, либо за счет интенсивного развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Для стран с большими запасами углеводородного сырья и сложившейся «углеродной» энергетикой переход на ВИЭ чреват весьма большими финансовыми затратами и поэтому – ущербом для социальной сферы. Очевидно также, что использование переданных ВИЭ-технологий развивающимися странами в дальнейшем сделает их зависимыми от поставщиков этих технологий, поскольку для них постоянно будет существовать потребность в поставках запасных частей и комплектующих к ВИЭ-оборудованию, обучении персонала и оказании других платных услуг. Следовательно, именно развитые страны выиграют в первую очередь от ратификации Парижского соглашения, что еще больше повысит их экономический статус по сравнению с развивающимися странами.

Очевидно, что вступление в силу Парижского соглашения может нанести серьезный удар по бюджетам стран, традиционно экспортирующим ископаемое топливо. Именно к таким странам относится Россия. Очевидными рисками являются падение экспорта или значительное снижение цен на него. Не следует забывать, что продукция энергетического сектора РФ (нефть, газ, уголь и продукты их переработки, а также электроэнергия) обеспечивает 63% российского экспорта, а доля нефтегазовых доходов в бюджете страны составляет 43%.

«Углеродный налог», или «углеродный сбор» (одна из наиболее широко обсуждаемых мер, направленных на ограничение выбросов ПГ), который также может быть введен через некоторое время после ратификации Парижского соглашения, еще один вид риска для Российской Федерации. Проведенные Институтом проблем естественных монополий расчеты показывают [12], что ввод в стране налога на выбросы ПГ в размере 15 долл./т CO₂-экв. потребует ежегодных выплат в размере 42 млрд долл. – это соответствует 2,6-3,3 трлн руб., или 3,2-4,1% ВВП за 2015 год. Если ставка налога на выбросы

составит 35 долл./т CO₂-экв., то объем выплат достигнет 7,5-9,6% ВВП.

При вводе углеродного налога могут пострадать прежде всего производители энергоемкой

продукции – черных и цветных металлов, цемента и азотных удобрений, а также предприятия электро- и теплогенерирующей отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. WMO provisional Statement on the Status of the Global Climate in 2016. URL: <http://www.smh.com.au/cqstatic/gsougm/wmostate.pdf>
2. URL: <http://www.ipcc.ch/>
3. URL: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmssp-und-stand-und.html
4. IPCC, 2014a: Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.
5. IPCC, 2013: Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.
6. IPCC, 2014b: Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1132 p.
7. IPCC, 2014c: Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 688.
8. IPCC, 2014d: Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
9. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. – М.: Росгидромет. 2017. 70 с.
10. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2014 гг. Росгидромет, РАН. М.: 2016. 476 с.
11. URL: <http://www.priroda.su/item/389>
12. Аналитический доклад «Риски реализации Парижского климатического соглашения для экономики и национальной безопасности России». М.: ИПЕМ. 2016. 117 с.

Поступила в редакцию
28.07.2017 г.

A.A. Soloviyarov²

CLIMATE, RUSSIAN ENERGY SECTOR, PARIS AGREEMENT

The state of the climate system in the post-industrial period described. The characteristic of the Russian energy sector as a source of greenhouse gases emissions was given. The implications of ratification of the Paris agreement for the Russian economy evaluated.

Key words: energy sector, climate, greenhouse gases, emissions of greenhouse gases, Paris agreement, carbon taxes, renewables, Assessment report of IPCC.

² Alexander A. Soloviyarov – Deputy Director of the FSBO «Research Institute of Nature Protection» – «VNII Ecology», Doctor of Science (Chemistry), Professor, e-mail: soloviyarov@mail.ru

УДК 620.9+504.38 (470+571)

В.Х. Бердин, М.М. Дыган, Ю.Ю. Посысаев, Г.М. Юлкин¹

ВКЛАД РОССИИ В ДОСТИЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ООН В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ И КЛИМАТА

В статье рассматриваются вопросы, связанные с вкладом России в достижение 7-й и 13-й целей устойчивого развития ООН. Особое внимание уделяется достигнутым результатам и планам реализации государственной энергетической политики, способствующим достижению устойчивого развития.

Ключевые слова: ООН, устойчивое энергетическое развитие, цели устойчивого развития, низкоуглеродное развитие, государственная энергетическая политика.

В 2015 г. на 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН была утверждена новая, универсальная повестка дня в области устойчивого развития [1], в основе которой заложены 17 амбициозных целей для достижения на период до 2030 г. – так называемых целей устойчивого развития ООН (ЦУР) – и 169 связанных с ними задач, которые носят комплексный и неделимый характер, и призваны стимулировать принятие соответствующих действий в течение следующих 15-ти лет в областях, имеющих огромное значение для человечества и планеты.

В рамках данной статьи мы остановимся более подробно на двух ЦУР – № 7 «Обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех» и № 13 «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями».

ЦУР № 7 включает в себя три глобальные задачи:

- обеспечить всеобщий доступ к недорогому, надежному и современному энергоснабжению;
 - значительно увеличить долю энергии из возобновляемых источников в мировом энергетическом балансе;
 - удвоить глобальный показатель повышения энергоэффективности.
- ЦУР № 13 также включает в себя три задачи:

- повысить сопротивляемость и способность адаптироваться к опасным климатическим явлениям и стихийным бедствиям во всех странах;
- включить меры реагирования на изменение климата в политику, стратегии и планирование на национальном уровне;
- улучшить просвещение, распространение информации и возможности людей и учреждений по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата, адаптации к ним и раннему предупреждению.

Помимо этого, в рамках ЦУР № 13 развитые страны призываются к ежегодной мобилизации общими усилиями 100 млрд долл. из всех источников к 2020 г. для удовлетворения потребностей развивающихся стран в контексте принятия ими конструктивных мер по ослаблению последствий изменения климата. Также ведется активная работа над созданием механизма по укреплению возможностей планирования и управления, связанных с изменением климата в наименее развитых странах и малых островных развивающихся государствах.

В развитие этих решений в декабре 2015 г. было принято Парижское климатическое соглашение, конкретизировавшее задачи сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) на период с 2020 по 2030 годы. Таким образом, реализация ЦУР

¹ Владимир Хакимович Бердин – заместитель исполнительного директора Международного центра устойчивого энергетического развития (МЦУЭР) под эгидой ЮНЕСКО, *e-mail:* berdin@isedc-u.com;
Михаил Михайлович Дыган – директор проекта Департамента управления проектами ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, к.т.н., *e-mail:* dyganmm@minenergo.gov.ru;
Юрий Юрьевич Посысаев – исполнительный директор МЦУЭР под эгидой ЮНЕСКО, к.э.н., *e-mail:* posysaev@isedc-u.com;
Григорий Михайлович Юлкин – директор Департамента стратегического планирования и партнерства МЦУЭР под эгидой ЮНЕСКО, *e-mail:* yulkin@isedc-u.com.

№ 7 и № 13 напрямую связана с устойчивым энергетическим развитием, которое является одним из важнейших условий стабильного роста мировой экономики. Обеспечение чистых, эффективных, доступных и надежных энергетических услуг наряду с активизацией усилий по борьбе с изменением климата и предотвращению неблагоприятных последствий климатических изменений, а также развитие и укрепление кадрового потенциала выступают в качестве ключевых аспектов для глобального процветания и устойчивого развития.

ЦУР № 7 и № 13 тесно взаимосвязаны – меры по повышению энергоэффективности во всех отраслях экономики и развитие возобновляемой энергетики с замещением ею традиционных углеродных источников энергии ведут к прямым сокращениям выбросов парниковых газов, а обеспечение всеобщего доступа к недорогому, надежному и современному энергоснабжению на основе безуглеродных и низкоуглеродных технологий, прежде всего в наименее развитых странах, позволит избежать роста эмиссий парниковых газов при дополнительных поставках энергии потребителям, в настоящее время вообще не имеющим доступа к энергии.

Решение вышеуказанных задач актуально и для развития национальной экономики России. Несмотря на то, что Россия относится к числу стран, обеспеченных углеводородными ресурсами, проводимая в нашей стране государственная политики подтверждает приверженность принципам перехода мировой энергетики и экономики к низкоуглеродному развитию, что, в частности, подтверждается в принятом в июле 2017 г. Гамбургском плане действий в области климата и энергетики Большой двадцатки.

Россия была активным участником Киотского протокола в 2008-2012 гг., в 2016 г. с рос-

сийской стороны подписано Парижское климатическое соглашение и сегодня ведется подготовка к его ратификации. Стратегическая цель Парижского соглашения – удержание прироста глобальной средней температуры к концу XXI в. в пределах 2 °С сверх доиндустриальных показателей и стремление к ограничению ее роста на уровне 1,5 °С. Долгосрочной целью ограничения антропогенных выбросов парниковых газов в Российской Федерации является показатель в 70-75% выбросов 1990 г. к 2030 г. при условии максимально возможного учета поглощающей способности лесов.

Вопросы экологической безопасности в целом и в ТЭК в частности являются одним из приоритетных направлений российской государственной политики на национальном уровне. Соответствующие задачи заложены в ключевых отраслевых стратегических документах – в утвержденном в прошлом году Прогнозе научно-технологического развития отраслей ТЭК России на период до 2035 г. и в подготовленном с его учетом проекте обновленной Энергетической стратегии России на тот же период (ЭС-2035).

Уже сейчас в России более половины (около 52,2%) внутреннего потребления первичных энергоресурсов – это газ. На долю менее экологичного ресурса, угля, приходится только около 15%. Для сравнения: доля угля в выработке электроэнергии в Германии составляет около 40%, в Китае – около 72%, в США – 39,7% [5]. В мировом энергобалансе этот показатель составляет 30-35%.

Кроме того, доля полностью неуглеродных первичных источников энергии в российском энергобалансе составляет сейчас 13%, а к 2035 г. их доля вырастет до 16% (табл. 1). При этом самой быстрорастущей долей в энергоба-

Таблица 1

Топливо-энергетический баланс Российской Федерации

Виды энергии	2015 г., %	2035 г., % (оптимистический сценарий)
Газ	52,2	51,4
Жидкие	19,4	17,4
Уголь и прочие	15,2	15,2
Неуглеродные	13,2	16,0

Источник: [3].

Таблица 2

Производство электроэнергии в Российской Федерации

Виды генерации энергии	2015, %	2035, % (оптимистический сценарий)
ГЭС	16,0	15,6
АЭС	18,3	18,3
ВИЭ	0,2	3,2
ТЭС	65,5	62,9

Источник: [3].

лансе станет возобновляемая энергетика, которая в ближайшие 20 лет вырастет не менее чем в 20 раз.

Что касается потребления первичных энергоресурсов на производство электроэнергии, то здесь российский энергобаланс также соответствует логике низкоуглеродного развития. Доля безуглеродных источников в производстве электроэнергии в России составляет 34,5% (ГЭС – 16%, АЭС – 18,3%, ВИЭ – 0,2%), а генерации энергии на основе газа – почти 50%. Таким образом, более четырех пятых (84,2%) произведенной электроэнергии в России уже сегодня приходится на безуглеродные или низкоуглеродные источники энергии, а к 2035 г. этот показатель достигнет уже почти 90% (88,6%) [3].

Что касается повышения энергоэффективности, то в целом по стране планируется снизить удельную энергоемкость ВВП в 1,3-1,5 раза, а электроемкость – в 1,4 раза по сравнению с 2015 годом. Наиболее существенным потенциалом экономии энергоресурсов, по оценкам экспертов, в абсолютном выражении только к 2020 г. обладают электроэнергетика – 42 млн т у.т., жилищная сфера – 22 млн т у.т., бюджетная сфера и сектор услуг – 21 млн т у.т., использование углеводородов – 21 млн т у.т. [4].

Для достижения запланированных результатов в настоящее время уже принят ряд мер, в том числе соответствующих общемировым тенденциям. В 2009 г. вступил в силу Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», несколько десятков подзаконных актов. Начиная с 2010 г., реализуется соответствующая государственная программа, сейчас – подпрограмма в составе государственной программы «Энергоэффективность и развитие энергетики».

Программой «Энергоэффективность и развитие энергетики» предусмотрено, что федеральные средства на проекты повышения энергоэффективности являются мультипликатором для средств из частных источников финансирования. С 2011 по 2014 гг. суммарный объем субсидий из федерального бюджета на реализацию региональных программ повышения энергоэффективности составил почти 21,6 млрд руб., или около 700 млн долларов. С 2015 г. финансирование программ повышения энергоэффективности осуществляется на региональном уровне. В каждом регионе России утверждены региональные программы, финансируемые за счет региональных бюджетов, а также за счет частных инвестиций. Для привлечения частных инвестиций в повышение энергоэффективности в России созданы и используются институты энергоаудита и энергосервиса.

В жилищно-коммунальном комплексе целью является обеспечение 100% учета энергетических ресурсов и создание систем диспетчеризации потребления в режиме реального времени, широкомасштабное внедрение новых теплоизоляционных и конструкционных материалов в домостроении, использование новых источников света, прежде всего светодиодных, обеспечивающих экономию до 80% потребляемой энергии.

Отдельным направлением является повышение эффективности утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ). В 2012 г. Правительство РФ ввело в действие целевой показатель, допускающий сжигание в факелах не более 5% от добытого объема ПНГ, и соответствующие механизмы возврата инвестиций для достижения показателя и стимулирующие платежи в случае его несоблюдения. В результате реализации принятого комплекса мер к настоящему времени удалось

довести коэффициент полезного использования ПНГ в среднем по России до уровня 87,2%. Для сравнения: в 2011 г. этот показатель составлял всего 75,5%. А в значительной доле газоконденсатных месторождений этот показатель уже достиг целевого значения. Так, например, в соответствии с экологическим отчетом ПАО «Газпром» 2015 г., в 2014 г. по всем компаниям ПАО «Газпром» обеспечено полезное использование ПНГ на уровне не менее 95% [6].

В России осуществляется переход на принципы наилучших доступных технологий во всех отраслях экономики, в том числе и в энергетике. Основной мерой стимулирования компаний к применению современных энерго- и ресурсоэффективных технологий станет необходимость соблюдения новых жестких технологических и экологических нормативов, которые сейчас разрабатываются в составе справочников наилучших доступных технологий (НДТ). В 2017 г. планируется утвердить шесть справочников НДТ по секторам ТЭК и межотраслевой справочник по энергоэффективности. При этом ключевым вопросом при разработке этих справочников является обеспечение баланса в решении задач защиты окружающей среды и недопущения избыточной нагрузки на предприятия ТЭК.

С целью учета мнения компаний ТЭК, экспертного и научного сообщества, неправительственных организаций организовано публичное обсуждение проектов справочников НДТ. Так, в настоящее время публичное обсуждение межотраслевого справочника НДТ «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности» уже завершено. Завершается публичное обсуждение проектов отраслевых справочников в сферах добычи нефти и газа, переработки нефти, природного и попутного газа и сжигания топлива на крупных установках в целях производства энергии.

С целью минимизации негативного воздействия ТЭК на окружающую среду реализуется целый комплекс взаимоувязанных инициатив по инновационному развитию всех секторов энергетики, включая дорожные карты по внедрению инновационных технологий и современных материалов в отраслях ТЭК и Национальную технологическую инициативу (НТИ)

«Энерджинет». Ведется работа по национальному проекту «Интеллектуальная энергетическая система России».

Дорожная карта НТИ «Энерджинет» является инициативой по созданию энергетики будущего, которая в значительной степени будет свободна от избыточной эмиссии парниковых газов. Дорожные карты по реализации национальных проектов в энергетике имеют основной целью развитие инновационных технологий в отраслях ТЭК, внедрение которых путем повышения КПД, сокращения затрат ресурсов на производство топлива и энергии приводит к снижению выбросов парниковых газов.

Наконец, развитие Интеллектуальной энергетической системы России приведет к повышению эффективности производства, транспортировки, распределения и использования энергии, что также снизит удельные показатели выбросов парниковых газов.

Наряду с необходимостью снижения антропогенного воздействия на окружающую среду, перед мировым сообществом стоит задача удовлетворения перспективного глобального спроса на энергию. Ее решение в обозримой перспективе невозможно себе представить без использования традиционной энергетики. При этом обязательным условием должно стать использование наиболее экологичных видов ископаемого топлива, таких как природный газ и экологически чистых технологий. В этой связи уже сегодня Россия стремится наращивать его добычу и экспорт, а также использование газа внутри страны. С 2012 по 2016 годы уровень газификации России увеличился с 64,4 до 67,2%. Предполагается дальнейшее увеличение данного показателями, прежде всего за счет газификации районов Сибири и Дальнего Востока.

Кроме того, предпринимаются меры по расширению использования экологически чистого транспорта, в том числе электротранспорта и транспорта, использующего природный газ в качестве моторного топлива. В 2016 г. Минэнерго России был подготовлен актуализированный комплексный план мероприятий по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива, а также налажен учет количества объектов газозаправочной инфраструктуры, включая независимых участников рынка,

и объема реализации газомоторного топлива. По итогам года реализация газомоторного топлива увеличилась на 10,5%. К 2020 г. предполагается, что число автомобильных газонаполнительных компрессорных станций увеличится с 303 до 743 единиц, а объем сжатого газа на работу автотранспорта – с 0,51 млрд м³ в год до 1,23 млрд м³.

Также Минэнерго России ведет работу над ведомственным проектом по развитию электрозарядной инфраструктуры, реализация которого будет содействовать снижению уровня выбросов CO₂ от легковых автомобилей, прежде всего в мегаполисах.

И, наконец, развитие возобновляемой энергетики. В последние годы в нашей стране также проводится последовательная политика в данной области. Следует отметить, что исторически Россия является лидером в развитии крупной гидроэнергетики. Сегодня объем генерации на наших крупных ГЭС составляет около 17% от всего производства электроэнергии в стране [4].

Для стимулирования производства отечественного оборудования и расширения использования возобновляемой энергетики в настоящее время в России действуют и постоянно совершенствуются механизмы поддержки новых ВИЭ (солнечная, ветровая, малая гидрогенерация) как на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ), так и на розничных рынках. К 2024 г. на ОРЭМ ожидается ввод 5,5 ГВт генерирующих объектов ВИЭ, из них

на основе энергии ветра – 3,3 ГВт, Солнца – 1,8 ГВт, малых ГЭС – 0,4 ГВт.

В рамках конкурсных отборов в 2013-2016 гг. уже отобрано 119 проектов ВИЭ, общей мощностью более 2 ГВт и общей стоимостью более 300 млрд руб. (ВЭС – 0,8 ГВт, СЭС – 1,2 ГВт, МГЭС – 0,07 ГВт).

На розничных рынках электрической энергии и в изолированных энергорайонах предусмотрен механизм поддержки использования ВИЭ, который устанавливает обязанность для сетевых компаний в целях компенсации потерь покупать электроэнергию квалифицированных генерирующих объектов ВИЭ по регулируемым тарифам, которые устанавливает орган исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области государственного регулирования тарифов [7].

Еще одним механизмом поддержки, действующим как на оптовом, так и на розничных рынках, является предоставление из федерального бюджета субсидий в порядке компенсации стоимости технологического присоединения генерирующих объектов с установленной генерирующей мощностью не более 25 МВт, признанных квалифицированными объектами, функционирующими на основе использования ВИЭ.

Благодаря системной политике и поддержке, только за последние два года в стране было введено 14 крупных солнечных электростанций суммарной мощностью порядка 130 МВт, а также ряд объектов возобновляемой энергетики в удаленных и изолированных энергорайонах, где

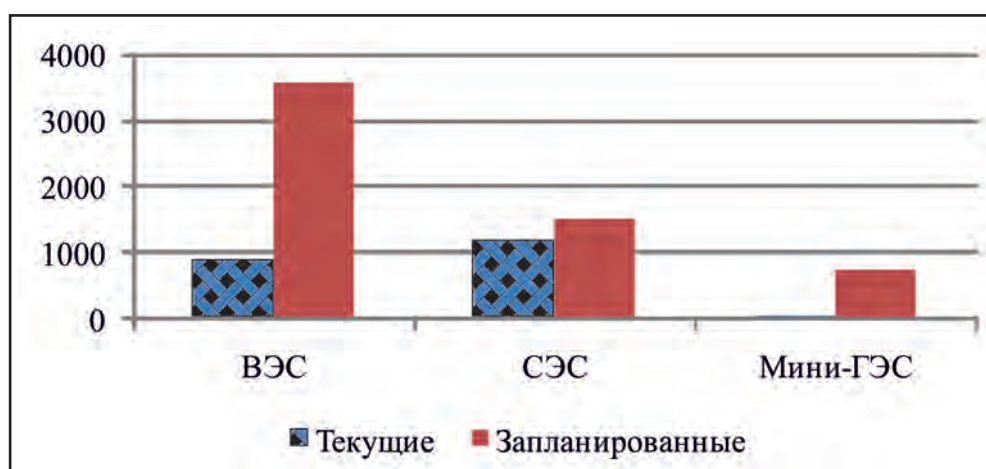


Рис. 1. Запланированные и текущие объемы вводов генерирующих объектов ВИЭ, МВт

уже сегодня применение ВИЭ является экономически целесообразным. В текущем году ожидается завершение работ по объектам ВИЭ общей мощностью еще около 125 МВт, из которых 90 МВт придется на солнечные станции в различных регионах страны (проекты ГК «Хевел» и ООО «Солар Системс»), и еще 35 МВт на первый крупный в стране ветропарк в Ульяновской области (ОАО «Фортум»).

В 2016 г. с активизацией крупных российских игроков получил дополнительный импульс развития сектор ветровой энергетики, в том числе о своих интересах в этом секторе объявила ГК «Росатом». Корпорация обозначила производство оборудования для ветрогенерации одним из приоритетов развития своего машиностроительного комплекса, и от своей дочерней компании подала заявки на строительство объектов ветровой генерации объемом 610 МВт со сроком ввода в 2018-2020 годах. В перспективе ГК «Росатом» планирует организовать производство ключевых комплектующих ветрогенератора не только под строительство собственных ветропарков, но и для выхода на международный рынок ветровой энергетики с оборудованием мультимегаваттного класса.

О своих планах по участию не только в строительстве ветропарков, но и в производстве оборудования для них в 2016 г. также заявили совместно АО «Роснано» и ОАО «Фортум».

В 2017 г. на отборы проектов ДПМ ВИЭ в секторе ветрогенерации на период до 2022 г. вместе с «Росатомом», «Роснано» и «Фортумом» подала заявки и итальянская Enel. Конкуренция таких серьезных участников между собой должна положительно сказаться на рынке в целом и

привести к существенному снижению капитальных затрат.

В начале апреля 2017 г. Международным агентством по возобновляемой энергии (IRENA), по итогам многочисленных раундов консультаций с российской стороной в лице экспертов рабочей группы Минэнерго России по взаимодействию с IRENA, был выпущен обзор «Перспективы развития возобновляемой энергетики в Российской Федерации» [8].

Кроме того, может представлять интерес для заинтересованного читателя и последнее, выпущенное в 2017 г., издание WWF России «Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах российской Арктики (Бердин В.Х., Кокорин А.О, Юлкин Г.М., Юлкин М.А.). Таким образом, в России ведется серьезная и многоплановая работа в ТЭК, которая не только направлена на обеспечение энергией потребителей, но и содействует достижению целей устойчивого развития ООН в области энергетики и климата.

Интегральный эффект принятых мер государственной политики в данной сфере за период 1990-2015 гг., на основании официальных данных [9], выражается в уменьшении эмиссии парниковых газов в стране на величину порядка 30 млрд т в CO₂-эквиваленте.

Что же касается более долгосрочных перспектив, о них может более предметно пойти речь к концу 2019 г., поскольку к этому сроку Правительством РФ планируется подготовить Стратегию развития с низкими уровнями выбросов парниковых газов на период до 2050 г. и проект национального плана адаптации к неблагоприятным изменениям климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Документ F.69/L.85 Генеральной Ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», 2015.
2. Решение 1/CP.21 21-й сессии Конференции ООН об изменении климата, 2015.
3. Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года.
4. Материалы круглого стола «Опыт оценки и управления выбросами парниковых газов в ТЭК России» 14 июня 2017 г., Москва, 2017.
5. World Energy Outlook – 2016, IEA, 2016.
6. Экологический отчет ПАО «Газпром», 2015.
7. Федеральный закон РФ от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».

8. *REMAP 2030: Renewable Energy Prospects for the Russian Federation, IRENA, 2017.*

9. *Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2015 гг.*

Поступила в редакцию
01.08.2017 г.

V.H. Berdin, M.M. Dygan, Y.Y. Posysaev, G.M. Yulkin²

CONTRIBUTION OF THE RUSSIAN FEDERATION TO THE ACHIEVEMENT OF THE UN SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN ENERGY AND CLIMATE

The article reviews the issues related to Russia's contribution into the achievement of the UN Sustainable Development Goals 7 and 13. Particular attention is paid to the present outcomes of the state energy policy and further plans for improvement of the sustainable development.

Key words: United Nations, sustainable energy development, Sustainable Development Goals, low-carbon development, state energy policy.

² Vladimir H. Berdin – Deputy Executive Director, International Sustainable Energy Development Centre (ISED) under the auspices of UNESCO, e-mail: berdin@isedc-u.com;

Mikhail M. Dygan – Project Director, Department of Project Management, FSBO «REA» of the Russian Ministry of Energy, PhD in Technical Sciences, e-mail: dyganmm@minenergo.gov.ru;

Yury Y. Posysaev – Executive Director, ISED under the auspices of UNESCO, PhD in Economics, e-mail: posysaev@isedc-u.com;

Grigory M. Yulkin – Director of Department of Strategic Planning and Partnership, ISED under the auspices of UNESCO, e-mail: yulkin@isedc-u.com.

УДК 621.311.22 (571)

В.М. Никитин, Н.В. Абасов, Т.В. Бережных, Е.Н. Осипчук¹

АНГАРО-ЕНИСЕЙСКИЙ КАСКАД ГЭС В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

В статье представлены исследования функционирования Ангаро-Енисейского каскада ГЭС в условиях экстремальной водности, выполненные в ИСЭМ СО РАН. Анализируются климатические изменения в бассейнах Енисея, Ангары и оз. Байкал за последние десятилетия и их влияние на эффективность работы ГЭС Ангаро-Енисейского каскада. Особое внимание уделено проблеме долгосрочных прогнозных оценок водности с целью уменьшения энергетических и водохозяйственных рисков в условиях глобального изменения климата.

Ключевые слова: гидроэлектростанции, Ангаро-Енисейский каскад, климатические изменения, экстремальная водность.

Введение

В энергосистеме Сибири в настоящее время работает 109 электростанций суммарной установленной мощностью 52 ГВт. Из них около половины (25,3 ГВт) приходится на гидроэлектростанции. Основная часть установленной мощности гидроэлектростанций (98%) приходится на 7 ГЭС Ангаро-Енисейского каскада (АЕК): Иркутскую, Братскую, Усть-Илимскую, Богучанскую, Саяно-Шушенскую, Майнскую, Красноярскую. Выработка электроэнергии на этих станциях составляет в среднем около 88 млрд кВт·ч в год или 46% от общей выработки электроэнергии в энергосистеме Сибири [1, 2].

АЕК – крупнейший комплекс гидроэлектростанций в России с суммарным проектным полезным объемом водохранилищ 145 км³. Ангарская и Енисейская ветви каскада гидравлически взаимосвязаны, относятся к Ангаро-Енисейскому бассейну и работают в единой энергосистеме Сибири в режиме компенсационного регулирования. Водохранилища каскада имеют комплексное назначение и используются для нужд электроэнергетики, водного транспорта, рыбного хозяйства, промышленного и коммунально-бытового водоснабжения, орошения, лесного хозяйства и рекреации.

Таким образом, от режимов работы ГЭС АЕК существенно зависит энергетическая, водохозяйственная, социально-экономическая и экологическая безопасность территории, включающей 12 субъектов Российской Федерации площадью 5 млн км² с населением более 20 млн человек.

Известной особенностью гидроэлектростанций является высокая изменчивость и неопределенность гидрологических условий – ежегодных притоков воды в водохранилища. Последние, в свою очередь, определяются меняющимися и трудно прогнозируемыми климатическими факторами (осадки, температуры, давление, атмосферные процессы и др.).

Ниже рассматриваются особенности работы ГЭС АЕК в экстремальных условиях водности на примере маловодных периодов.

Приток воды в водохранилища

Как отмечалось, для водохранилищ АЕК характерна высокая изменчивость ежегодных притоков. Маловодные периоды разной глубины и продолжительности сменяются на многоводные и наоборот.

Как правило, маловодные периоды на Ангарском каскаде совпадают с маловодными перио-

¹ Вячеслав Михайлович Никитин – заведующий лабораторией гидроэнергетических и водохозяйственных систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН, д.т.н., e-mail: nikitin1310@mail.ru;

Николай Викторович Абасов – ведущий научный сотрудник лаборатории гидроэнергетических и водохозяйственных систем ИСЭМ СО РАН, к.т.н., e-mail: nva@isem.irk.ru;

Тамара Васильевна Бережных – старший научный сотрудник лаборатории гидроэнергетических и водохозяйственных систем ИСЭМ СО РАН, к.г.н., e-mail: berejn@isem.irk.ru;

Евгений Николаевич Осипчук – научный сотрудник лаборатории гидроэнергетических и водохозяйственных систем ИСЭМ СО РАН, к.т.н., e-mail: eugene.os@mail.ru.

дами на озере Байкал, но последние обычно не совпадают с водностью на Братском водохранилище. При совпадении маловодных периодов на оз. Байкал и Братском водохранилище, на Ангарском каскаде в целом устанавливается экстремальное маловодье. Совпадение маловодных периодов в Ангарском и Енисейском бассейнах наблюдается редко. Такое совпадение обычно приводит к экстремальному маловодью на всей территории Восточной Сибири. Единственным примером такого совпадения за годы эксплуатации АЕК является период 2014-2016 годов.

Ангарский каскад в среднем обеспечивает около 55% общего полезного притока в АЕК, Енисейский – 45%. За время эксплуатации ГЭС АЕК можно выделить различные периоды водности.

Ангарский каскад. 1959-1975 гг. – период относительно благоприятных условий водности в бассейнах оз. Байкал и Ангары с притоками, близкими к среднемноголетним и выше (исключение – 1972 г.).

1976-1982 гг. – период экстремального маловодья. Низкие расходы воды в течение 6-ти лет наблюдались одновременно во всех районах юга Сибири и в бассейне Амура. Особенно низкая водность была в бассейне оз. Байкал. Для компенсации генерирующих мощностей на тепловых электростанциях ОЭС Сибири в 1976-1979 гг. были практически полностью сработаны многолетние запасы водных ресурсов Иркутского (оз. Байкал) и Братского водохранилищ и с весны 1980 г. оба водохранилища работали только в режиме сезонного регулирования. К концу этого периода (весна 1982 г.) уровень Иркутского водохранилища (оз. Байкал) опустился ниже проектного уровня мертвого объема 455,54 м в Тихоокеанской системе отсчета (ТО) и достигал отметки 455,27 м ТО. Отметки Братского водохранилища в 1979-1982 гг. также приближались к уровню мертвого объема (392 м ТО). Глубокая сработка Братского водохранилища нанесла большой ущерб расположенным в его береговой зоне водопотребителям и водопользователям, так как многие хозяйственно-питьевые водозаборы и причалы были построены под минимальные отметки на 3 м выше проектного уровня мертвого объема. Пострадало рыбное хозяйство, наблюдались экологические проблемы.

1983-1995 гг. – период высокой водности. Все эти годы, за исключением 1987 и 1989 гг., приток воды в оз. Байкал и водохранилища Ангарского каскада был существенно выше нормы, что обеспечивало благоприятные условия работы ОЭС Сибири и других неэнергетических участников водохозяйственного комплекса.

1996-2013 гг. – период «мягкого» маловодья. В этот, самый продолжительный за весь период наблюдений маловодный период, приток воды в водохранилища каскада был ниже или близким к норме (в пределах 10% от среднемноголетних значений). Каких-либо серьезных проблем у участников водохозяйственного комплекса в этот период не отмечалось.

2014-2016 гг. – период экстремального маловодья. Со второй половины июля 2014 г. длительное мягкое маловодье перешло в жесткую стадию. Резко сократился приток воды в водохранилища каскада, значительно замедлилось их наполнение. С октября 2014 г. для предотвращения снижения уровня оз. Байкал ниже законодательно допустимого уровня (456 м ТО) расходы через Иркутскую ГЭС были уменьшены до предельно допустимых значений – 1300 м³/с и сохраняются такими до настоящего времени. Данный объем необходим для обеспечения устойчивой работы водозаборов в нижнем бьефе Иркутской ГЭС. При таких расходах водозаборы вынуждены работать в режимах близких к аварийным. Для обеспечения навигации в нижнем бьефе Ангары и на Братском водохранилище требуются минимум 1500-1700 м³/с, поэтому были введены ограничения по осадке судов, а с 2015 г. отменено движение судов на подводных крыльях и ограничены временные периоды проводки судов. С ноября 2014 г. по май 2015 г. в Иркутской области и Республике Бурятия был введен режим чрезвычайной ситуации. В этот период уровень Братского водохранилища также находился на минимальных отметках.

Таким образом, экстремальные маловодные периоды являются критически важными при регулировании режимов работы ГЭС и их водохранилищ, так как при дефиците водных ресурсов становятся неизбежными противоречия между различными участниками водохозяйственного комплекса. В табл. 1 представлены сравнительные осредненные показатели притока воды в водохранилища Ангарского каскада ГЭС в периоды маловодий.

Таблица 1

Объемы притока в водохранилища Ангарского каскада ГЭС по маловодным периодам, км³ в год

Периоды	Иркутское	Братское	Усть-Илимское	Богучанское (каскад в целом)
1976-1982 гг.	45,6	74,5	81,6	86,3*
1996-2013 гг.	54,5	86,8	93,7	100,3*
2014-2016 гг.	36,2	59,9	66,7	71,1
За весь период наблюдений	59,5	91,1	99,3	105,3

Примечание: * – расчетные значения.

Из таблицы видно, что по условиям водности современный маловодный период на Ангарском каскаде значительно глубже экстремального маловодья 40-летней давности. В 2014-2016 гг. приток воды в Братское, Усть-Илимское и Богучанское водохранилища составил 65-67% от нормы, в Иркутское водохранилище (оз. Байкал) – 61%.

Енисейский каскад. Для водохранилищ Енисейского каскада характерна небольшая продолжительность как многоводных, так и маловодных периодов, обычно не более 2-х лет (табл. 2).

При среднемноголетнем суммарном ежегодном притоке в водохранилища АЕК 194,8 км³ в отдельные годы наблюдается значительный диапазон колебаний – до 30% от нормы (от 249 км³ в 2006 г. до 146 км³ в 2014 г.). Это существенно влияет на показатели выработки электроэнергии каскадом.

Выработка электроэнергии связана также с особенностями технико-экономических характеристик отдельных гидроузлов (напора, глубины сработки, КПД гидроагрегатов, фильтрационного расхода и др.) и режимами работы ГЭС. В табл. 3 приведены показатели выработки электроэнергии по отдельным ГЭС АЕК в расчете на 1 км³ воды.

Следует также учитывать каскадный эффект, так как объем воды от верхней ступени до нижней проходит по всем ГЭС каскада и итоговая энергоотдача соответствует сумме энергоотдач по каждой ГЭС. Средняя энергоотдача 1 км³ воды Иркутского водохранилища (оз. Байкал) с учетом каскадного эффекта составляет около 690 млн кВт·ч, а для АЕК в целом – более 1,4 млрд кВт·ч. В результате, за счет природообусловленного фактора – изменчивости притока воды в водохранилища, выработка электроэнергии АЕК в маловодные годы может снизиться более чем на 30 млрд кВт·ч в год относительно среднемноголетнего значения.

Климатические изменения в бассейнах оз. Байкал, Ангары и Енисея

Колебания водности во многом определяют климатические изменения. Изменение климата в бассейнах р. Енисея, Ангары и оз. Байкал в последние десятилетия связано с глобальными процессами, прежде всего – со значительным повышением температур в Арктике. На рис. 1 показана динамика изменения площа-

Таблица 2

Объемы притока в водохранилища Енисейского каскада ГЭС по маловодным периодам, км³ в год

Периоды	Саяно-Шушенское	Красноярское (каскад в целом)
1989-1990 гг.	37,8	71,8
1998-1999 гг.	39,5	78,1
2002 гг.	35,1	75,4
2011-2012 гг.	40,2	75,8
2014-2015 гг.	37,9	79,3
За весь период наблюдений	47,4	89,5

Таблица 3

Выработка электроэнергии ГЭС АЕК на 1 км³ воды, млн кВт·ч

Уровень воды в водохранилище	Ирк. ГЭС	Братск. ГЭС	Усть-Илимск. ГЭС	Богуч. ГЭС	Саяно-Шушен. ГЭС	Майнск. ГЭС	Красн. ГЭС	АК	ЕК	АЕК
Минимум	65	230	211	172	446	32	197	678	675	1353
Максимум	68	247	214	174	545	36	241	703	822	1525
Средний	67	239	213	173	496	34	219	692	749	1441

ди льда в Арктике с 1972 г. по настоящее время [3]. Как видно из рисунка, уменьшение минимальной площади льда в Арктике существенно ускорилось с начала XXI века.

На рис. 2 показано сравнение конфигураций минимальной площади льда в 2016, 2012, 2007 гг. и средних значений за период 1981-2010 гг. [3]. В настоящее время наблюдается не только уменьшение площади льда, но и значительное снижение его толщины с формированием рыхлого льда фактически в районе северного полюса. Постоянное повышение температур в Арктике в последние годы существенно снижает риски проявления экстремально низких температур в зимний период и повышает вероятности проявления экстремально высоких температур в летний период в бассейнах Енисея, Ангары и оз. Байкал.

В работах [4-6] проведен анализ глобальных изменений климата Центральной Азии. Отмечена динамика повышения летних показателей давления и понижения зимних, а также существенные корреляции притока воды в оз. Байкал с минимальной площадью льдов в Арктике в сентябре.

Начиная с 1996 г., существенные изменения наблюдаются в бассейне р. Селенга (обеспечивает около 50% ежегодного притока воды в оз. Байкал) в распределении осадков и других метеорологических параметров (геопотенциал, относительная влажность и др.). Дефицит водности оз. Байкал определяют, прежде всего, положительные аномалии летних температур.

Учитывая характер маловодных периодов в бассейне оз. Байкал и их последствия для экологии, а также значимость оз. Байкал как объекта

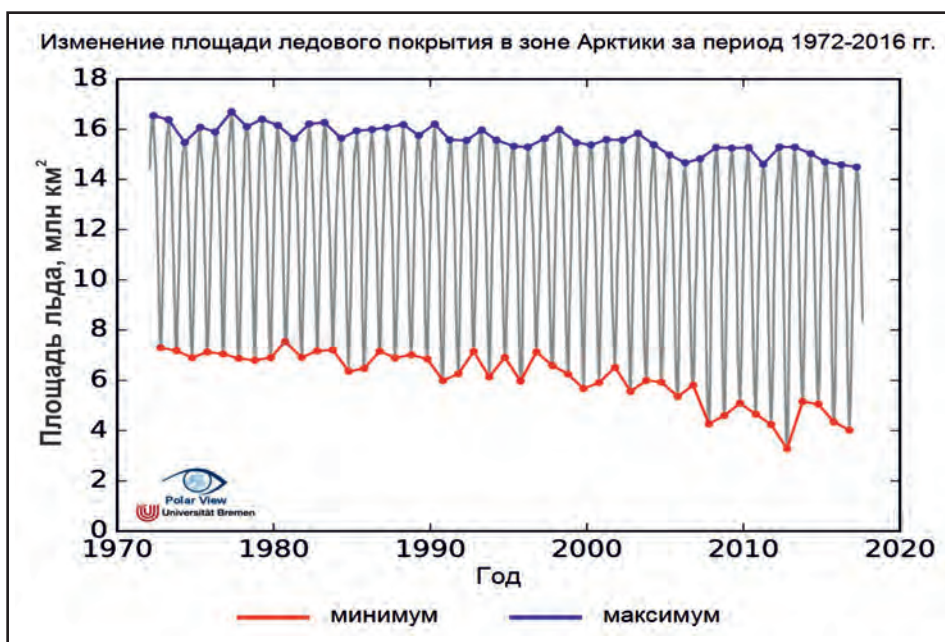


Рис. 1. Динамика изменения площади льда в Арктике с выделением минимальных и максимальных ежегодных показателей

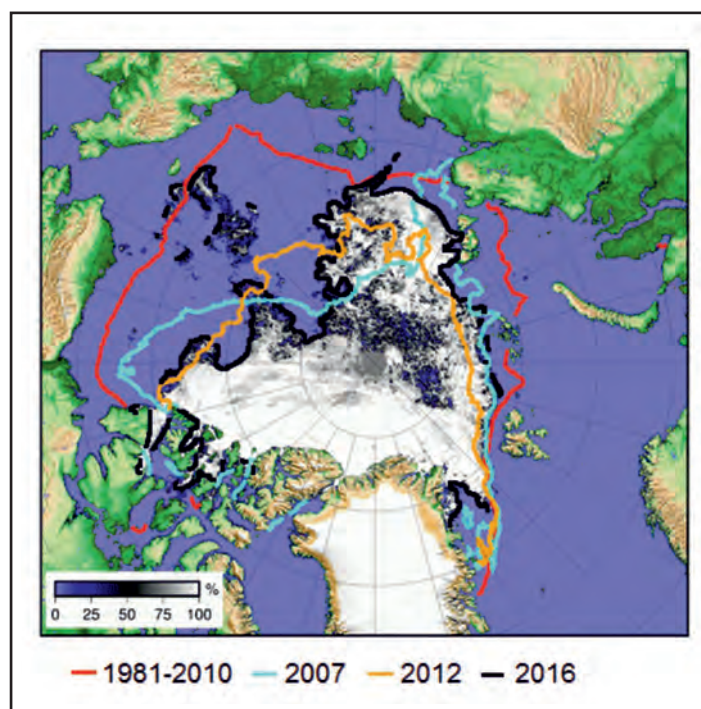


Рис. 2. Сравнение конфигураций минимальной площади льда в Арктике в сентябре 2016 г. по сравнению с 2007 и 2012 гг., а также со средними минимальными показателями за период 1981-2010 гг.

природного наследия ЮНЕСКО, в ИСЭМ СО РАН в последние 20 лет пристальное внимание уделялось климатическим изменениям, происходящим в летний период на достаточно обширной территории, включающей Прибайкалье, Забайкалье, а также большую часть Монголии.

Маловодные периоды, также как и засухи, являются следствием распространения положительных аномалий осадков в летний период на значительных территориях.

Было выявлено, что особенности в распределении атмосферных осадков, как основных механизмов в формировании маловодных периодов 1976-1982, 1996-2013 и 2014-2015 гг., имеют как общие черты, так и принципиальные различия, связанные, прежде всего, с изменением внутрисезонных процессов переноса влаги и особенностей циркуляции атмосферы в бассейне оз. Байкал.

Оказалось, что площадь аномалии осадков в маловодный период 1976-1982 гг. распространялась в северо-западном направлении вплоть до Северного Ледовитого океана, а также в восточном направлении. Нехватку атмосферных осадков в данный период испытывал не только

бассейн Байкала, но и вся южная часть Ангаро-Енисейского бассейна, а также бассейны Оби и Амура.

Для маловодного периода 1996-2013 гг. отрицательная аномалия летних осадков наблюдалась преимущественно в южных и центральных частях бассейна оз. Байкал (р. Селенга) почти весь период. В северной же и юго-восточной части отмечались осадки выше нормы и, как следствие, повышение их доли в суммарном притоке в оз. Байкал.

Период 2014-2015 гг. характеризовался отрицательными аномалиями атмосферных осадков в сочетании со значительными положительными аномалиями температур воздуха по всей территории бассейна. Пространственное распространение этих аномалий имело масштабный характер почти на всю юго-восточную Азию. Следствием этого стала чрезвычайная засуха, с пожарами и снижением уровня грунтовых вод в населенных пунктах на побережье озера.

Как показали ранее выполненные исследования [7-8], одной из основных причин современного маловодного периода в бассейне р. Селенга является резкое ослабление Юго-Восточного

муссона. С 1999 г. в регионе практически не отмечались юго-восточные траектории, с которыми связаны переносы большого количества влаги. Ослабления муссонных переносов имели место и в предыдущие десятилетия, однако они не были такими продолжительными и не сопровождались крупномасштабными изменениями температурного фона в регионе.

Прогностические оценки водности

Глобальное изменение климата за последние 20 лет существенно повлияло на многие региональные процессы, пространственно-временные гидрометеорологические характеристики и корреляционные зависимости, сложившиеся за предыдущие десятилетия. Это влияние, вызванное повышением давления и температур, аномалий осадков в летний период и, как следствие, снижением притока в оз. Байкал и водохранилища Ангара-Енисейского каскада ГЭС, сказалось на эффективности работы энергетической и водохозяйственной систем Сибири.

В настоящее время отсутствуют методы и модели, позволяющие получить надежные долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Однако названные климатические изменения, а также очевидная потребность в долгосрочных (до 1 года и более) прогнозных оценках энергетики и неэнергетических участников водохозяйственного комплекса, требуют поиска новых подходов к формированию прогностических оценок водности в современный период.

Для анализа климатических изменений в исследуемых бассейнах в ИСЭМ СО РАН разработана система ГеоГИПСАР [9], которая является развитием информационно-прогностической системы ГИПСАР [10-12], реализованной в конце 1990-х годов. Ее основу составляли несколько разноплановых методов долгосрочного прогнозирования (фоновые, оценочные, вероятностные, аппроксимативные) на основе специальной методологии формирования прогнозов повышенной надежности, а также средства анализа и верификации данных.

Современные мировые центры метеорологических данных, аккумулирующие огромные массивы оперативной и статистической информации, предоставляют широкие возможности

для исследований, связанных с глобальным изменением климата. Глобальные оценки изменения климата, как правило, осуществляются на основе комплексных исследований атмосферы и океана и основаны на численных решениях с использованием мощной компьютерной базы. Одним из наиболее эффективных мировых центров данных является Reanalysis Project National Center for Environmental Prediction and University Corporation for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), США. В данном центре определяются основные метеорологические показатели по различным слоям атмосферы и стратосферы с разрешением $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ в суточном разрешении (температура, геопотенциал, показатели циркуляции атмосферы и др.) с запаздыванием 2-3 суток. Мировой центр данных по осадкам Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), Германия, позволяет использовать данные с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ и месячным временным интервалом с запаздыванием около 2-х месяцев.

Глобальная прогностическая модель Climate Forecast System (CFS), США [13], является одним из представительных образцов формирования прогностических оценок состояния показателей атмосферы (распределения температур, давления, геопотенциала, интенсивности осадков, полей скоростей и др.) по всему земному шару на срок до 10-ти месяцев. Ежедневное уточнение прогностических показателей позволяет накапливать прогностические ансамбли данных и формировать на их основе пространственные вероятностные распределения метеорологических показателей.

В системе ГеоГИПСАР с использованием информации из мировых центров данных и глобальных прогностических моделей постоянно отслеживаются глобальные и региональные климатические изменения с формированием различных вероятностных прогностических оценок по притокам для рассматриваемых бассейнов.

Разработанные компоненты системы ГеоГИПСАР по обработке прогностических ансамблей данных позволяют для любой выбранной ячейки сеточных данных ($1^\circ \times 1^\circ$) сформировать динамику изменения прогностических метеорологических показателей с возможностью задания весовых коэффициентов, а также их пространственные распределения.

Учитывая значительные успехи в создании и развитии глобальных климатических моделей, перспективной представляется задача моделирования притока воды в водохранилища на основе распределенных по бассейну водосбора прогнозных и фактических данных по осадкам, температурам, увлажнению почвы с использованием ГИС-данных по склонам различных участков его рельефа.

Принимая во внимание неоднородность водосбора бассейнов Енисея, Ангары и оз. Байкал, формируемые вероятностные прогностические показатели позволяют сузить вероятный разброс ожидаемого стока и уточнить его наиболее вероятный диапазон по заданному порогу вероятности (например, 80% или 90%) для проведения оперативных водохозяйственных расчетов.

В случае осуществления маловероятных экстремальных событий по высокой или низкой водности, оперативный мониторинг прогностических распределений с учетом фактических показателей притока воды и пространственных распределений метеорологических показателей позволяет заблаговременно заметить происходящие изменения в состоянии атмосферы и оперативно внести соответствующие коррективы.

Опыт использования прогностических показателей глобальной модели CFS и других аналогичных моделей показывает, что их можно надежно использовать для предстоящих оценок от декады до месяца. Для более отдаленной перспективы требуется более тонкая обработка прогностических ансамблей с возможным вклю-

чением различных гипотез для окончательной оценки.

В связи со значительными изменениями климата в исследуемых бассейнах, использование только данных гидрометеорологической статистики (более 100 лет) при проведении водно-энергетических расчетов может повлечь значительные риски. В этой связи необходимо существенно расширить область применения прогностических оценок водности от краткосрочных до среднесрочных и долгосрочных. Учитывая недостаточную надежность и возможные ошибки долгосрочных оценок, необходимо формирование нескольких сценариев водности (наиболее вероятный и менее вероятные – экстремальные) с оценками вероятностей их осуществления. В первой половине лета необходимо проводить тщательный климатический мониторинг с последующим уточнением вероятностей ранее сформированных сценариев.

Формирование вероятностных прогностических сценариев представляет собой сложную согласованную процедуру мониторинга, обработки и анализа как точечных, так и пространственных сеточных данных. Данный подход использовался для прогнозирования притока и уровня воды в оз. Байкал в период маловодья 2016-2017 годов. В связи с тем, что полезный приток в оз. Байкал формируется в основном в летний период и характеризуется значительными колебаниями и относительно малыми величинами с ноября по март (включая отрицательные показатели за счет вычитания доли испарения с его поверхности), его предпочи-

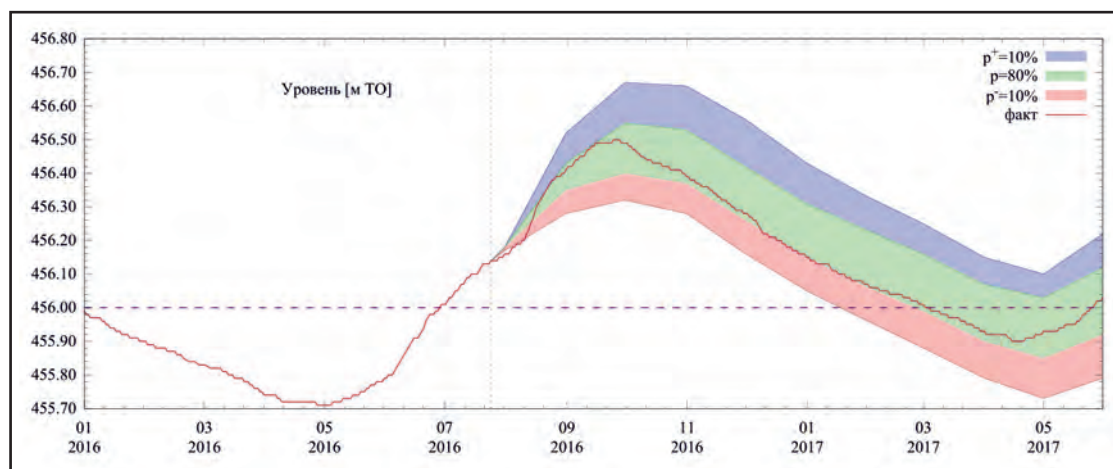


Рис. 3. Пример прогнозирования и верификации уровня режима оз. Байкал на 2016-2017 гг. с указанием наиболее вероятной зоны

тельное представлять в виде объема накопления притока, начиная с 1-го мая – начала нового водохозяйственного года. Для этого была разработана процедура отсеивания маловероятных гидрографов на основе использования среднесрочного прогноза водности на 1 месяц. Формирование и уточнение прогностических оценок водности оз. Байкал может производиться ежемесячно или ежедекадно. В условиях широкого диапазона разброса прогностических метеорологических показателей, формируемых глобальными климатическими моделями, на первом этапе синтезируются 2-3 сценария ожидаемой водности с определением их вероятностей. По мере уменьшения неопределенности по состоянию показателей атмосферы, в сочетании с текущей гидрологической обстановкой в июле-августе, оставляется лишь один сценарий с вероятностью осуществления 80-90%.

На рис. 3 представлен график прогнозирования уровня режима оз. Байкал, сформированный в июле 2016 г., с добавлением на него фактических показателей. Прогнозирование уровня режима определялось на основе прогноза водности и расчетов режимов Иркутской ГЭС.

Несмотря на сложную ситуацию с водностью, сложившейся к июлю 2016 г., наиболее вероятный диапазон уровня режима на период до июня 2017 г., полученный на основе обработки прогностических ансамблей CFS-модели, оказался достаточно надежным.

Заключение

Анализ эффективности работы АЕК показал, что существуют риски его нормального функционирования в маловодные периоды. Эти риски

значительно возрастают в связи с действующим законодательством, предусматривающим ограничение допустимой призмы регулирования озера Байкал с 1,96 до 1 м.

В связи с существенными изменениями глобального и регионального климата для эффективного управления режимами ГЭС АЕК недостаточно ограничиваться только диспетчерскими графиками, сформированными на основе статистических данных притоков в водохранилища за прошедший период наблюдений.

Значительный прогресс в мониторинге климата, развитии глобальных и региональных прогностических моделей климата, а также совершенствовании и разработке методов оценки пространственно-временной изменчивости водности в бассейнах р. Енисей, Ангары и оз. Байкал позволяет формировать прогностические оценки притоков воды в водохранилища на перспективу от одного месяца до года.

Для повышения надежности долгосрочных прогностических оценок водности необходимо формирование не только наиболее вероятных показателей, но и потенциальных экстремальных сценариев водности с определением возможных энергетических, водохозяйственных и экологических рисков.

Учитывая возросшую динамику ежегодных и сезонных колебаний климата, представляется важным периодическое уточнение диспетчерских графиков отдельных ГЭС и каскада в целом. В условиях изменяющегося климата более эффективным является управление режимами работы ГЭС по критерию обеспечения гарантированной зимней мощности всего АЕК в целом, предусматривающего возможность компенсации в случае дефицита или избытка воды в отдельных водохранилищах каскада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В.М., Савельев В.А., Бережных Т.В., Абасов Н.В. Гидроэнергетические проблемы озера Байкал: прошлое и настоящее // *Регион: экономика и социология*. № 3(87), 2015. – С. 273-295.
2. Бычков И.В., Никитин В.М. Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения // *География и природные ресурсы*. № 3. 2015. – С. 5-16.

3. *Sea Ice Remote Sensing. Institute of Environmental Physics, University of Bremen* [Электронный ресурс]: URL: <http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amstr2>.
4. Абасов Н.В., Бережных Т.В. Подход к анализу изменчивости притока воды Ангарского каскада ГЭС // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-13-2007): Доклады межд. науч.-практ. конф. Кемерово. – Томск: САН ВШ; В-Спектр, 2007. – С. 23-26.
5. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Ветрова В.В. Исследование влияния Арктики на гидроэнергетический потенциал Ангарского каскада ГЭС // Тр. Британско-российской конференции «Гидрологические последствия изменения климата». – Барнаул: Пять плюс, 2009. – С. 42-49.
6. Shkorba S., Ponomarev P., Dmitrieva E. Linkages of climatic anomalies in Arctic, Asian Pacific and Indo-Pacific regions // *Proceedings of Joint Science and Education Conference: Arctic Dialogue in the Global World. Ulan-Ude: Buryat State University Published Department, 2015. P. 122-125.*
7. Бережных Т.В., Марченко О.Ю., Абасов Н.В., Мордвинов В.И. Изменение летней циркуляции атмосферы над Восточной Азией и формирование длительных маловодных периодов в бассейне реки Селенги // География и природные ресурсы. № 3. 2012. – С. 61-68.
8. Марченко О.Ю., Бережных Т.В., Мордвинов В.И. Экстремальная водность реки Селенги и особенности летней циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология, 2012. № 10. – С. 81-93.
9. Абасов Н.В. Система долгосрочного прогнозирования и анализа природообусловленных факторов энергетики ГеоГИПСАР // Материалы международного совещания APN (MAIRS/NEESP/SIRS) «Экстремальные проявления глобального изменения климата на территории Северной Азии»: *Enviromis-2012*. – С. 63-66.
10. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Резников А.П. Долгосрочный прогноз природообусловленных факторов энергетики в информационно-прогностической системе ГИПСАР // Известия РАН, Энергетика, 2000, № 6. – С. 22-30.
11. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Ветрова В.В. Долгосрочное прогнозирование гидроэнергетического потенциала каскада ГЭС в условиях изменения климата // Известия РАН, Энергетика, 2012, № 1. – С. 49-57.
12. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Марченко О.Ю., Ветрова А.В. Пространственно-временная декомпозиция притоков в ангарский каскад ГЭС в задачах долгосрочного прогнозирования // Мат. Третьей всерос. конф. с межд. участием. Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: – Барнаул: АРТ, 2010. – С. 25-28.
13. *The NCEP Climate Forecast System* [электронный ресурс]: <http://cfs.ncep.noaa.gov>.

Поступила в редакцию
25.07.2017 г.

V.M. Nikitin, N.V. Abasov, T.V. Berezhnykh, E.N. Osipchuk²

ANGARA-YENISEI HYDROELECTRIC POWER CHAIN UNDER CHANGING CLIMATE CONDITIONS

The article presents the studies of Angara-Yenisei hydroelectric power chain operation under extreme water content conditions conducted at the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. It reviews climate changes in the Yenisei, Angara and Lake Baikal basins occurred in the past decades and their effect on the Angara-Yenisei hydroelectric power chain performance. The focus is on the long-term predictive evaluations of the water content made to reduce energy and water economic risks under globally changing climate conditions.

Key words: hydroelectric power plants, Angara-Yenisei hydroelectric power chain, climate changes, extreme water content.

² Vyacheslav M. Nikitin – Head of the Laboratory for Hydroelectric and Water Economy Systems of the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, *e-mail:* nikitin1310@mail.ru;
Nikolay V. Abasov – Leading Researcher at the Laboratory for Hydroelectric and Water Economy Systems of the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD in Engineering, *e-mail:* nva@isem.irk.ru;
Tamara V. Berezhnykh – Senior Researcher at the Laboratory for Hydroelectric and Water Economy Systems of the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD in Geography, *e-mail:* berejn@isem.irk.ru;
Evgeny N. Osipchuk – Researcher at the Laboratory for Hydroelectric and Water Economy Systems of the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD in Engineering, *e-mail:* eugene.os@mail.ru.

УДК 620.9+504.38 (98)

Д.А. Соловьев, М.О. Моргунова, Т.С. Габдрахманова¹

АДАПТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В АРКТИКЕ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В работе рассматриваются некоторые вопросы развития малой и возобновляемой энергетики в Арктической зоне Российской Федерации с целью поиска альтернативных вариантов развития энергетической инфраструктуры и адаптации существующих инфраструктурных объектов к происходящим и будущим климатическим изменениям.

Ключевые слова: Арктика, изменение климата, ресурсы, энергетика, инфраструктура, адаптация, возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Введение

Освоение Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) является одной из стратегических задач социально-экономического развития России. В настоящее время в АЗРФ происходит полномасштабное планирование освоения природных ресурсов, социально-экономическое развитие арктических территорий и транспортной (в том числе Северный морской путь – СМП) и энергетической инфраструктуры. К основным экономическим интересам, определяющим развитие российской Арктики, можно отнести следующие: высокий углеводородный потенциал, включая нетрадиционные виды ресурсов (газогидраты); наличие континентальных месторождений рудных и нерудных ископаемых; наличие значительных запасов пресных вод; высокий потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ), (энергия Солнца, ветра); рыбные и прочие биоресурсы; новые безопасные транспортные и логистические маршруты (СМП).

Очевидно, что социально-экономическое развитие региона непосредственно связано с энергообеспечением. В суровых природно-климатических условиях и при децентрализованном характере энергообеспечения в АЗРФ, закупка, доставка и хранение энергетических ресурсов составляет значительную часть экономических затрат на содержание объектов жилой, транс-

портной, промышленной и энергетической инфраструктуры. Учитывая быстрые темпы развития добывающей промышленности в АЗРФ в настоящее время и намеченные в официальных документах Российской Федерации планы хозяйственного освоения территории Арктики, в обозримом будущем ожидается заметное увеличение электропотребления, а также возможные изменения эффективности и режимов потребления топлива и энергии. В условиях современных экологических и климатических вызовов использование ВИЭ может стать эффективным решением многих локальных энергетических задач (например, оптимизация «северного завоза»).

Освоение АЗРФ в контексте изменения климата

Арктический регион позволяет наглядно оценивать различные аспекты, связанные с ростом глобальной температуры нашей планеты. Это объясняется тем, что интенсивность этих процессов в Арктике более заметна: если на экваторе температурные изменения незначительны, то в средних широтах, а особенно на полюсах, речь идет о повышении на 1-2 °С. Арктический регион является индикатором климатических изменений, показывающим, как их последствия могут повлиять на жизнь людей и все дальнейшие

¹ Дмитрий Александрович Соловьев – старший научный сотрудник Объединенного института высоких температур (ОИВТ) РАН, к.ф.-м.н., e-mail: solovev@guies.ru;

Мария Олеговна Моргунова – младший научный сотрудник ОИВТ РАН, e-mail: maymorgunova@mail.ru;

Татьяна Сергеевна Габдрахманова – младший научный сотрудник ОИВТ РАН, e-mail: tts_91@mail.ru

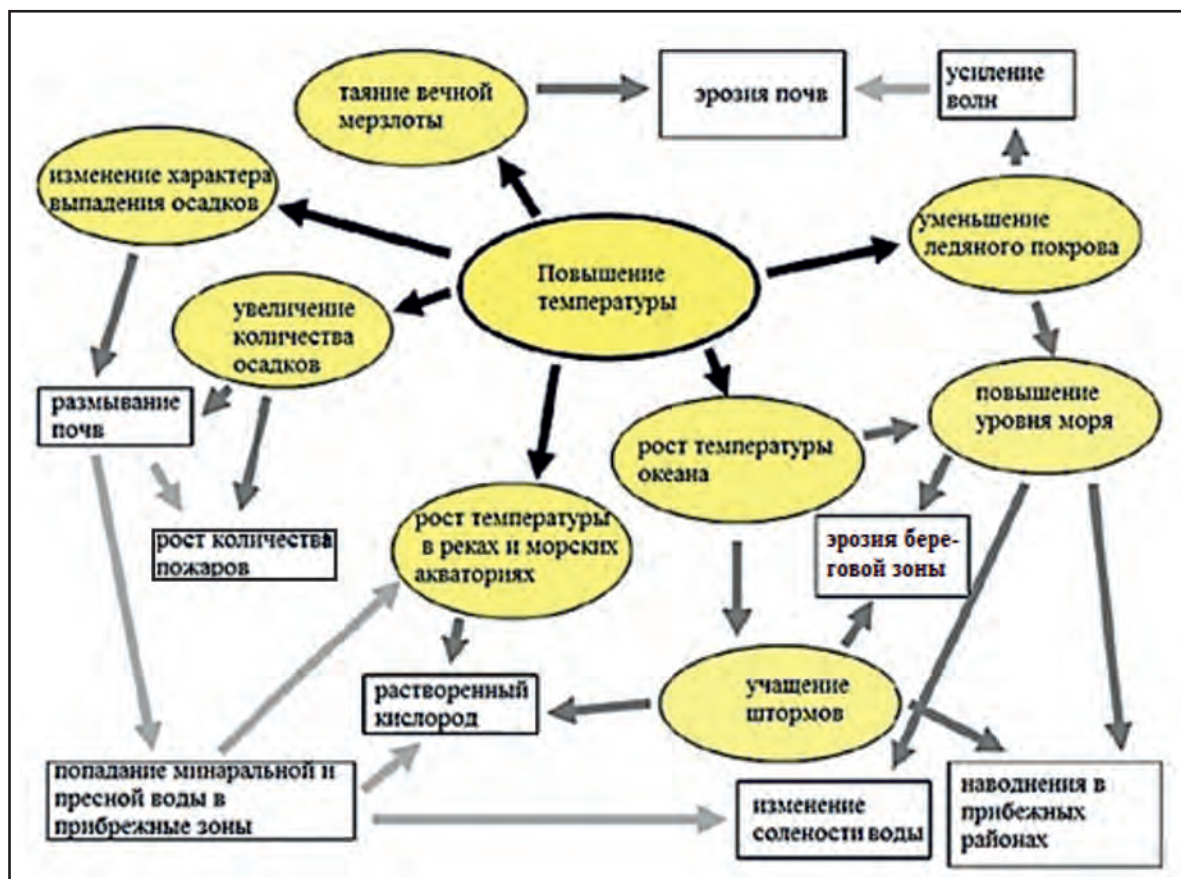
² Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00640/17.

энерго-климатические и экономические процессы в России.

Среднегодовая температура на всей территории России растет более чем в 2,5 раза быстрее глобальной (0,45 °C за 10 лет), но особенно быстро – за Полярным кругом (до 0,8 °C за 10 лет) [1]. Потепление приводит к увеличению годовой суммы осадков, разморзанию почв, повышению температуры толщи мерзлоты и т.д. В целом для Арктического региона годовая сумма осадков в 2016 г. была выше нормы на 3%. Как ожидается, дальнейший рост числа осадков в Арктике приведет к заболачиванию территорий. Этот эффект может быть сильнее всего в центральной и восточной части арктического побережья. Другим наглядным свидетельством потепления климата служит таяние вечной мерзлоты [2]. За последние 20-30 лет температура толщи мерзлоты в европейской части российской Арктики и Субарктики повысилась с +0,22 до +1,56 °C. Данные наблюдений говорят также о прогрессирующем

увеличении сезонно-талого слоя мерзлоты и величины просадки грунта в отдельных районах российской Арктики на 14-80% за последние 10 лет (Колымская низменность, Восточная Чукотка, Большеземельская тундра). Отмечен сдвиг распространения мерзлоты. Концептуально влияние климатических изменений на арктические территории, в частности прибрежные зоны, показано в работе [3]. Происходит уменьшение ледяного покрова, учащение случаев экстремальной погоды, таяние вечной мерзлоты и т.д. (рис. 1).

Наблюдаемые прогрессирующие климатические изменения в Арктике уже сейчас начинают оказывать заметное влияние на существующую арктическую инфраструктуру, включая энергетическую. Риск подвержены инфраструктурные сооружения для разработки месторождений нефти и газа в прибрежных зонах и на арктическом шельфе. Деградация вечной мерзлоты представляет большую опасность для рас-



Источник: [3].

Рис. 1. Концептуальная модель влияния климатических изменений на прибрежные зоны

положенных в районах Крайнего Севера зданий, дорог и других инженерных сооружений. За последние годы число сооружений, получивших повреждения из-за неравномерных просадок фундаментов, увеличилось по сравнению с предшествующим десятилетием в Норильске на 42%, Якутске – на 61%, Амдерме – на 90% [4].

Если в конце прошлого века продолжительность навигации по СМП составляла июль – сентябрь, то сейчас июнь – ноябрь (при этом в сентябре и октябре льда практически нет). Это связано с тем, что глобальное потепление климата продолжается, что и приводит к наблюдаемому сейчас уменьшению площади льда в Арктике. Глобальные климатические изменения открывают новые перспективы использования СМП, как национальной транспортной коммуникации, которая имеет исключительно важное значение для обеспечения дальнейшего развития экономики северных регионов и государства в целом.

Вместе с тем климатические изменения, положительно влияющие на развитие СМП, дополняются негативными последствиями, вызванными новыми опасностями для мореплавания, ранее отсутствовавшими в Арктике: рисками сильных ветров, экстремального волнения в океане и встречами с айсбергами. Сокращение ледового покрова может привести к разрушению уже имеющейся портовой инфраструктуры, расположенной в настоящее время на многолетней мерзлоте.

Поскольку освоение АЗРФ осуществляется с горизонтом планирования до 2030 г. (развитие судоходства и соответствующей инфраструктуры в рамках комплексного проекта развития Северного морского пути [5], программа Росатома «Энергообеспечение» в АЗРФ [6]), последствия климатических изменений необходимо учитывать уже сейчас.

В условиях потенциального негативного воздействия глобальных климатических изменений на арктическую инфраструктуру и повышенного экономического интереса к освоению АЗРФ требуется обеспечить безопасное и бесперебойное энергоснабжение всех категорий потребителей (включая транспортную инфраструктуру СМП) в регионе с учетом современных экологических и климатических тенденций. Одним из

вариантов может стать развитие малой энергетики в Арктике и использование доступных возобновляемых, в том числе местных, источников энергии.

Влияние изменения климата на экономику АЗРФ

Вышеперечисленные климатические изменения ввиду необходимости адаптации инфраструктуры приводят к дополнительным инвестиционным затратам. Согласно имеющимся прогнозам, процесс потепления климата в Арктическом регионе будет сопровождаться двух-трехкратным увеличением силы и частоты сильных ветров, шквалов, штормов и других опасных природных явлений, а стоимость адаптации к влиянию климатических изменений на транспортную инфраструктуру (дороги, морские порты, аэропорты, линии передач и т.д.) может привести к многократному росту финансовых вложений в развитие инфраструктуры. При этом экономия от проведения мероприятий по адаптации будет более значимой при быстром потеплении, нежели при медленном изменении климата [7]. По предварительным оценкам на период до 2050 г., сделанным по данным работы [8], при постепенном потеплении («медленный» сценарий) на 2-3 °C потери доли валового внутреннего продукта (ВВП) России, обеспечиваемой в АЗРФ, составят величину около 0-3%; при более быстром темпе повышения температуры («быстрый» сценарий) на 5-6 °C – 5-10%. На основе данных работ [8] и [9], нами составлен модельный прогноз, характеризующий возможное изменение доли валового регионального продукта (ВРП), произведенного в АЗРФ, в суммарном валовом региональном продукте России при реализации «медленного и «быстрого» сценария потепления (рис. 2).

Для прогнозирования динамики изменения ВРП АЗРФ была применена и адаптирована динамическая факторная модель в форме пространства состояний, методология расчета которой в описана в работе [10]. На основе полученных результатов моделирования макроэкономических показателей, определяющих многолетнее изменение ВРП АЗРФ под воздействием наблюдаемых факторов (связанных с



Источник: [8], расчеты авторов.

Рис. 2. Доля ВРП АЗРФ в суммарном ВРП субъектов Российской Федерации

экономическими последствиями от повышения средней температуры и роста числа опасных природных явлений), можно сделать вывод, что при любом сценарии потепления климата в АЗРФ будет наблюдаться отрицательная динамика роста ВРП. При этом реализация сценария «быстрого» потепления к 2050 г. может привести к снижению исходной доли ВРП АЗРФ на 8%. Этот результат подтверждает выводы работы [8], в которой утверждается что экономическая выгода от глобального потепления на 2-3 °С в арктических странах (Канада, Россия, Скандинавские страны) в таких отраслях, как сельское хозяйство, энергетика (за счет снижения потребления энергии в зимний период) и туризм будет минимальной и не окажет влияния на динамику изменения макроэкономических показателей, однако в случае реализации сценарных прогнозов «быстрого» потепления негативный эффект будет значительным. Таким образом, более широкое использование ВИЭ и местных энергоисточников будет способствовать уменьшению влияния на окружающую среду в Арктике. Помимо этого, в свете необходимости интенсивного развития энергетической инфраструктуры в АЗРФ, ВИЭ

могут являться альтернативой традиционным методам энергоснабжения.

Международный опыт использования ВИЭ в отдаленных и северных регионах

В исследованиях российских и зарубежных ученых активно рассматривается вопрос использования ВИЭ в локальных системах энергообеспечения, в том числе посредством моделирования или применения качественных или количественных методов анализа. Возобновляемая энергетика в контексте климатических изменений на международном уровне рассматривается в качестве стабилизирующего фактора для традиционной генерации, позволяющего снизить выбросы парниковых газов. В настоящее время за рубежом наиболее востребованными являются гибридные, или комбинированные энергетические установки, работающие на базе ВИЭ. Работа комбинированной системы из ветроустановок с водородной системой аккумулирования энергии на острове Гримсей (Исландия) оценивается в работе [11] посредством моделирования, а статистические данные по энергопотреблению используются для даль-

нейшего качественного анализа. Исследование показывает, что использование подобных установок в комбинации с существующей дизельной энергетической инфраструктурой является реальным решением вопроса более экологичного энергообеспечения удаленных потребителей, а возврат инвестиций осуществим в течение 4-х лет. В работе [12] проводится анализ работы ветродизельных гибридных установок в удаленных поселениях на Аляске, результатом которого стала позитивная оценка социально-экономического развития населения в рамках устойчивого развития энергоснабжения. В работе [13] рассматриваются успешные примеры применения ВИЭ в экстремальных климатических условиях Антарктики. Авторы подчеркивают возможность перевода исследовательских станций в Антарктике на 100% энергообеспечение за счет ВИЭ, а также развития подобных технологий и в других удаленных северных районах на других континентах. В работах [14–16] имеется задел в изучении использования ВИЭ для энергоснабжения АЗРФ – приводится характеристика энергопотребителей, оценка ресурсов ВИЭ в АЗРФ на базе статистических данных и результатов моделирования, оценка потенциала энергообеспечения на основе ВИЭ и проекта портативной энергоустановки для работы в суровых условиях Арктики. Этот и другой международный опыт в использовании гибридных энергетических установок на базе ВИЭ позволяет оценить преимущества подобных систем, их широкое географическое использование и эффективность. Данный опыт может быть применен в условиях необходимости адаптации и дальнейшего развития энергетической инфраструктуры в Арктике.

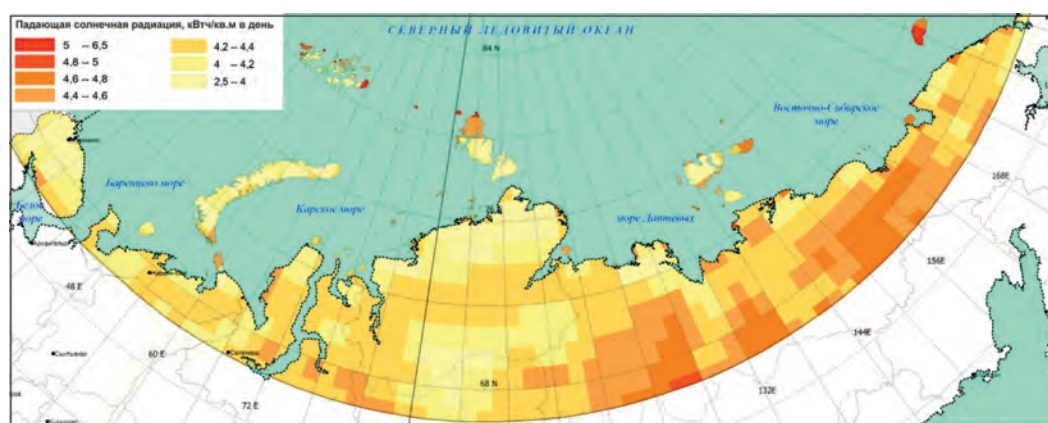
Потенциал и риски развития малой и возобновляемой энергетики в АЗРФ

В АЗРФ, несмотря на экстремальные климатические условия и прочие природно-географические факторы, потенциал ВИЭ может быть значителен. Это связано в основном с технологическим прогрессом, влияющим на удешевление оборудования на основе ВИЭ и положительными результатами исследований в области адаптации установок на базе ВИЭ к

арктическому климату. Анализ статистической информации о функционирующих в настоящее время и запланированных к реализации объектов генерации с использованием энергии возобновляемых источников, а также комбинированных энергоустановок (с использованием дизельного топлива) на территории АЗРФ до начала 2016 г. показал, что в настоящее время электрогенерирующие установки на основе возобновляемых источников энергии представлены в арктическом регионе объектами малой гидроэнергетики (92%), а также ветряными (около 5%) и солнечными электростанциями (более 1,5%). В рамках данной статьи рассматривается потенциал солнечной и ветровой энергии.

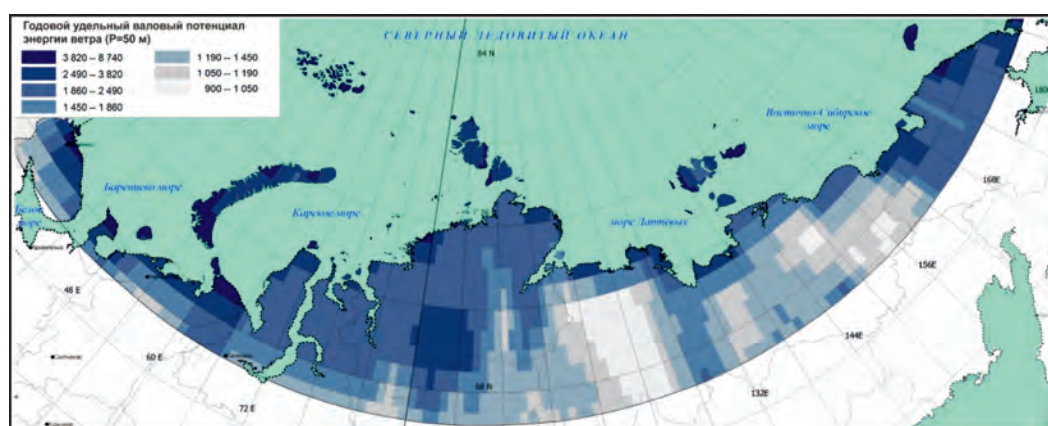
Данные о доступных ресурсах солнечной энергии в отдельных регионах АЗРФ позволяют говорить о перспективности его использования при дальнейшем развитии энергетических мощностей на базе ВИЭ. Результаты оценок валового и технического потенциала солнечной энергии на территории АЗРФ [17] показали, что Республика Саха (Якутия) обладает рекордными для Арктики показателями приходящей на горизонтальную поверхность солнечной радиации. Анализ данных (усредненных за период с апреля по сентябрь) о солнечном излучении, приходящем на поверхность, наклоненную к поверхности под углом, равным широте местности, показал аналогичные результаты (рис. 3). В целом лидерами по показателям приходящей на наклонную поверхность суточной суммы суммарной солнечной радиации и валового потенциала солнечной энергии являются: Республика Саха, Красноярский край и Ямало-Ненецкий АО. В Республике Саха (Якутия) серьезными темпами внедряются и уже успешно эксплуатируются технологии солнечного энергоснабжения. Кроме того, запланировано строительство 64 солнечных электростанций в этом регионе суммарной мощностью более 50 МВт.

На рис. 4 представлены результаты оценки годового удельного валового и технического потенциала ветра в АЗРФ на высоте 50 м [19]. Лидеры по величине годового валового потенциала – Республика Саха, Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО, Красноярский край. Наибольшим годовым техническим потенциалом обладают: Красноярский край, Чукотский АО,



Источник: [18].

Рис. 3. Суточные показатели суммарной солнечной радиации, приходящей на наклонную поверхность южной ориентации (угол наклона равен широте местности) в АЗРФ



Источник: [17].

Рис. 4. Годовой удельный валовый потенциал ветра на высоте 50 м в АЗРФ (МВт·ч/год)

Ямало-Ненецкий АО. По плотности ветрового потока в лидерах находятся Красноярский край и Чукотский АО. Валовый потенциал ветра распределен по территории АЗРФ крайне неравномерно, однако наибольшими удельными показателями обладает побережье Северного ледовитого океана.

Несмотря на то, что с точки зрения наличия технического электроэнергетического потенциала ветра в некоторых регионах производство электроэнергии энергоустановками на жидком углеводородном топливе теоретически может быть замещено генерацией на основе ветроэнергетических установок, нестабильный и стохастический график поступления и, соответственно, выработки энергии такими установками, сильная зависимость от метеорологических условий, вопросы аккумулирования энергии и прочие факторы

ограничивают возможности использования этого потенциала полностью. Ввиду этого, наиболее перспективной представляется эксплуатация энергоустановок на базе ВИЭ в совокупности с технологиями хранения энергии (например, водородные топливные элементы) или с дублирующими энергоустановками на органическом топливе, имеющими постоянный режим генерации и способными выполнять функцию регулятора частоты и мощности (дизельные и газовые генераторы). Фотоэлектрические установки могут быть использованы в качестве самостоятельной генерации энергии только в случае питания индивидуального потребителя при условии отсутствия иных вариантов и в общем случае требуют комбинации с другими источниками генерации или аккумулирующих устройств.

В АЗРФ имеется ряд пилотных проектов использования комбинированных установок на базе ВИЭ. Они используются для обеспечения телефонной и спутниковой связи, системы удаленного фотонаблюдения, освещения и работы оборудования. Более 400 МВт установленной мощности энергооборудования на основе ВИЭ планируется к запуску в ближайшие годы, около 400 МВт – на стадии разработки проектов [17]. Подобные технологические решения способны существенно сократить завоз дизельного топлива, уменьшить себестоимость производимой электроэнергии, снизить экологическую нагрузку и существенно ускорить развитие арктической инфраструктуры.

Отличительной особенностью выбора и применения оборудования ВИЭ в арктических условиях на сегодняшний день является проблема преодоления технологических рисков. Причины возникновения факторов технологических рисков, выражающихся в сбоях в работе оборудования, могут быть связаны с ошибками, допущенными при выборе и проектировании технологического оборудования, нарушениями технологических процессов. Избежать действия данного вида риска возможно с помощью осуществления мер безопасности, использования сертифицированного технологического оборудования, своевременного его ремонта и проведения адаптационных мероприятий. Так, для работы ВЭУ наибольшую опасность при работе оборудования в условиях Арктики могут представлять: снижение выработки ВЭУ из-за обледенения лопастей и оборудования; увеличение вибраций оборудования из-за дисбаланса от наледей; возникновение коротких замыканий при попадании влаги в электрическое оборудование; угроза поломки опор, башен и лопастей. Для защиты оборудования от воздействия суровых климатических условий используется блочно-модульный принцип исполнения основного оборудования с размещением дизель-генераторов, накопителей и радиоэлектронной согласующей и управляющей аппаратуры в контейнерах с высокой степенью защиты от внешнего воздействия окружающей среды, а в ряде случаев – с внутренней системой климат-контроля. В случае возникновения поверхностного обледенения наблюдается резкое снижение номинальной мощности оборудования ВЭУ вплоть до его полного

отказа. В условиях арктической зоны России в существующих местах расположения ветряной генерации количество дней в году, когда может наблюдаться активное обледенение лопастей ВЭУ, варьируется от 60 (г. Анадырь, Чукотский АО, 64° с.ш.) до 110 дней (пос. Амдерма, Ненецкий АО, 69° с.ш.). Поэтому в регионах с высоким риском обледенения требуется выполнение специальных мероприятий по адаптации технологического оборудования ВЭУ [20].

Выводы

В ближайшие годы будут заложены принципы будущего освоения Российской арктической зоны. В условиях продолжающегося потепления в Арктике на первый план выйдут вопросы эффективной адаптации инфраструктуры региона к глобальным климатическим и экологическим изменениям. Игнорирование климатических изменений приведет к существенному снижению экономического роста. Для снижения рисков, связанных с изменением климата, необходимо рассматривать возможность адаптации существующей и будущей инфраструктуры в АЗРФ.

Одним из важнейших элементов адаптации энергетической инфраструктуры АЗРФ станет использование технологий ВИЭ. Развитию арктической возобновляемой энергетики препятствует ряд факторов, в основном связанных с суровыми климатическими условиями Арктики. Несмотря на это, потенциал ВИЭ в АЗРФ значителен. Комбинированное использование ВИЭ с дизельными и газовыми двигатель-генераторами в условиях децентрализованного энергоснабжения АЗРФ позволяет обеспечить высокую надежность электроснабжения, значительную экономию за счет меньшего использования углеводородного топлива.

В настоящее время использование местных ВИЭ в АЗРФ носит несистематизированный характер. Требуется комплексный подход к разработке единой схемы размещения энергетических установок и систем малой энергетики с использованием ВИЭ. Реализация мероприятий по использованию ВИЭ в АЗРФ в рамках развития энергетической инфраструктуры даст значительный экономический и экологический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 году. М.: Росгидромет, 2017. 70 с.
2. Кокорин А.О., Карелин Д.В., Стеценко А.В. Воздействие изменения климата на российскую Арктику: анализ и пути решения проблемы. М.: , 2008. 28 с.
3. Burkett V. Global climate change implications for coastal and offshore oil and gas development // *Energy Policy*. 2011. Т. 39. № 12. С. 7719-7725.
4. Анисимов О.А., Лавров С.А. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК // *Технологии ТЭК*. 2004. № 3. С. 78-83.
5. Справка о Комплексном проекте развития СМП [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/orders/selection/405/18405/> (дата обращения: 28.07.2017).
6. Росатом предлагает до 2022 года начать пилотные техпроекты для Арктики // *РИА Новости*, 16.02.2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/atomtec/20150216/1047913756.html> (дата обращения: 28.07.2017).
7. Larsen P. и др. Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change // *Environ. Chang.* 2008.
8. Stern N. The economics of climate change // *American Economic Review*, 2008. С. 1-37.
9. Статистическая информация о социально-экономическом развитии Арктической зоны Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/arc_zona.html (дата обращения: 31.07.2017).
10. Doz C., Giannone D., Reichlin L. A two-step estimator for large approximate dynamic factor models based on Kalman filtering // *J. Econom.* 2011. Т. 164. № 1. С. 188-205.
11. Chade D., Miklis T., Dvorak D. Feasibility study of wind-to-hydrogen system for Arctic remote locations - Grimsey island case study // *Renew. Energy*. 2015. № 76. С. 204-211.
12. Fay G., Udovik N. Factors influencing success of wind-diesel hybrid systems in remote Alaska communities: Results of an informal survey // *Renew. Energy*. 2013. Т. 57. С. 554-557.
13. Tin T. и др. Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica // *Renew. Energy*. 2010. Т. 35. № 8. С. 1715-1723.
14. Попель О.С. и др. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации // *Арктика экология и экономика*. 2015. № 1(17). С. 65-69.
15. Габдерахманова Т.С., Попель О.С., Тарасенко А.Б. Сравнительный анализ электрохимических накопителей энергии // *Альтернативная энергетика и экология*. 2015. № 23. С. 184-195.
16. Попель О.С. и др. Климатические аспекты создания фотоэлектрических светосигнальных устройств на возобновляемых источниках энергии // *Альтернативная энергетика и экология*. 2015. № 10 (174). С. 98-106.
17. Габдерахманова Т.С. и др. Некоторые аспекты развития возобновляемой энергетики в арктической зоне РФ // *Альтернативная энергетика и экология*. 2016. № 19-20. С. 41-53.
18. Габдерахманова Т.С., Шакун В.П. Геоинформационное картографирование ресурсов и объектов возобновляемой энергетики в арктической зоне РФ / *Возобновляемые источники энергии: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и X научной молодежной школы / под ред. С.В. Киселева*. М.: Университетская книга, 2016. С. 348-353.
19. Андреев Т.И., Габдерахманова Т.С., Данилова О.В. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 160 с.
20. Елистратов В.В. Проблемы и решения создания эффективных систем энергоснабжения потребителей Заполярья с использованием инновационных технологий ВИЭ / *Арктика-2017 – II Международная конференция*. М.: Системный консалтинг, 2017. С. 1-41.

Поступила в редакцию
02.08.2017 г.

D.A. Solovyov, M.O. Morgunova, T.S. Gabderakhmanova³

ADAPTATION OF ARCTIC ENERGY INFRASTRUCTURE TO CLIMATE CHANGES USING RENEWABLE ENERGY SOURCES⁴

The paper considers some questions of small-scale and renewable power generation in the Arctic Zone of the Russian Federation in order to find alternative options for energy infrastructure development and adapt existing infrastructure facilities to current and future climate changes.

Key words: Arctic, climate change, resources, power generation, infrastructure, adaptation, renewable energy sources (RES).

⁴ Dmitry A. Solovyov – Senior Researcher at the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS), PhD in Physical and Mathematical Sciences, *e-mail:* solovev@guies.ru;
Mariya O. Morgunova – Junior Researcher at the JIHT RAS, *e-mail:* maymorgunova@mail.ru;
Tatyana S. Gabderakhmanova – Junior Researcher at the JIHT RAS, *e-mail:* tts_91@mail.ru

УДК 332.145 (470+571)

В.И. Зоркальцев, И.В. Мокрый, И.И. Хажеев¹**МНОГОЛЕТНИЕ ВАРИАЦИИ ЗИМНИХ ТЕМПЕРАТУР
ПО РЕГИОНАМ РОССИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Статья посвящена изучению свойств и закономерностей колебаний потребности в топливе за отопительный период. Для определения средней величины отклонения потребности в топливе от среднегожидаемого уровня используется интенсивность колебаний интегральной разности температур. Приводится методика определения вклада синхронных, полусинхронных и асинхронных колебаний интенсивности продолжительности и средней разности температур за отопительный период в колебаниях потребности в топливе. Произведены численные расчеты, сформулирован ряд закономерностей по структуре и характеру отопительного сезона.

Ключевые слова: расход теплоэнергии и топлива на отопление, линейная регрессия, прогнозирование, диапазон отклонений, интенсивность колебаний, синхронность и асинхронность отклонений.

Введение

В силу суровых климатических условия для нашей страны одной из приоритетных задач является обеспечение надежного энергоснабжения населения и предприятий в зимний период. Это, в частности, требует создания специальных резервов и запасов котельно-печного топлива к осеннему периоду. При этом наряду с сезонными запасами, предназначенными для покрытия средних ожидаемых объемов расхода топлива в зимний период, необходимы страховые резервы и запасы для покрытия разного рода возмущений в потреблении, производстве и транспорте топлива. Одним из важнейших факторов в колебаниях топливопотребления являются метеоусловия зимнего периода. Как показывают исследования многолетних рядов наблюдений температур по экономическим районам СССР, в зависимости от того насколько теплая или холодная будет зима (по наблюдавшимся в прошлом ситуациям) расход теплоэнергии и топлива на отопление может изменяться в диапазонах от 25% (холодные регионы России) до 50% (относительно теплые регионы) от расхода при средних метеорологических условиях.

В советское время проблемами регулирования колебаний расхода топлива на отопление, влияния на них метеорологических факторов

исследовались многими учеными-энергетиками СССР, в том числе в работах Л.С. Хрилева, Ю.Я. Мазура, А.С. Некрасова, Т.М. Полянской, М.А. Великанова и др. Создавались нормативы по резервам и запасам в энергоснабжении и ежегодно весной разрабатывалась целая система специальных постановлений правительства и других органов власти о мероприятиях по подготовке к зиме следующего года.

В результате кризиса 1990-х годов в российской экономике и науке исследования по проблеме надежности топливоснабжения, проводившиеся ранее в СССР «широким фронтом», повсеместно были свернуты. Отлаженный и очень необходимый механизм подготовки к зиме перестал работать.

Пока удавалось избегать крупных неприятностей с энергообеспечением. Это объясняется произошедшим в 1990-х годах потеплением климата во всех регионах СССР, а также образовавшимся относительным избытком мощностей в производстве энергоресурсов в результате произошедшего резкого сокращения производственной деятельности. Но все имеет свои пределы.

Исследования по определению рационального состава средств резервирования топлива на случай холодных зим обычно основываются на оценках возможных отклонений расхода топли-

¹ Валерий Иванович Зоркальцев – заведующий лабораторией методов математического моделирования и оптимизации в энергетике ИСЭМ СО РАН, д.т.н., профессор, e-mail: zork@isem.irk.ru;

Игорь Владимирович Мокрый – старший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН, e-mail: ygr@isem.irk.ru;

Иван Ильич Хажеев – аспирант ИСЭМ СО РАН, e-mail: ivan-khazheev@yandex.ru

ва на отопление по данным метеорологических наблюдений прошлых лет. Возможные отклонения оцениваются по многолетним рядам показателя интегральной разности температур внутри и вне здания за отопительный период:

$$B_{\tau}^r = \sum_{\tau=1}^{L_{\tau}^r} (\hat{t} - t_{\tau}), \quad \tau = \overline{1, T^r}, \quad (1)$$

где T^r – количество рассматриваемых отопительных периодов;

r – номер рассматриваемого района, $r = \overline{1, m}$;

L_{τ}^r – продолжительность отопительного периода;

t_{τ} – среднесуточная температура наружного воздуха, определяется на основе метеонаблюдения.

$\hat{t}$ – нормативное значение температуры внутри здания.

В работе [1], как и в некоторых других исследованиях, использовалось нормативное значение 18°C . В нашем случае также будем придерживаться этого значения.

Для определения начала и конца отопительного периода воспользуемся следующим формализованным правилом: если среднесуточная температура в течение 5-ти суток ниже 8°C , то считаем, что отопительный период наступил. Отопительный период считаем законченным, если среднесуточная температура воздуха в этом районе (пункте наблюдения) в течение 5-ти суток выше 8°C .

Интегральная разность температур B_{τ}^r представляет собой произведение продолжительности отопительного периода L_{τ}^r и средней разности температур N_{τ}^r :

$$B_{\tau}^r = L_{\tau}^r \cdot N_{\tau}^r, \quad \tau = \overline{1, T^r}. \quad (2)$$

На основе многолетних рядов показателей интегральной разности температур можно оценивать законы вероятностей различных отклонений потребностей в топливе на отопление. Используя оценки вероятности можно решать задачи оптимизации состава средств резервирования топлива, при которых достигается наи-

меньшее сочетание математического ожидания затрат по резервированию и математического ожидания ущербов от возможной нехватки топлива [7].

Большие экономические потери могут возникнуть не только из-за ситуаций нехватки топлива в холодные зимы, но и из-за ситуаций избытка топлива и мощностей по его производству в теплые зимы. Эффективность системы обеспечения надежности топливоснабжения могла быть повышена, если бы имелись надежные методы заблаговременного прогнозирования метеоусловий предстоящей зимы. К сожалению, таких методов пока нет.

В качестве пунктов наблюдения был выбран ряд городов России. В табл. 1 приведены значения показателей, вычисленные по формуле (1), по выбранным пунктам наблюдений на основе данных, предоставленных Российским гидрометеорологическим порталом [6]. Данные табл. 1, как и последующих, ранжированы в порядке убывания среднесуточной величины интегральной разности температур за отопительный период.

На рис. 1 представлены графики колебаний, показатели интегральной разности температур для отопительных периодов за более чем 100-летние ряды наблюдений в городах Иркутск и Якутск. Эти графики дают наглядное представление о флуктуациях и тенденциях изменения этого показателя.

Видно, что в отклонениях рассматриваемого показателя трудно увидеть какую-либо периодическую закономерность. Вместе с тем изменения этого показателя имеют некоторые тренды. Из изменений значений показателя интегральной разности температур для указанных городов можно сделать вывод, что, начиная с 20-х годов прошлого века имеется некоторая тенденция к потеплению, снижению показателя интегральной разности температур. Это проявляется в сокращении продолжительностей отопительных периодов и в повышении средней температура воздуха за отопительный период.

Из графика для Иркутска и остальных представленных здесь пунктов наблюдений температуры видно, что в первую половину XX в. эта тенденция не была сильно выраженной. Наиболее четко она стала проявляться с 1980-х годов.

Таблица 1

Средние значения интегральной разности температур внутри и вне здания по городам России

Название города	Сроки наблюдения	Количество зим	Среднемноголетняя интегральная разность температур
Якутск	1888-2012	124	9 818,9
Анадырь	1898-2011	113	8 494,2
Магадан	1936-2012	76	7 150,6
Чита	1890-2011	121	7 056,4
Улан-Удэ	1886-2011	125	6 775,5
Иркутск	1882-2011	129	6 315,9
Благовещенск	1881-2012	131	6 249,1
Томск	1881-2012	131	6 242,0
Мурманск	1936-2011	75	5 977,1
Красноярск	1914-2012	98	5 898,9
Сыктывкар	1888-2012	124	5 896,6
Новосибирск	1936-2012	76	5 884,5
Омск	1916-2011	95	5 842,8
Архангельск	1881-2012	131	5 737,7
Тюмень	1936-2011	75	5 660,3
Хабаровск	1952-2012	60	5 660,3
Петропавловск-Камчатский	1894-2011	117	5 351,2
Южно-Сахалинск	1947-2012	65	5 094,3
Петрозаводск	1936-2012	76	5 051,7
Казань	1882-2012	130	5 012,1
Оренбург	1886-2012	126	4 918,8
Владивосток	1917-2012	95	4 532,2
Санкт-Петербург	1881-2011	130	4 344,8
Смоленск	1944-2012	68	4 308,9
Москва	1948-2012	64	4 252,7
Саратов	1936-2012	76	4 237,3
Курск	1891-2012	121	4 154,8
Элиста	1927-2012	85	3 412,9
Калининград	1947-2011	64	3 249,2
Симферополь	1886-2004	118	2 957,6
Махачкала	1882-2012	130	2 299,0

Можно ли считать, что эта тенденция к потеплению будет продолжаться далее? Есть предположения, что приводимые на рис. 1 данные всего лишь часть периодических вековых коле-

баний и в ближайшее время должна произойти смена тенденций. В любом случае представляется полезным готовиться ко всему спектру возможных зим, что мы наблюдали в прошлом.

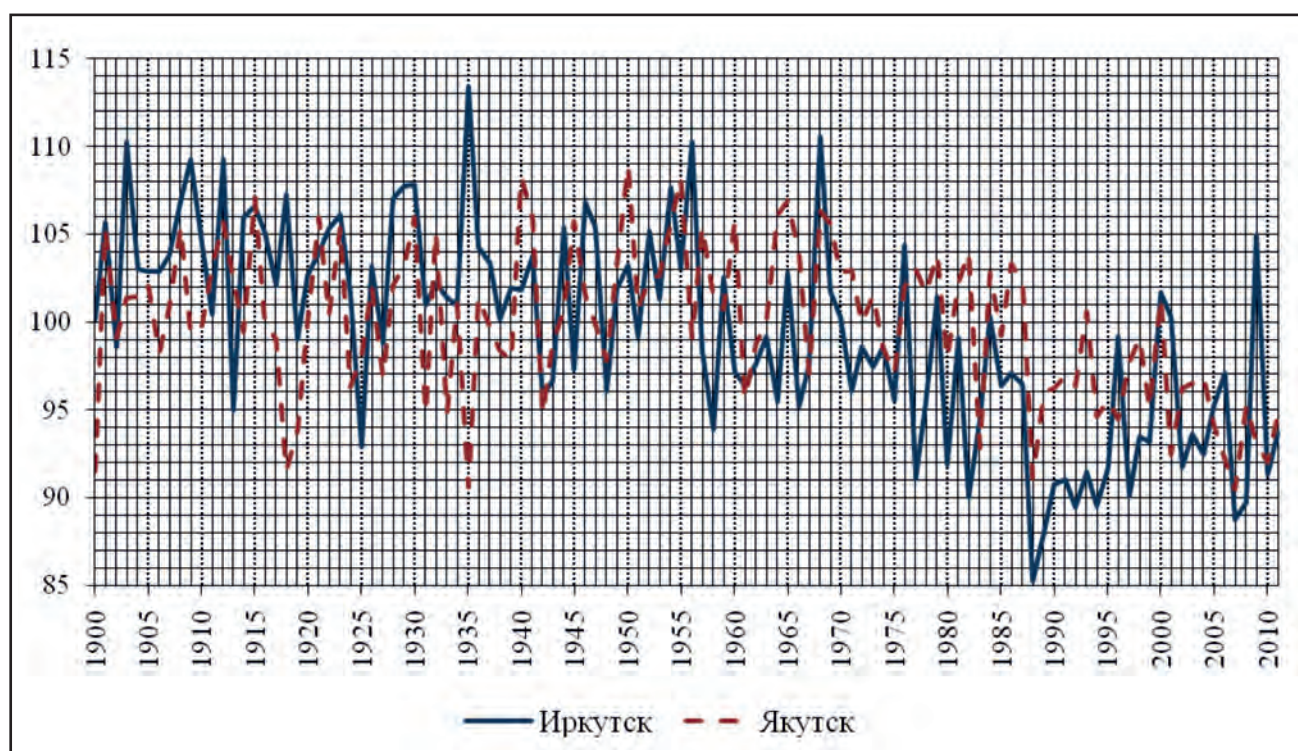


Рис. 1. График отклонений интегральной разности температур по отопительным периодам, в % от среднего значения

Диапазоны отклонений интегральной разности температур внутри и вне здания за отопительный период

где

$$b_{\varepsilon} = \frac{B_{\varepsilon}}{B}, \quad \varepsilon = \overline{1, T}, \quad (5)$$

– диапазон отклонений: $\delta = \delta_{\max} - \delta_{\min}$.

Важной характеристикой возможных отклонений потребности в топливе на отопление является диапазон колебаний – интервал, в пределах которого может изменяться дополнительная потребность в топливе в процентах от среднего ожидаемой в случае холодной или теплой зимы.

Рассмотрим показатели:

– максимальное относительное отклонение потребности в топливе:

$$\delta_{\max} = \max(b_{\varepsilon} - 1), \quad (3)$$

– минимальное относительное отклонение потребности в топливе:

$$\delta_{\min} = \min(b_{\varepsilon} - 1), \quad (4)$$

На рис. 2-4 представлены значения этих показателей по населенным пунктам России.

Можно заметить, что по мере уменьшения интегральной разности температур за отопительный период увеличивается диапазон отклонений от среднемноголетнего значения (рис. 2-4), то есть чем теплее населенный пункт, тем больше диапазон колебаний его климатических показателей.

Города-аутлаеры: Хабаровск, Владивосток, Симферополь и Махачкала – отклонения по ним вызваны влиянием на климат крупных водных объектов, расположенных вблизи этих населенных пунктов.

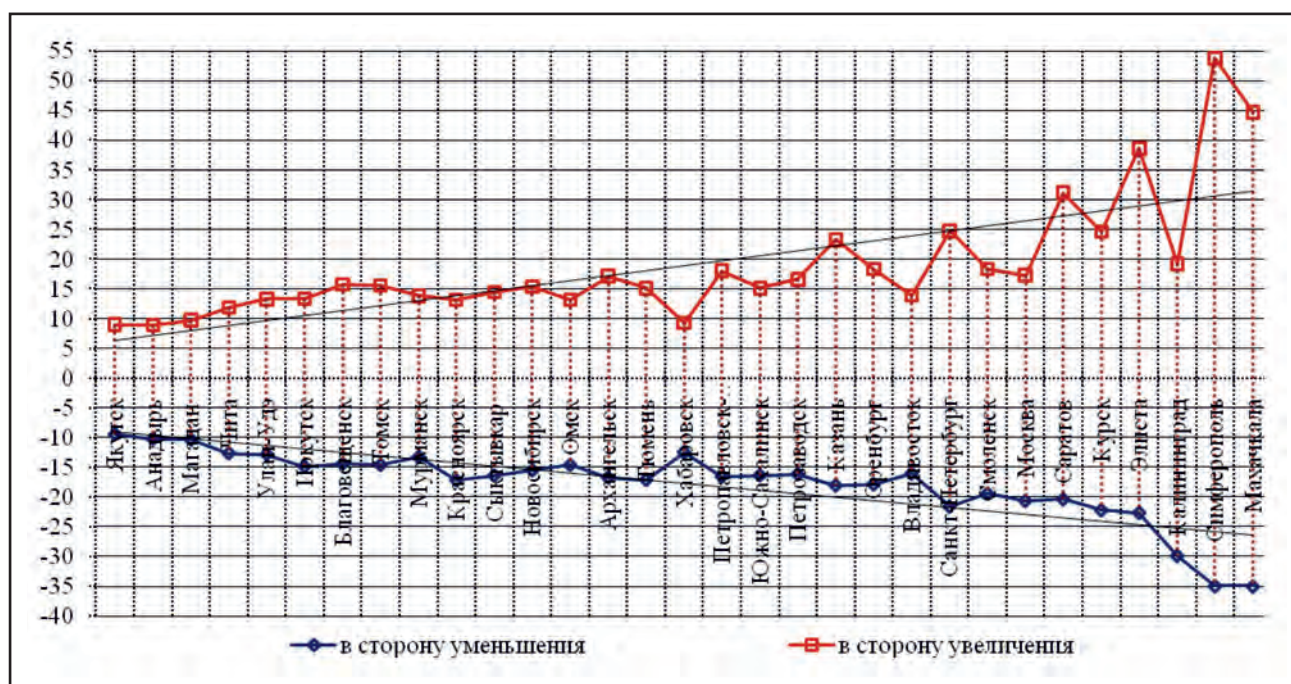


Рис. 2. Максимальные, минимальные отклонения и диапазон отклонений расхода топлива, в % от среднего значения в пунктах наблюдения

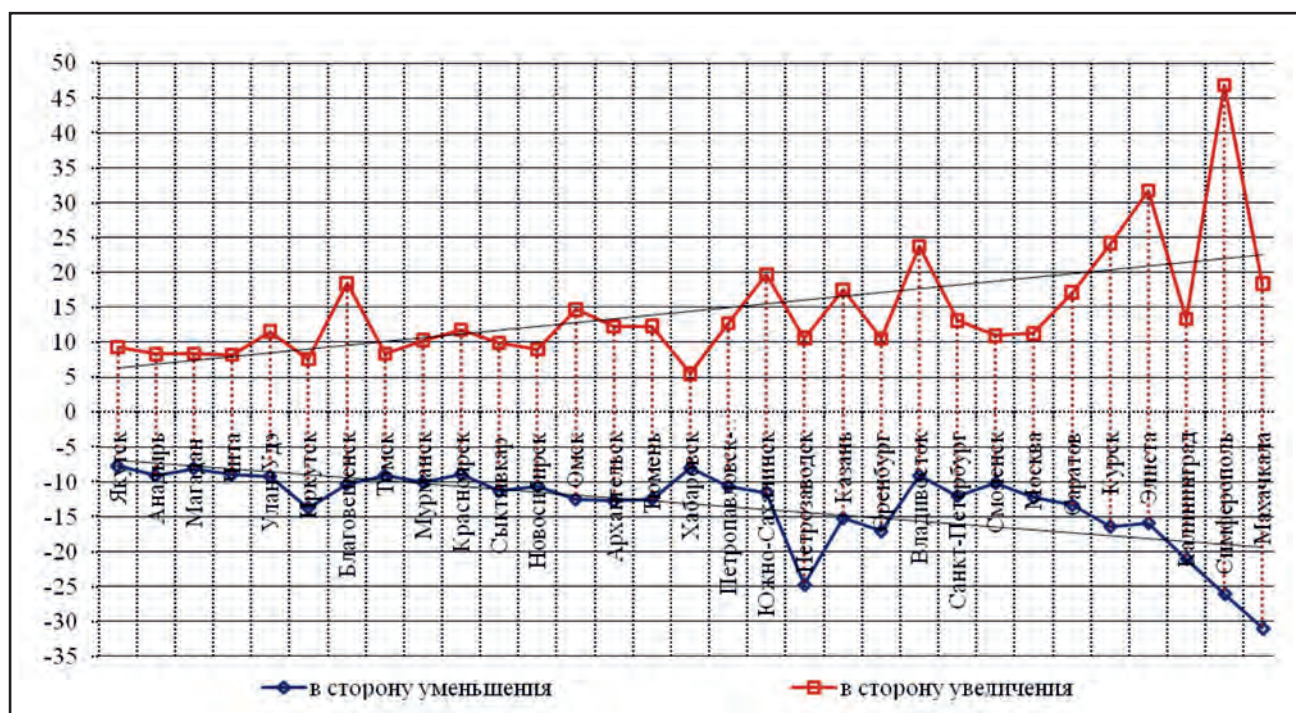


Рис. 3. Максимальные, минимальные отклонения и диапазон отклонений продолжительности отопительного периода, в % от среднего значения в пунктах наблюдения

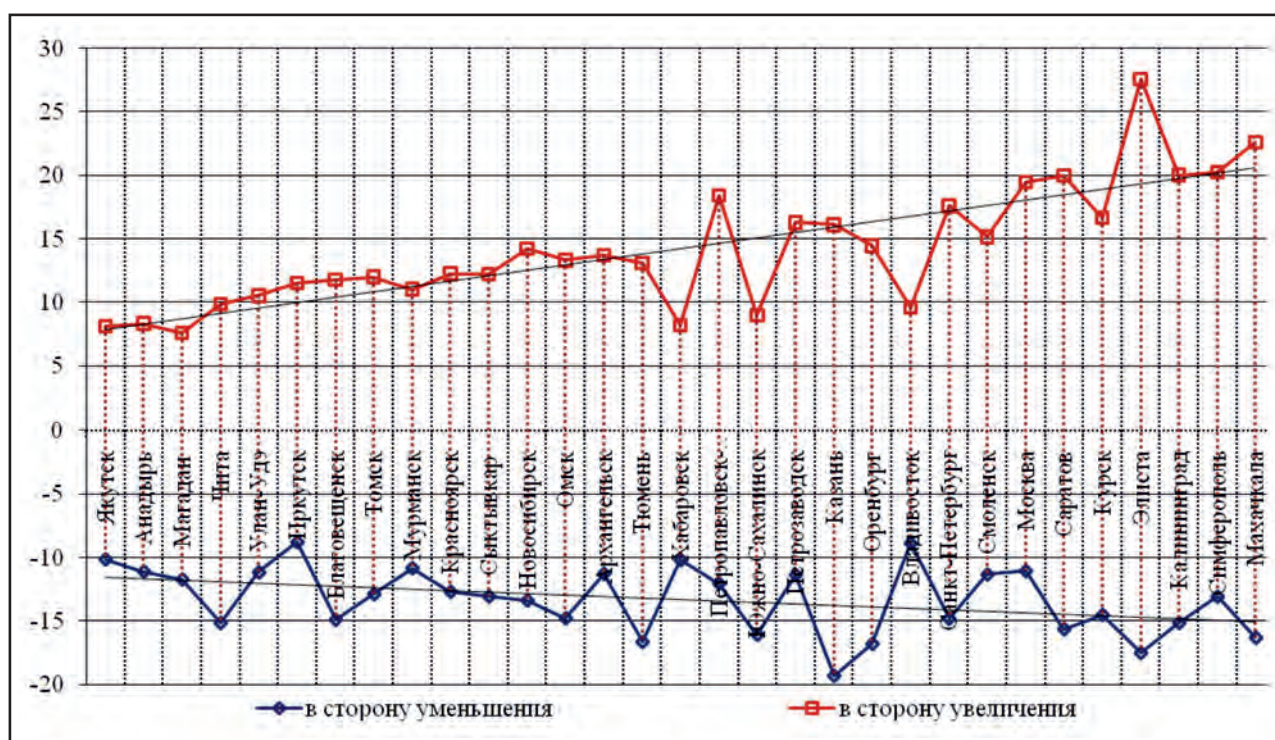


Рис. 4. Максимальные, минимальные отклонения и диапазон отклонений средней за отопительный период разности температур внутри и вне здания, в % от среднего значения в пунктах наблюдения

Вклад в интенсивность колебаний интегральной разности температур, продолжительности и средней разности температур за отопительный период

Рассмотрим методику расчетов вкладов в интенсивность колебаний потребности в топливе на отопление двух факторов. Ими являются колебания продолжительности отопительных периодов и колебания среднезимней разности температур внутри и вне здания (то есть колебания среднезимних температур наружного воздуха).

1. Вычислим средние геометрические значения интегральной разности температур, продолжительности отопительного периода и разности температур внутри и вне здания для B , L , N :

$$\bar{B} = \left(\prod_{\tau=1}^T B_{\tau} \right)^{\frac{1}{T}}, \quad \bar{L} = \left(\prod_{\tau=1}^T L_{\tau} \right)^{\frac{1}{T}}, \quad \bar{N} = \left(\prod_{\tau=1}^T N_{\tau} \right)^{\frac{1}{T}} \quad (6)$$

2. Для выполнения свойства аддитивности удельных весов (вкладов колебаний) средней разности температур и продолжительности отопительного периода в интенсивности колебаний

расхода топлива относительные отклонения представим в логарифмической шкале:

$$b_{\tau} = \ln \left(\frac{B_{\tau}}{B} \right), \quad l_{\tau} = \ln \left(\frac{L_{\tau}}{L} \right), \quad n_{\tau} = \ln \left(\frac{N_{\tau}}{N} \right). \quad (7)$$

3. Находим показатель средней интенсивности колебания:

$$I_b = \exp \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T |b_{\tau}|, \quad I_l = \exp \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T |l_{\tau}|, \quad I_n = \exp \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T |n_{\tau}| \quad (8)$$

Интенсивность колебаний потребности в топливе на отопление показывает, насколько в среднем может отклоняться потребность в топливе от среднеожидаемого уровня.

4. Тогда средняя интенсивность отклонений:

$$\begin{aligned}\overline{I_b} &= (I_b - 1) \cdot 100\%, \\ \overline{I_l} &= (I_l - 1) \cdot 100\%, \\ \overline{I_n} &= (I_n - 1) \cdot 100\%\end{aligned}\quad (9)$$

Интенсивности колебаний расхода топлива на отопление, продолжительности отопительного периода и средней разности температур по городам России за период 1881-2012 гг. представлены в табл. 2, на рис. 5.

Таблица 2

Интенсивности колебаний расхода топлива на отопление, продолжительности отопительного периода и средней разности температур по городам России

Название города	Интенсивности колебаний, в т.ч.		
	расхода топлива на отопление	продолжительности отопительного периода	средней разности температур
Якутск	3,76	2,40	3,29
Анадырь	4,13	3,44	3,77
Магадан	3,75	2,56	2,77
Чита	4,30	2,55	3,47
Улан-Удэ	4,66	2,74	3,60
Иркутск	4,93	2,68	3,81
Благовещенск	5,79	3,83	4,15
Томск	4,99	3,19	4,51
Мурманск	5,63	3,40	3,99
Красноярск	10,06	9,34	5,06
Сыктывкар	5,70	3,51	4,44
Новосибирск	5,60	3,29	4,95
Омск	5,52	4,02	5,22
Архангельск	6,27	3,72	4,50
Тюмень	5,58	3,97	4,72
Хабаровск	4,31	2,97	3,48
Петропавловск-Камчатский	7,54	4,62	3,74
Южно-Сахалинск	4,96	3,45	3,31
Петрозаводск	7,51	4,47	5,27
Казань	6,96	4,75	4,95
Оренбург	6,80	4,34	5,24
Владивосток	4,63	3,28	3,24
Санкт-Петербург	8,38	4,98	5,38
Смоленск	8,04	4,64	5,45
Москва	7,94	4,70	5,31
Саратов	9,20	5,30	6,36
Курск	7,92	5,09	5,74
Элиста	11,29	6,27	7,10
Калининград	9,41	5,27	6,39
Симферополь	18,21	15,09	4,58
Махачкала	11,86	7,20	6,12

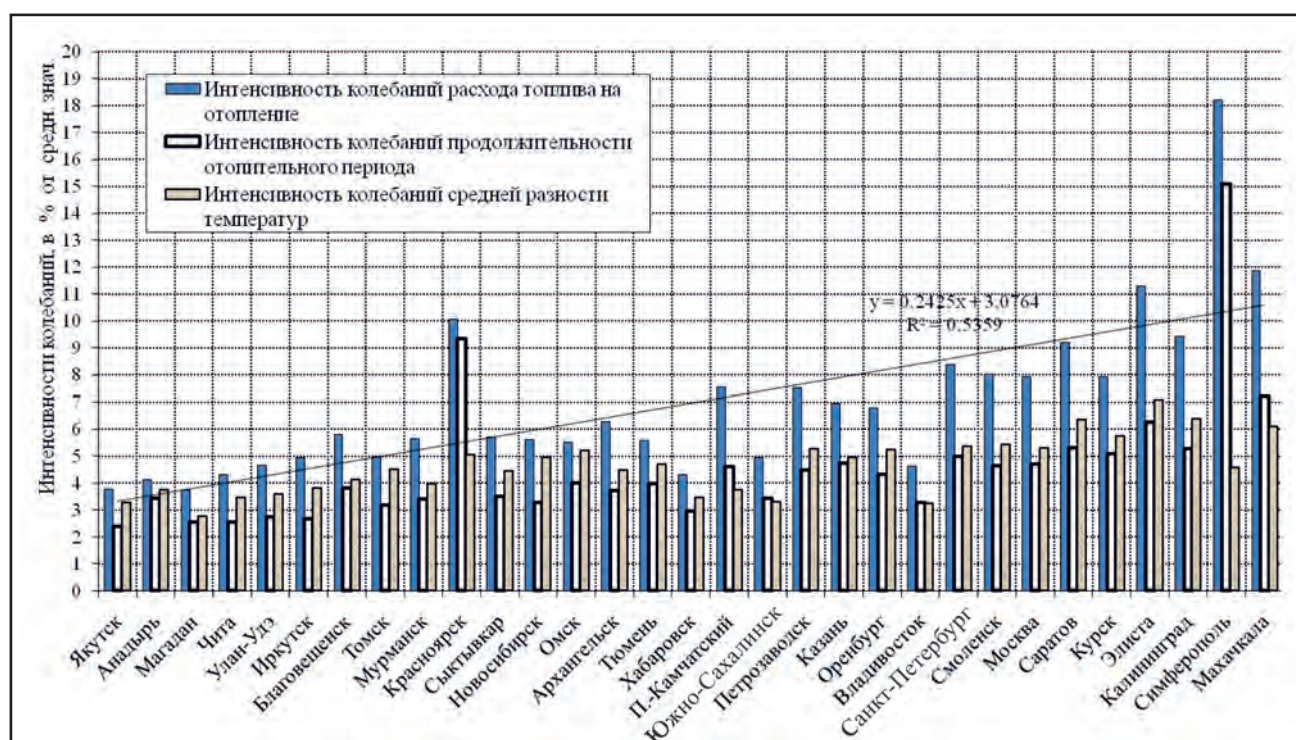


Рис. 5. Интенсивности колебаний расхода топлива на отопление, продолжительности отопительного периода и средней разности температур по городам России

Из рис. 5 видно, что потребность в топливе для Иркутска отклоняется в среднем на 4,93% от среднего уровня потребления, продолжительность отопительного периода на 2,68%, а средняя разность температур на 3,81% от среднего ожидаемого уровня.

Поскольку населенные пункты на рис. 5 ранжированы в порядке убывания интегральной разности температур внутри и вне здания, и в ней представлены интенсивности колебаний потребности в топливе на отопление, то это позволяет выдвинуть и сформулировать гипотезу – чем теплее населенный пункт, тем выше интенсивность колебаний.

На рис. 5. наблюдаем отрицательную корреляционную зависимость между интегральной разностью температур за отопительный период и интенсивностью колебаний расхода топлива на отопление, то есть чем ниже интегральная разность, тем выше интенсивность колебаний расхода топлива. Основное отклонение возникает по г. Симферополь – объясняется большим диапазоном колебаний потребности в топливе (см. рис. 2). В общем случае гипотеза справедлива. Для более точного определения справед-

ливости гипотезы в дальнейшем предполагается увеличить количество пунктов наблюдения.

Синхронность и асинхронность отклонений

Рассмотрим вклад факторных (синхронных, полусинхронных и асинхронных) колебаний средней разности температур и продолжительности отопительного периода, характеризующих потребность в топливе.

Введем функцию от относительных отклонений:

$$\mu(\alpha) = \begin{cases} -1, & \alpha < \varepsilon, \\ 0, & \alpha \in [-\varepsilon; \varepsilon], \\ 1, & \alpha > \varepsilon, \end{cases} \quad (10)$$

где ε – заданный уровень погрешности. Пусть

$$\begin{aligned} K_L &= \{t: \mu(l_t) \cdot \mu(b_t) > 0\}, & K_N &= \{t: \mu(n_t) \cdot \mu(b_t) > 0\}, \\ \overline{\overline{K}}_L &= \{t: \mu(l_t) \cdot \mu(b_t) = 0\}, & \overline{\overline{K}}_N &= \{t: \mu(n_t) \cdot \mu(b_t) = 0\}, \\ \overline{K}_L &= \{t: \mu(l_t) \cdot \mu(b_t) < 0\}, & \overline{K}_N &= \{t: \mu(n_t) \cdot \mu(b_t) < 0\}, \end{aligned} \quad (11)$$

где K_L, K_N – множества номеров отопительных периодов, когда продолжительность и средняя разность температур отклоняются синхронно (одновременно с интегральной разностью температур); $\overline{K_L}, \overline{K_N}$ – множества номеров отопительных периодов, когда наши показатели отклоняются полусинхронно; $\overline{\overline{K_L}}, \overline{\overline{K_N}}$ – отклоняются асинхронно.

Индексы синхронных (S), полусинхронных (M) и асинхронных (A) колебаний будут иметь вид:

$$\begin{aligned} I_L^S &= \exp\left(\frac{1}{T} \sum_{\tau \in K_L} |l_\tau|\right), & I_L^M &= \exp\left(\frac{1}{T} \sum_{\tau \in \overline{K_L}} |l_\tau|\right), & I_L^A &= \exp\left(\frac{1}{T} \sum_{\tau \in \overline{\overline{K_L}}} |l_\tau|\right) \\ I_N^S &= \exp\left(\frac{1}{T} \sum_{\tau \in K_N} |n_\tau|\right), & I_N^M &= \exp\left(\frac{1}{T} \sum_{\tau \in \overline{K_N}} |n_\tau|\right), & I_N^A &= \exp\left(\frac{1}{T} \sum_{\tau \in \overline{\overline{K_N}}} |n_\tau|\right) \end{aligned} \quad (12)$$

Вклад факторных колебаний в потребность в топливе можно определить в виде:

$$\begin{aligned} \overline{\delta}_L^S &= \frac{\ln(I_L^S \cdot I_L^M)}{\ln(I_b)}, \\ \overline{\delta}_N^S &= \frac{\ln(I_N^S \cdot I_N^M)}{\ln(I_b)}, \\ \overline{\delta}^S &= \overline{\delta}_L^S + \overline{\delta}_N^S, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \overline{\delta}_L^A &= \frac{\ln(I_L^A \cdot I_L^M)}{\ln(I_b)}, \\ \overline{\delta}_N^A &= \frac{\ln(I_N^A \cdot I_N^M)}{\ln(I_b)}, \\ \overline{\delta}^A &= \overline{\delta}_L^A + \overline{\delta}_N^A. \end{aligned} \quad (14)$$

Результаты численных расчетов по формулам (13), (14) представлены в табл. 3.

Синхронные колебания участвуют в формировании интенсивности с положительным знаком, полусинхронные на знак не влияют (можно учитывать с «+»), асинхронные колебания с отрицательным знаком. Значение индексов синхронных колебаний значительно больше, чем асинхронных. Полусинхронные индексы отсутствуют, поскольку при вычислениях было принято $\varepsilon = 0$.

Вклад синхронных колебаний продолжительности отопительного периода, в среднем более чем в 10 раз превышает вклад его асинхронных колебаний. Синхронные колебания средней разности температур вносят вклад в потребность в топливе в среднем в 8 раз больше, чем асинхронные колебания средней разности температур. В то время как общий вклад синхронных колебаний продолжительности отопительного периода и средней разности температур превышает общий вклад асинхронных колебаний в среднем более чем в 7 раз.

Таблица 3

Удельные веса синхронных и асинхронных колебаний продолжительности отопительного периода и среднезимних температур в интенсивности колебаний потребности в топливе на отопление по городам России

Название города	Удельные веса факторных колебаний продолжительности отопительного периода и средней разности температур в колебаниях потребности в топливе на отопление, %			
	I_L^S	I_L^A	I_N^S	I_N^A
Якутск	49,3	-15,0	76,7	-11,0
Анадырь	67,7	-15,8	69,8	-21,6
Магадан	56,9	-11,8	64,6	-9,6
Чита	46,9	-12,9	73,6	-7,6
Улан-Удэ	46,7	-12,5	71,7	-5,9

Название города	Удельные веса факторных колебаний продолжительности отопительного периода и средней разности температур в колебаниях потребности в топливе на отопление, %			
	I_L^S	I_L^A	I_N^S	I_N^A
Иркутск	44,3	-10,7	72,0	-5,7
Благовещенск	59,0	-7,8	60,5	-11,8
Томск	43,6	-20,8	83,8	-6,6
Мурманск	52,2	-9,0	64,1	-7,3
Красноярск	88,2	-4,9	34,1	-17,4
Сыктывкар	51,4	-10,8	68,9	-9,5
Новосибирск	47,7	-11,7	76,4	-12,4
Омск	52,9	-20,4	81,1	-13,6
Архангельск	50,9	-9,2	65,4	-7,0
Тюмень	51,0	-20,8	77,3	-7,6
Хабаровск	55,9	-13,6	69,4	-11,7
П.-Камчатский	58,6	-3,5	47,7	-2,8
Южно-Сахалинск	62,5	-7,6	56,1	-11,0
Петрозаводск	51,3	-9,0	64,3	-6,6
Казань	59,3	-9,6	61,1	-10,8
Оренбург	50,6	-14,0	70,5	-7,2
Владивосток	62,7	-8,7	58,3	-12,3
Санкт-Петербург	53,7	-6,8	59,1	-6,0
Смоленск	51,1	-7,6	62,6	-6,0
Москва	51,9	-8,3	62,1	-5,7
Саратов	51,0	-7,7	63,4	-6,6
Курск	56,9	-8,3	62,3	-10,9
Элиста	53,0	-3,8	57,5	-6,6
Калининград	49,5	-7,6	63,5	-5,4
Симферополь	83,2	-0,8	22,2	-4,6
Махачкала	59,4	-2,6	48,1	-4,9

Выводы

На основе произведенных в данной статье расчетов можно сформулировать следующие выводы:

1. Для пунктов наблюдений с меньшей интегральной разностью температур за отопительный период увеличивается диапазон отклонений от среднеемноголетнего значения, то есть чем теплее населенный пункт, тем больше диапазон колебаний расходов теплоэнергии и топлива на отопление в зависимости от метеоусловий отопительного периода.

2. При переходе от населенных пунктов с холодными зимами к пунктам с более теплым зимами возрастает интенсивность колебаний расходов топлива на отопление в зависимости от метеоусловий отдельных зим.

3. Вклад синхронных отклонений среднезимних температур и продолжительностей отопительных периодов в колебания потребности в топливе на отопление за весь отопительный период значительно превышает асинхронные отклонения этих двух факторов. Это, в частности, подтверждает интуитивно ожидавшееся предположение, что более ранние зимы чаще (хотя и не всегда) и более холодные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зоркальцев В.И. Многолетние колебания температур и проблема надежности топливоснабжения. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – 84 с.
2. Хрилев Л.С. О влиянии климатического фактора на перспективную структуру топливно-энергетического баланса. // Теплоэнергетика. – 1966. – № 2. – С.16-26.
3. Мазур Ю.Я. Проблемы маневренности в развитии энергетики. М.: Наука, 1986. – 94 с.
4. Некрасов А.С., Великанов М.А., Горюнов П.В. и др. Надежность топливоснабжения электростанций. Методы и модели исследований. М.: Наука, 1990. – 198 с.
5. Великанов М.А., Некрасов А.С., Резниковский А.Ш. Оценка асинхронности многолетних колебаний расходов топлива под воздействием геофизических факторов // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1988. – № 2. – С. 181-187.
6. Российский гидрометеорологический портал. URL: <http://meteo.ru/>.
7. Зоркальцев В.И. Методы прогнозирования и анализа эффективности функционирования системы топливоснабжения. М.: Наука, 1988. – 144 с.

Поступила в редакцию
20.07.2017 г.

V.I. Zorkaltsev, I.V. Mokry, I.I. Khazheev²

MULTI-YEAR VARIATIONS IN WINTER TEMPERATURES BY RUSSIAN REGIONS AND THEIR INFLUENCE ON ENERGY SUPPLY SECURITY

The article studies the properties and regularities of fuel demand variations in the heating period. The average deviation of fuel demand from the expected average level is determined using the variation rate of integral temperature difference. The paper provides a method to identify the effect of synchronous, semi synchronous and asynchronous variations in the rate, duration and average difference of temperatures during the heating period on the fuel demand variations. Numerical calculations are made and a number of regularities are specified for the structure and nature of the heating season.

Key words: thermal energy and fuel consumption for heating, linear regression, forecasting, deviation range, variation rate, synchrony and asynchrony of deviations.

² Valery I. Zorkaltsev – Head of the Laboratory for Mathematical Modeling and Optimization Methods in Power Industry at the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Full Professor, e-mail: zork@isem.irk.ru;
Igor V. Mokry – Senior Researcher at the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, e-mail: ygr@isem.irk.ru;
Ivan I. Khazheev – postgraduate student at the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, e-mail: ivan-khazheev@yandex.ru

УДК 620.9:502.3 (005)

Е.П. Майсюк¹

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Рассматриваются основные экологические принципы, которые служат исходными положениями в методах оценки эффективности природоохранных мероприятий. Эти методы можно ранжировать в зависимости от поставленных задач. Особенности методов оценки эффективности природоохранных мероприятий связаны с необходимостью определения не только экономической эффективности, но и экологической. При выборе метода оценки эффективности природоохранных мероприятий в энергетике наиболее привлекательными, по мнению автора, являются методы как количественного, так и качественного анализа эффективности.

Ключевые слова: экологические оценки, энергетика, воздействие на окружающую среду, природоохранные мероприятия, эффективность, ущерб, плата за выброс.

Введение

Проведение и внедрение природоохранных мер зачастую является высокочрезвычайно затратным мероприятием и, соответственно, обоснование предполагает заблаговременную оценку их эффективности. В настоящее время применяются различные методы оценки эффективности природоохранных мероприятий, основанные на ряде экологических принципов. Принципы определяют исходные положения предмета исследования (эффективность природоохранных мероприятий) и позволяют описать его свойства [1]. К основным принципам можно отнести:

- сочетание экологических, экономических и социальных интересов государства, населения и бизнеса для обеспечения благоприятной окружающей среды;
- приоритетность сохранения естественных экосистем путем рационального использования природных благ;
- системность при проведении природоохранной деятельности как на локальном, так и глобальном уровнях;
- научная обоснованность с целью использования передовых научных достижений при принятии решений в природоохранной деятельности;
- информационная открытость, доступность и возможность вовлечения граждан в сферу охраны окружающей среды;

- готовность населения платить за услуги, товары и проживание в благоприятных условиях природной среды.

В современном мире необходимо соблюдать принцип экономической ответственности производителей продукции за загрязнение и компенсацию ущерба населению и окружающей среде. Таким образом, оценка и обоснование применения природоохранных мероприятий – это сложная комплексная задача, для решения которой в настоящее время существуют как общие (обобщенные), так и специфические методы.

Постановка проблемы исследования

В настоящее время разработаны разные методы оценки эффективности, в том числе и природоохранных мероприятий. Существуют методы, которые просты и пригодны для проведения оценок в различных отраслях хозяйства, также имеются и специфические методы для отдельных предприятий. Систематизируя их, следует отметить, что в одном случае критерием эффективности является максимизация возможной прибыли от использования природоохранных мероприятий, в другом – минимизация затрат и экономия средств. Однако особенность оценок эффективности природоохранных мероприятий в том, что наряду с экономическим эффектом нужно учитывать и экологический, который необходимо определить в денежном выражении. В данной постановке задачи понятие прибыль

¹ Елена Петровна Майсюк – старший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН, к.э.н., e-mail: maysyuk@isem.irk.ru.

нужно рассматривать не только как экономическую категорию, но и экологическую, связанную с прибылью от улучшения качества природной среды, здоровья населения и пр.

Таким образом, возникает проблема выбора или определения такого метода, который наиболее полноценно позволит оценить эффективность природоохранных мероприятий с учетом того, что в данном исследовании такой выбор необходимо провести применительно к энергетике.

Систематизация методов оценки эффективности природоохранных мероприятий

Методы оценки эффективности природоохранных мероприятий можно сгруппировать по таким аспектам, как: региональные (муниципальные, городские и локальные), отраслевые (соответственно, присущие отдельным сферам деятельности), по возможности снижения воздействия на тот или иной элемент природной среды (атмосфероохранные, водозащитные и т.д.). Так, региональные методы связаны с оценкой эффективности мероприятий снижения негативного воздействия на природную среду при их реализации на действующих предприятиях отдельного региона (муниципалитета, города или конкретного предприятия). Отраслевые – ориентированы на специфические природоохранные мероприятия, характерные только для конкретной отраслевой деятельности, например, устранение специфических загрязняющих веществ или радиоактивных отходов. Оценка эффективности мероприятий для отдельно взятого элемента природной среды: атмосферы, водных объектов, почв, растительного и/или животного мира предполагает некое ранжирование, связанное с выявлением наибольшего негативного воздействия на конкретный элемент природной среды, и учет вида хозяйственной деятельности. Так, в угольной промышленности наибольшее внимание уделяется мерам по устранению отходов производства и потребления, рекультивации земель, в нефтехимической, целлюлозно-бумажной промышленности – водоочистным мероприятиям, в теплоэнергетике – атмосфероохранным мерам.

Существуют методы количественной оценки и качественного анализа. При этом оценку эффективности природоохранных мер можно проводить как с учетом фактора времени, так и без него. Без учета времени оценка ведется на основе средних за инвестиционный период экономических показателей. К таким относятся методы текущих затрат, чистой прибыли, рентабельности, простого срока окупаемости.

Методы оценки эффективности природоохранных инвестиций без учета фактора времени довольно просты, широко применяются на практике для сравнения и выбора наиболее целесообразного варианта из набора альтернативных природоохранных мероприятий. Важным недостатком этих методов является отсутствие учета изменения затрат и выгод с течением времени (именно фактора времени), их возможное обесценивание.

Как правило, инвестиции и срок их вложения в природоохранные мероприятия достаточно значительны и продолжительны, соответственно, оценить эффективность вложения средств в начальном, а результат – в конечном периоде достаточно сложно из-за экономической неравнозначности. В этом случае используются методы приведения или дисконтирования, к которым относятся: оценка абсолютной эффективности капиталовложений в природоохранные меры, метод приведенных затрат, расчеты чистого дисконтированного дохода, индекс результативности от реализации мероприятий и др. Применительно к охране окружающей природной среды поток денежной наличности должен формироваться с учетом показателей предотвращенного ущерба природной среде [2, 3]. В целом же эффективность носит оценочный характер. Все зависит от того, какая цель должна быть достигнута в результате природоохранной деятельности.

Зачастую, в качестве методов оценки эффективности природоохранных мероприятий предлагается использовать унифицированные методы обоснования инвестиционных проектов, например, широко применяется в международной практике методика ЮНИДО (UNIDO), разработанной Организацией Объединенных Наций по промышленному развитию [4]. Общими критериями оценки эффективности являются

финансовая состоятельность и экономическая оценка.

В нашей стране используются различные методики определения экономической эффективности капитальных вложений, в том числе в природоохранные мероприятия. Основные принципы этих методик были разработаны академиком Т.С. Хачатуровым в 90-е годы XX в. [5]. В качестве затрат принимается показатель капитальных вложений, который сопоставляется с эффектом от этих затрат. Полученный в результате коэффициент уже сопоставляется с нормативным коэффициентом, на основе чего делается вывод об эффективности проекта.

Исходя из существующего понятия эффективности, как меры выполненной работы по отношению к затраченной энергии при достижении намеченного результата, в большинстве случаев требуется получение прибыли (максимизация доходов) или окупаемости затрат на мероприятия, в некоторых других – минимизации убытков (экономия средств). Зачастую для природоохранных мероприятий именно экономия средств и минимизация убытков выступают основными критериями эффективности.

Оценка эффективности применения природоохранных мероприятий в различных отраслях предполагает две составляющие: экологическую эффективность и экономическую. Экологическая эффективность предполагает получение экологического эффекта за счет применения природоохранных мер, а именно – величину снижения выбросов/сбросов, отходов, то есть уменьшение воздействия на природную среду. Экономическая же эффективность связана с экономическим обоснованием инвестиций на реализацию этих мер, которые сопряжены со значительными материальными и капитальными затратами и необходимостью сопоставления результатов в соизмеримых единицах.

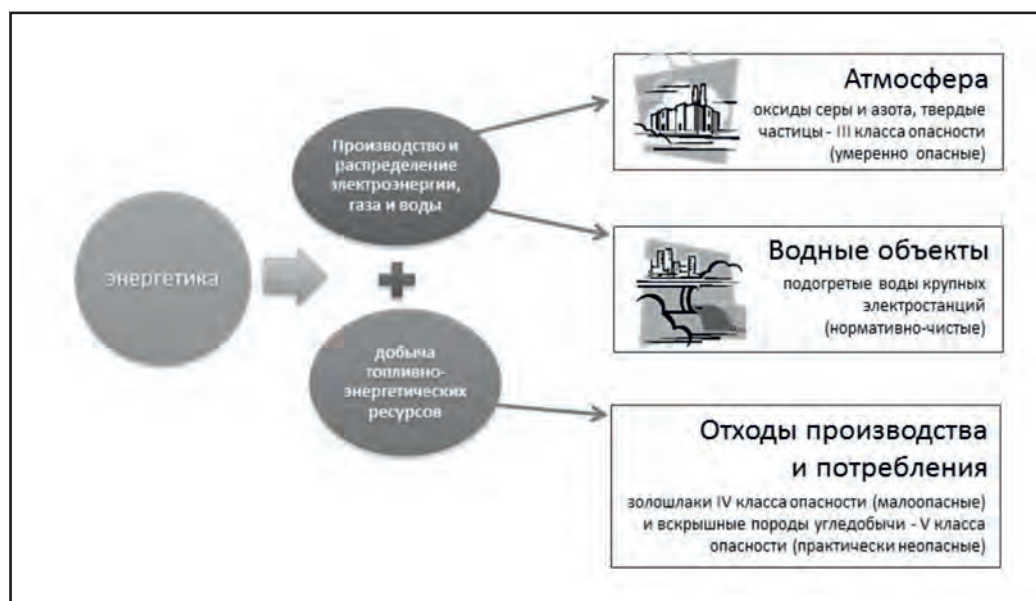
Существует понятие максимальной эффективности, которая достигается при максимальном результате и минимальных затратах. С природоохранными мероприятиями во многих отраслях экономики, в том числе и в энергетике, максимальную эффективность получить невозможно, поскольку имеют место различные нематериальные (экологические, социальные) эффекты в результате вложения средств.

Эффект природоохранных мероприятий выражается в виде предотвращенных потерь, возникающих в результате загрязнения, причем не только на предприятии, но и территории, где это воздействие снижено и охватывает не только элементы природной среды, но и социальную сферу (снижение заболеваемости, улучшение условий труда и пр.) [6]. Экономические результаты, таким образом, проявляются как экономия затрат в непродуцированной сфере. Сложность количественной оценки социальных эффектов сказывается на том, что методики оценки эффективности природоохранных мероприятий не имеют юридической силы, а оценки здоровья населения, качества элементов природной среды и величины предотвращенных ущербов в денежном выражении не отражают реальной действительности.

Кроме того, имеют место методы качественного анализа, которые включают качественные характеристики, учитывающие специфические особенности как производственной сферы, так и особенности природной среды, где предприятия производят готовую продукцию. Эти методы дополнены, как правило, экологическими и социальными показателями, такими как опасность или агрессивность вещества, поступающего в природную среду, емкость среды, заболеваемость населения в результате загрязнения и пр. Методы качественного анализа требуют в каждом отдельном случае разрабатывать свою детальную систему показателей. Для оценки эффективности методом качественного анализа проводится расчет выбранных экспертным путем показателей эффективности природоохранных мероприятий, а затем их комплексный анализ.

Методы оценки эффективности природоохранных мероприятий в энергетике

На современном этапе унифицированные методы оценки эффективности природоохранных мероприятий в энергетике отсутствуют. В связи с особенностями воздействия объектов энергетики на природную среду, когда наибольшее негативное воздействие оказывается на атмосферу (см. рисунок), основное внимание уделяется воздухоохраным мероприятиям и оценке их эффективности.



Воздействие энергетики на элементы природной среды

К методам оценки эффективности таких мероприятий в энергетике и утвержденным на государственном уровне относятся разработанные еще в 1982 г. «Временные методические указания по расчету экономической эффективности мероприятий по защите воздушного бассейна от вредных выбросов с дымовыми газами от тепловых электростанций и котельных» [7]. Эти указания устанавливают единый принцип расчета экономического эффекта от внедрения и использования природоохранных мероприятий, направленных на сокращение или предотвращение вредных выбросов в атмосферу. Такие мероприятия выделяются из энергетического производства и рассматриваются самостоятельно в рамках общих требований к оценке экономической эффективности в энергетике.

Внедрение на энергетических предприятиях природоохранных мероприятий вызывает [7]:

- изменение технико-экономических показателей производства энергии;
- получение дополнительной товарной продукции из веществ, уловленных в процессе снижения вредных выбросов;
- снижение народнохозяйственного ущерба от загрязнения атмосферы.

Эффект представляет собой суммарную экономию затрат и основывается на сопоставлении приведенных затрат по базовому и рассматриваемому варианту. За базовый вариант в упомя-

нутых методических указаниях принимаются показатели наиболее экономичного существующего технического решения поставленной экологической задачи.

Как и во многих методах, критерием является минимум приведенных затрат или срока окупаемости. При сравнении различных вариантов необходимо выполнять следующие условия сопоставимости [7]:

- по энергетическому эффекту;
- объему и ассортименту продукции в результате сокращения выбросов;
- экологическим последствиям окружающей среде;
- достоверности исходной информации.

Основной проблемой в данных указаниях являются затруднения связанные с расчетом снижения народнохозяйственного ущерба от загрязнения атмосферы из-за отсутствия достоверной исходной информации о состоянии среды до и после проведения природоохранных мероприятий, а также стоимостных показателей удельного ущерба.

В настоящее время при функционировании и развитии энергетики оценка экологической эффективности сведена к определению размеров платы и штрафов за выбросы, сбросы и отходы предприятий. За основу принято стимулирующее воздействие платы к снижению антропогенного воздействия (чем меньше выброс, тем ниже

плата). К сожалению, в настоящее время ни платежи, ни штрафы должным образом не играют роль стимула, а воспринимаются как необходимый налог, который энергопредприятие выплатит и продолжит свою работу без снижения поступления загрязняющих веществ в природную среду. Даже если сравнить платежи и штрафы за превышение норм эмиссии загрязняющих веществ в природную среду с прибылью предприятия, то эти показатели имеют достаточно

низкие значения. Как правило, они оцениваются за определенный период (год) и даже в сумме не превышают 1% от прибыли энергопредприятий, а затраты на охрану окружающей среды этими же предприятиями составляют не выше 8-10% [8-9]. Стимулирующая роль платежей может возникнуть в случае, если они будут соразмерны с затратами на природоохранные мероприятия с учетом фактора времени и сопоставимы с прибылью (или доходами) предприятия. Плата

Целесообразные показатели эффективности природоохранных мероприятий в энергетике (определяются экспертно)

Показатели эффективности	Целесообразность применения	
	да (+)	нет (-)
<i>Производительность труда от внедрения природоохранных мероприятий</i>		
темпы прироста производительности труда		—
экономия численности работников	+	
экономия затрат труда в целом		—
экономия фонда заработной платы	+	
<i>Эффективность производства от внедрения природоохранных мероприятий</i>		
прирост чистой, товарной продукции и прибыли	+	
темпы прироста эффективности производства продукции		—
снижение издержек производства		—
производство новых видов продукции	+	
эффективность капитальных вложений		—
минимум приведенных затрат		—
рентабельность производства	+	
срок окупаемости		—
чистый дисконтированный доход*	+	
<i>Эффективность работы основных фондов от внедрения природоохранных мероприятий</i>		
экономия затрат на амортизацию	+	
прирост прибыли и товарной продукции за счет экономии затрат на амортизацию		—
<i>Эффективность использования материальных ресурсов от внедрения природоохранных мероприятий</i>		
повышение материалоотдачи при производстве продукции		—
снижение материальных затрат	+	
прирост чистой, товарной продукции и прибыли за счет повышения материалоотдачи и снижения материальных затрат		—
<i>Эффективность внедрения инновационных технологий</i>		
темпы прироста эффективности от внедрения новой техники, или эффективности от внедрения новой техники, или снижение себестоимости		—
прирост выпуска товарной, чистой продукции за счет эффективного внедрения новой техники	+	

Примечание: * — в качестве коэффициента дисконтирования используется нормативный коэффициент приведения, принятый в соответствии с отраслевыми методиками. Часто предлагается использовать процент банковской ставки, что согласуется и с международными методами, предложенными ЮНИДО.

за выброс вместо внедрения новых технологий снижения/устранения эмиссии в природную среду должна выступать в качестве компенсационной меры за ущерб, причиняемый этой же природной среде. При этом корректно рассчитать ущерб достаточно сложно, хотя в настоящее время разработано много различных способов, в том числе и утвержденная государством методика расчета величины ущерба [5-7]. Поэтому вопросы экологических ограничений и соблюдение норм на выброс, сброс и отходы остаются актуальными. Здесь можно взять ориентир на мировые нормы, которые достигаются при использовании передовых технологий предотвращения вредных воздействий, и тогда затраты на технологии по устранению выбросов (сбросов) могут выступать в качестве предотвращенного ущерба природной среде. Однако эти затраты тоже не должны превышать прибыль, получаемой энергообъектом. Таким образом, возникает задача оптимизации прибыли и затрат на реализацию природоохранных мероприятий.

С точки зрения применения природоохранных мер в энергетике и оценки их эффективности наиболее приемлемой является интеграция методов количественных оценок в методы качественного анализа с использованием сразу нескольких (набора) показателей эффективности. Выбор тех или иных показателей осуществляется экспертом и связывается с минимизацией убытков от внедрения средозащитных мер. В таблице представлен возможный набор показателей, которые целесообразно применить к энергетике. Для оценки эффективности природоохранных мероприятий проводятся: расчет выбранных показателей (помеченных (+) в табл.) и комплексный анализ полученных результатов.

С позиций увеличения прибыли в энергетическом производстве целесообразно рассматривать инновационные технологии: использование газотурбинных установок, возобновляемых источников энергии, замещение угля на экологически чистые виды топлива (древесное топливо, природный газ), и тогда в понятие прибыль можно заложить экологические и социальные показатели.

Целесообразность использования того или иного показателя объясняется тем, что в результате внедрения современных природоохранных мероприятий имеет место экономия затрат

труда, прирост прибыли происходит за счет снижения издержек производства продукции, экономия численности работников при использовании современного оборудования, снижение затрат, возникающих в результате загрязнения, получение новых дополнительных видов продукции и др.

Проведение многофакторного анализа с определенным набором показателей дает возможность составить общее представление и получить соответствующий результат о степени эффективности внедрения природоохранных мероприятий в энергетике. При этом, чем тщательнее проведен выбор показателей для комплексного анализа, тем более корректный результат будет получен. Желательно выбирать такие показатели эффективности природоохранных мер, которые могут учитывать особенности как природной среды, так и функционирования объектов энергетики на конкретной территории [10]. В свою очередь, учет особенностей энергетического производства в различных регионах требует их соответствующего отражения в экономических показателях, которые учитываются при оценке эффективности использования природоохранных мер в энергетике.

Заключение

На основе экологических принципов и рассмотренных методов оценки эффективности природоохранных мероприятий наиболее приемлемым для энергетики является интеграция методов количественных оценок и качественного анализа с индивидуальным выбором показателей, связанных с экономией затрат на производство продукции (электрической и тепловой энергии), повышением эффективности труда, экономией затрат на амортизацию за счет внедрения современных (инновационных) природоохранных мероприятий и пр. При этом для всех рассмотренных методов оценки эффективности природоохранных мероприятий актуальными остаются проблемы выражения в денежных единицах социальных и экологических показателей.

Таким образом, в каждом конкретном случае (предприятие, регион и пр.) эколого-экономическая целесообразность применения природоохранных мероприятий имеет свои ограничен-

ные возможности – для определенного объекта разрабатывается свой конкретный набор показателей эффективности. Что, в свою очередь, требует проведения детальных исследований эколого-экономических взаимосвязей в приро-

допользовании. Как методически, так и в прикладном характере эта задача очень сложная, требует привлечения высококвалифицированных независимых экономистов-экологов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б.. Современный экономический словарь. 2-е изд., испр. М.: ИНФРА-М, 1998. 479 с.
2. Методы расчета эффективности природоохранных мероприятий. URL: <http://www.newreferat.com/ref-19058-3.html>
3. Рекус И.Г. Основы экологии и рационального природопользования. URL: <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook101/01/part-008.htm>
4. Методика ЮНИДО в методах оценки экономической эффективности. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/5228993/page:3/>
5. Хачатуров Т.С. Экономика природопользования. М.: Изд-во МГУ, 1991. 271 с.
6. Протасов В.Ф. Анализ деятельности предприятия (фирмы): производство, экономика, финансы, инвестиции, маркетинг. Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2003. 536 с.
7. Временные методические указания по расчету экономической эффективности мероприятий по защите воздушного бассейна от вредных выбросов с дымовыми газами от тепловых электростанций и котельных. М.: Союзтехэнерго, 1982. 77 с.
8. Годовой отчет ПАО «Иркутскэнерго» за 2015 г. // Сибирский энергетик, № 10, 2016. 20 с. URL: <http://www.irkutskenergo.ru/gi/22118>
9. Годовой отчет по результатам работы за 2014 год АО «Интер РАО – Электрогенерация». 2015. 174 с. URL: <http://docplayer.ru/27600569-Godovoy-otchyot-po-rezultatam-raboty-za-2014-god.html>
10. Санеев Б.Г., Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Учет региональных особенностей в методах оценки воздействия энергетики на природную среду // Известия Академии наук. Энергетика. 2016. № 6. С.79-85.

Поступила в редакцию
04.08.2017 г.

Е.Р. Maysyuk²

PRINCIPLES AND METHODS USED FOR PERFORMANCE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL MEASURES IN POWER INDUSTRY

The paper considers main environmental principles that serve as a basic premise for methods used to evaluate performance of environmental measures. These methods can be ranked depending on tasks in hand. Peculiarities of methods to evaluate performance of environmental measures are associated with the need to determine not only their economic efficiency but also environmental one. In the author's opinion, most attractive methods selected for performance evaluation of environmental measures in the power industry are both quantitative and qualitative analyses.

Key words: environmental assessments, power industry, environmental impact, environmental measures, performance, damage, emission charge.

² Elena P. Maysyuk – Senior Researcher at the Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD in Economics, e-mail: maysyuk@isem.irk.ru.

