

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

Центр долгосрочного прогнозирования  
и стратегического планирования

**А. А. Акаев**

**О НОВОЙ ПАРАДИГМЕ  
ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ  
В XXI ВЕКЕ**

**От Рио (1992 г.) до Парижа (2015 г.):  
достижения, проблемы и перспективы в борьбе  
с изменением климата**

Москва  
Издательство «Учитель»  
2020

ББК 65.305.14

А38

**Акаев А. А.**

А38 О новой парадигме энергоэкологического развития в XXI веке. От РИО (1992 г.) до Парижа (2015 г.): достижения, проблемы и перспективы в борьбе с изменением климата. – М.: Московская редакция издательства «Учитель», 2020. – 56 с.

ISBN 978-5-7057-5884-5

Скоро 30 лет, как главы государств и правительств, участвовавшие в конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (Бразилия, 1992 г.), проявили решительность и мудрость, приняв Рамочную конвенцию ООН по изменению климата (РКИК ООН), предусматривающую значительное сокращение выбросов в атмосферу парниковых газов, и в первую очередь углекислого газа (CO<sub>2</sub>), образующихся при сжигании ископаемых углеводородных органических топлив (угля, нефти и газа). Это было поистине историческое решение, поскольку впервые большинством руководителей государств и правительств была признана необходимость глобального изменения хозяйственной деятельности человечества, связанная с самоограничением.

В настоящей работе последовательно рассматриваются проблемы, связанные с глобальным потеплением и его возможными последствиями, с мерами борьбы против повышения глобальной температуры на международном уровне под эгидой ООН, с низкоуглеродным сценарием энергетического развития, с переходом на ВИЭ, а также – с экономическим ростом.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-61-46004).

Формат 60×90/16. Печ. л. 3,5. Тираж 100 экз. Заказ № тп.

Отпечатано по заказу ООО «НЬЮ ПРИНТ» в типографии ОАО «Альянс «Югполиграфиздат».

400001, г. Волгоград, ул. КИМ, 6. Тел./факс: (8442) 26-60-10.

ISBN 978-5-7057-5884-5

© Издательство «Учитель», 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 4  |
| Парижское климатическое соглашение, его содержание и значение .....                                    | 6  |
| Глобальное потепление и меры, предпринимаемые международным сообществом для стабилизации климата ..... | 20 |
| Сценарии энергетического развития .....  | 31 |
| Структура современного мирового топливно-энергетического баланса (ТЭБ) .....                           | 40 |
| Литература .....   | 53 |

## Введение

Прошло почти 30 лет с тех пор, как главы государств и правительств, участвовавшие в конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (Бразилия, 1992 г.), проявили решительность и мудрость, приняв Рамочную конвенцию ООН по изменению климата (РКИК ООН), предусматривающую значительное сокращение выбросов в атмосферу парниковых газов, и в первую очередь углекислого газа (CO<sub>2</sub>), образующихся при сжигании ископаемого углеводородного органического топлива (угля, нефти и газа). Это было поистине историческое решение, поскольку впервые большинством руководителей государств и правительств была признана необходимость глобального изменения хозяйственной деятельности человечества, связанная с самоограничением.

Вслед за этим в 1997 г. был принят Киотский протокол (Киото, Япония), конкретизирующий условия сокращения выбросов CO<sub>2</sub> для всех стран мира, срок действия которого был ограничен 2012 г. Причем эти показатели были спущены сверху – со стороны ООН. Принять документ, приходящий на смену Киотскому протоколу, планировалось еще в 2009 г. в Копенгагене (Дания), однако тогда переговоры по достижению соглашения провалились из-за взаимных претензий авангардных развитых и развивающихся стран. Разработка и согласование приемлемого для большинства стран документа заняли шесть дополнительных лет, поэтому на 18-й конференции РКИК ООН, проходившей в Дохе (Катар) в 2012 г., срок действия Киотского протокола был продлен до 2020 г.

Наконец, в декабре 2015 г. в Париже на 21-й конференции (COP 21) стран-участниц РКИК ООН почти единогласно было принято новое климатическое соглашение, которое уже сегодня называют историческим. Действительно, не прошло и года, как 4 ноября 2016 г. оно фактически вступило в силу, поскольку к этому времени его ратифицировали 111 государств (57 % из числа подписавших соглашение), на которые приходится 77 % глобальных выбросов CO<sub>2</sub>, то есть более чем требовалось условиями соглашения. Однако официально Парижское соглашение начнет действовать после 2020 г., когда оно заменит Киотский протокол. Парижское соглашение не только подтвердило прежний лимит потеп-

ления в 2 °С по сравнению со средней приземной температурой +14 °С, характерной для доиндустриальной эпохи (до 1850 г.), но и установило новую, более амбициозную цель – стремиться к еще меньшему предельному лимиту потепления, равному 1,5 °С!

На следующей 22-й конференции ООН по смягчению последствий климатических изменений и снижению антропогенного воздействия на климат (COP22) в Марракеше (Марокко, 7–18 ноября 2016 г.) была принята «дорожная карта» по разработке правил реализации Парижского соглашения, рассчитанная на два года вместо четырех лет, как планировалось первоначально. По итогам конференции в Марракеше почти 200 стран единодушно приняли совместную декларацию, в которой еще раз подтвердили свою твердую приверженность Парижскому соглашению и готовность выполнить свои обязательства по сокращению выбросов парниковых газов.

Период подготовки и принятия Парижского соглашения (2014–2016 гг.) стал весьма благоприятным для климатических изменений – в эти годы наблюдалась стабилизация объемов глобальных выбросов парниковых газов. Однако 2017 год принес проблемы, поскольку новоизбранный президент США Дональд Трамп неожиданно объявил о выходе из Парижского соглашения. Турция отказалась от ратификации соглашения, требуя доступа к средствам Зеленого климатического фонда ООН для бедных стран. Новый президент Бразилии Жаир Болсонару также выразил сомнения в целесообразности дальнейшего участия в соглашении, ссылаясь на «вмешательство» международного сообщества в лесную политику страны в бассейне реки Амазонии. На этом негативном фоне глобальные выбросы CO<sub>2</sub> в 2017 г. выросли на 1,2 % по сравнению с установившимся уровнем 2014–2016 гг. Но все же эти демарши не повлияли на общий позитивный настрой, сформировавшийся в мире после принятия Парижского соглашения, которое к 2019 г. уже ратифицировали 184 стран из 195 подписавших.

Все это способствовало успеху климатической конференции ООН 2018 г., которая проходила в польском городе Катовице. Важнейшим достижением этой конференции стало утверждение свода правил по реализации Парижского климатического соглашения представителями 200 стран. Они касаются отчетности и мони-

торинга, адаптации стран к изменениям климата, а также механизмов устойчивого развития, которые подразумевают совместные действия стран по снижению выбросов парниковых газов. Во всех деталях механизмы устойчивого развития будут проработаны и внесены на рассмотрение следующей климатической конференции, которая состоится в Сантьяго (Чили) в декабре 2019 г. Важно, что уже создана прочная основа для практических действий, которая позволит в 2020-х гг. энергично претворять в жизнь высокие цели Парижского соглашения, которая официально вступает в силу в следующем 2020 году.

Твердая коллективная политическая воля руководителей государств и правительств всего мира, направленная на решение проблемы глобального потепления, наблюдается впервые после Рио-де-Жанейро. Таким образом, целенаправленная деятельность ООН и многих стран мира в течение последних 27 лет, прошедших после исторической конференции ООН по климатическим изменениям в Рио-де-Жанейро (1992 г.), привела к новой энергоэкологической парадигме: декарбонизации экономики; необратимой тенденции развития низкоуглеродной энергетики; повсеместному и ускоренному переходу на возобновляемые источники энергии (ВИЭ); развитию и распространению зеленой экономики.

В настоящем разделе последовательно рассматриваются проблемы, связанные с глобальным потеплением и его возможными последствиями, мерами борьбы против повышения глобальной температуры на международном уровне под эгидой ООН, с низкоуглеродным сценарием энергетического развития, с переходом на ВИЭ, а также – экономическим ростом.

### **Парижское климатическое соглашение, его содержание и значение**

12 декабря 2015 г. в Париже (Франция) по итогам 21-й конференции ООН по вопросам климата в соответствии с РКИК ООН (COP21) было принято климатическое соглашение [Рамочная... 2015], которое сразу же стали называть историческим. Действительно, масштабы всемирной поддержки Парижского соглашения и взвешенный подход к борьбе с глобальным потеплением, а также

глобальный план действий, направленный на адаптацию к климатическим изменениям, утвержденные в этом документе под названием «Рамочная конвенция об изменении климата», оказались весьма впечатляющими и вдохновляющими. *Впервые климатическое соглашение было принято практически единогласно, его подписали 195 из 198 стран – участниц конференции. Более того, в рамках этого соглашения страны-участницы не только подтвердили установленный ранее в рамках РКИК ООН лимит потепления в 2 °С по отношению к уровню среднемировой приземной температуры +14 °С в доиндустриальную эпоху (до 1850 г.), но и поставили более амбициозную цель: удержать рост среднемировой температуры до конца XXI в. в пределах 1,5 °С [Рамочное... 2015].* Причем уже в ходе подготовки к конференции 186 стран из числа подписавших Парижское соглашение, суммарные выбросы которых составляют свыше 90 % от общемирового уровня, добровольно разработали и представили долгосрочные национальные стратегии по сокращению выбросов парниковых газов вплоть до 2030 г., а некоторые – даже до 2050 г. Это стало впечатляющим успехом на фоне того, что все страны-участницы пришли к Парижской конференции с национальными программами и целями по уровню сокращения выбросов парниковых газов, которые планируется достигнуть к рубежному 2020 г., когда официально вступит в силу Парижское соглашение.

*Взвешенный гибкий подход, заложенный в основу Парижского соглашения, заключается в том, что все страны мира должны самостоятельно разработать долгосрочную стратегию низкоуглеродного развития с указанием посильных целевых ориентиров по сокращению выбросов парниковых газов, а также планы адаптации к изменениям климата и меры по их реализации [Там же].*

Таким образом, в приложении к Парижскому соглашению были указаны добровольные планы стран-участниц по сокращению выбросов парниковых газов, представленные самими этими странами, в отличие от Киотского протокола, в котором содержались обязательства стран, спущенные сверху – со стороны ООН. Эти национальные планы в отличие от самого текста соглашения не имеют юридически обязательного характера. Однако соглашение рекомендует всем странам-участницам регулярно, каждые пять лет, пе-

рассматривать национальные планы по мере их исполнения в сторону постепенного повышения планки целевых обязательств. Отчетность же сводится к тому, что страны постоянно сообщают об уровне своих выбросов и их снижении, а мониторинг ведется на глобальном уровне.

Бедные страны, а также страны, наиболее уязвимые в отношении климатических изменений, после 2020 г. могут рассчитывать на финансовую помощь из расчета 100 млрд долларов США в год из Зеленого климатического фонда, созданного развитыми странами еще в 2009 г. на климатической конференции ООН в Копенгагене (Дания). Тогда же была поставлена цель собрать в этот фонд 100 млрд долларов к 2020 г. Однако на сегодня в фонд поступило всего лишь 10 млрд долларов. Но все же обнадеживает то, что в Париже развитые страны, а также Китай и Сингапур, обязались начиная с 2020 г. ежегодно предоставлять 100 млрд долларов для бедных и наиболее уязвимых стран, чтобы помочь им адаптироваться к изменениям климата и развивать зеленую экономику. Новый импульс пополнению климатического фонда придали Германия и Япония, которые заявили на климатической конференции в г. Катовице (Польша) в декабре 2018 г. о выделении фонду по 1,5 млрд долларов. Всемирный банк там же объявил, что в предстоящие пять лет выделит на зеленые климатические проекты 200 млрд долларов, а также начнет финансирование проектов, направленных на адаптацию стран к изменениям климата.

Итак, в Парижском соглашении отсутствуют конкретные юридически обязательные цифровые обязательства стран-участниц по сокращению выбросов парниковых газов. В нем обозначены всего лишь две исключительно важные для человечества в XXI в. цифры, означающие лимиты глобального потепления на конец XXI века: подтверждение ранее установленного лимита в 2 °С по отношению к уровню среднемировой температуры +14 °С в доиндустриальную эпоху и призыв ко всем странам принять дополнительные усилия для достижения более амбициозной цели – лимита в 1,5 °С [Рамочная... 2015]. Юридически обязательными являются лишь отдельные процедурные элементы соглашения, в частности обязательность разработки как национальных, так и глобальной долгосрочной стратегий по радикальному совокупному сокраще-



нию выбросов парниковых газов, обеспечивающему ограничение глобального потепления в пределах менее 2 °С.

Парижское соглашение предусматривает проведение мониторинга и анализа ситуации по уровню выбросов и общего прогресса в выполнении взятых в Париже странами-участницами в 2018 г. добровольных обязательств, с последующим мониторингом через каждые пять лет. К сожалению, отсутствие четких формулировок по вкладу развитых стран в Зеленый климатический фонд открывает возможность странам-донорам уклониться от выполнения своих финансовых обязательств. В этой связи в соглашении был сделан акцент на особую роль развитых стран, которые своим примером должны мотивировать остальные страны мира. Таким образом, *Парижское климатическое соглашение стало скорее политическим документом, нежели правовым или экономическим.*

Однако, несмотря на отсутствие юридически обязательных показателей по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> для каждой страны, Парижское соглашение по ряду причин вызвало огромный резонанс в мире и уже начало оказывать влияние на множество решений на самых разных уровнях в области энергетики, которая является одним из основных источников парниковых газов и играет ключевую роль в борьбе с изменением климата. Можно утверждать, что *Парижское соглашение серьезно изменило характер борьбы с климатическим потеплением, дало мощный импульс процессу декарбонизации энергетики. Эксперты во всем мире подчеркивают, что Парижское климатическое соглашение стало самым важным всеобъемлющим документом в борьбе против глобального потепления со времени принятия Киотского протокола в 1997 г. Последний, по признанию крупных экспертов, сыграл свою весомую роль, изменив в лучшую сторону отношение многих стран к проблеме сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу.*

Поскольку страны, подписавшие Киотский протокол, из-за отсутствия четких критериев еще долгие годы после подписания спорили, вступил он в силу или нет, то в Париже было принято, что климатическое соглашение вступит в силу после его подписания и ратификации не менее чем 55 % стран-участниц, на которые приходится не менее 55 % выбросов парниковых газов в мире. Предполагалось, что это произойдет до 2020 г., когда закончится дей-

ствие Киотского протокола. Но сложилась необычайно благоприятная ситуация, и Парижское соглашение фактически вступило в силу уже к началу следующей климатической конференции в Марракеше (COP22, 7–18 ноября 2016 г.), что засвидетельствовало необратимое изменение парадигмы энергообеспечения в сторону энергоэкологического развития. На данный момент, напомним, Парижское климатическое соглашение уже ратифицировали 184 страны из 195 подписавших.

Главное, что следует отметить в первую очередь: *все страны – участницы конференции в Париже были едины во мнении, что потепление климата вызвано антропогенными выбросами парниковых газов. Уже ни у кого не вызывало сомнений, что происходящие климатические изменения, если не принять решительных мер в ближайшие десятилетия, приведут к таким негативным последствиям, которые нанесут непоправимый урон как человечеству, так и всей живой природе.* На конференции в Париже участники, в особенности представители наиболее уязвимых стран, приводили конкретные факты многочисленных негативных последствий, которые уже сегодня ощущаются по всему миру. *Страны-участницы при этом опирались на научно обоснованные выводы Межправительственной комиссии ООН по изменениям климата (IPCC), созданной еще в 1988 г. из числа видных специалистов – климатологов и экологов, делегированных со всего мира, которая сегодня является главным экспертным центром в области климатических изменений и их последствий.* IPCC не проводит собственных исследований, но ее высококвалифицированные специалисты, признанные мировые авторитеты в своей научной области, изучают, оценивают и обобщают результаты опубликованных научных работ по всему миру и на этой основе формулируют сценарии климатических изменений и их последствия, которые она представляет на каждой климатической конференции [Scenario... 2019].

*В сессии IPCC, состоявшейся в Стокгольме 23–26 сентября 2015 г., в преддверии Парижской конференции, где приняли участие официальные представители 200 стран, был сформулирован единодушный и однозначный вывод: рост глобальной температуры, происходящий со второй половины прошедшего столетия, на 95 % обусловлен антропогенным наращиванием содержания углекислого*

газа ( $CO_2$ ) в атмосфере Земли [Scenario... 2019]. Причем средняя приземная температура, составляющая сегодня  $15\text{ }^\circ\text{C}$ , выросла с конца XIX в. на  $0,8\text{ }^\circ\text{C}$ , из которых  $0,6\text{ }^\circ\text{C}$  приходится на последние 30 лет, что свидетельствует об ускоренном потеплении климата. Действительно, 2000–2010 гг. стали самым теплым десятилетием с начала надежных температурных измерений, 2015 г. – самым теплым годом, а июль 2016 г. – самым жарким месяцем за всю историю метеорологических наблюдений с 1880 г. [Ibid.]. В целом 20 самых теплых лет на планете приходятся на последние 22 года, из них самые жаркие – последние четыре года. По данным Всемирной метеорологической организации ООН, средняя мировая температура в 2018 г. стала четвертой среди рекордных за все годы исследований. Именно в 2018 г. средняя мировая температура ровно на  $1\text{ }^\circ\text{C}$  превысила базовый доиндустриальный уровень. Рекордные температурные максимумы в 2018 г. были отмечены во многих частях восточного полушария: во Франции, Италии, Греции, Сербии, Хорватии. В Швеции из-за жары и сухой погоды произошли лесные пожары на территории, находящейся за полярным кругом. В Алжире, в г. Уаргле, 5 июля 2018 г. была зафиксирована температура  $51,3\text{ }^\circ\text{C}$  – рекордная за всю историю наблюдений.

Парижская конференция и предшествовавшие ей подготовительные мероприятия показали, что имеет место усиление низкоуглеродной активности на самых разных уровнях. Прежде всего это предприятия. Все больше компаний осознают, что движение в сторону низкоуглеродной и даже безуглеродной энергетики становится необратимым, поэтому они постепенно встают на путь декарбонизации источников энергии. Далее идут города, у которых есть значительные возможности для претворения в жизнь стратегии по сокращению выбросов зданиями, транспортом и промышленностью. Существенный вклад вносят многочисленные движения зеленых в гражданском обществе. Они оказывают общественное давление, способствующее принятию решений в пользу зеленых проектов на различных уровнях, а также успешно продвигают собственные инициативы.

Ярким проявлением силы подобной низкоуглеродной активности стал Глобальный саммит климатических действий, состояв-

шийся с 12 по 14 сентября 2018 г. в Сан-Франциско (Калифорния, США), в котором участвовали представители климатических инициатив на уровне городов, регионов и компаний со всего мира. Незадолго до саммита губернатор Калифорнии Джерри Браун подписал закон о выработке 100 % энергии на основе безуглеродных источников к 2050 г., а также издал указ о снижении выбросов парниковых газов на 80 % к 2050 г. от уровня 1990 г. По подсчетам ПРООН по окружающей среде, более 7 тыс. городов и 245 регионов из 133 стран, наряду с 6 тыс. компаний с совокупной выручкой 36 трлн долларов, заявили о собственных целях снижения выбросов парниковых газов. Таким образом, усилия субнациональных акторов становятся все более важными в глобальном климатическом контексте.

*Сегодня можно смело утверждать, что уже сложился глобальный необратимый тренд на преимущественное развитие безуглеродной энергетики, основанной на ВИЭ.* Ярким свидетельством, подтверждающим этот тренд, стал стремительный рост по всему миру как инвестиций в ВИЭ, так и объемов вырабатываемой за счет таких источников энергии [IEA]. Этому также способствует значительное удешевление стоимости доступа к ВИЭ, которое произошло в последнее время. На Парижской конференции было представлено огромное количество амбициозных программ в области создания инновационных ВИЭ, многие из которых реализуются уже сегодня. Кроме того, в период работы конференции международными финансовыми организациями было подписано соглашение о льготном кредитовании низкоуглеродных и безуглеродных энергетических проектов, включая проекты, основанные на ВИЭ. *Парижское соглашение, безусловно, послужит мощным импульсом ускоренному развитию ВИЭ. Сегодня без преувеличения можно утверждать, что зеленая энергетика по всему миру превратилась в мейнстримовый, магистральный путь развития отрасли энергетики. К началу 2019 г. уже 26 % мирового производства электроэнергии происходило из ВИЭ. Международное агентство по ВИЭ (IRENA) прогнозирует, что доля ВИЭ в энергетическом секторе должна увеличиваться до 85 % к 2050 г. [IRENA 2018].*

*Важно также отметить, что одной из основных тем, обсуждавшихся на конференции в Париже, стало замораживание*

угольных проектов. В результате многие международные и национальные банки и финансовые организации приняли решение о прекращении угольных инвестиций. Благодаря этим действиям после Парижа наметилась тенденция понижения потребления угля и набирает темпы переход к низкоуглеродной энергетике, поскольку уголь остается самым дешевым и доступным ископаемым топливом – главным конкурентом ВИЭ.

Отрадно, что даже на уровне государств большинство из них осознали пагубные последствия климатического потепления и стали убежденными приверженцами низкоуглеродной энергетике. Особенно это относится к Китаю и США, ответственным почти за 44 % глобальных выбросов парниковых газов, соответственно – 25 % и 19 %. Кроме того, Китай и США сжигают 60 % потребляемого в мире угля, который является самым «грязным» топливом с точки зрения выбросов CO<sub>2</sub> и других крайне вредных веществ. Так, в 2010 г. Китай выбрасывал в атмосферу свыше 8 млрд тонн CO<sub>2</sub>, а США – 6 млрд тонн при общем объеме выбросов, равном 35 млрд тонн. *Ключевую роль во всемирной поддержке Парижского соглашения сыграло то, что Китай и США, два крупнейших эмитента парниковых газов в мире, перед конференцией договорились о снятии взаимных претензий в климатических переговорах, что затруднило позицию тех стран, которые хотели сорвать подписание Парижского соглашения* [OECD/IEA, 2015: Energy...].

Более того, Китай и США в сентябре 2015 г. почти одновременно опубликовали амбициозные программы декарбонизации своих экономик. США объявили о снижении выбросов на 26 % к 2025 г. и на 32 % к 2030 г. [Ibid.], относительно уровня 2005 г. Китай определил три основные цели своей национальной программы к 2030 г. [OECD/IEA, 2015: World Energy...]:

- 1) увеличить долю ВИЭ в потреблении первичных энергоресурсов до 20 %;
- 2) снизить объем выбросов CO<sub>2</sub> на единицу ВВП на 60–65 % по сравнению с соответствующим показателем в 2005 г.;
- 3) увеличить лесной фонд на 4,5 млрд кубометров.

В 2014 г. Китай впервые сократил потребление угля. Благодаря начавшемуся целенаправленному снижению потребления угля в Китае и США объем выбросов CO<sub>2</sub> в 2015 г. снизился на 1,5 % и 2 %

соответственно [IEA]. Вдобавок Китай и США в начале сентября 2016 г. перед началом работы саммита G20 в Китае совместно объявили о ратификации Парижского соглашения. Позитивный пример Китая и США, продемонстрированный в последние годы, несомненно, оказал вдохновляющее влияние на остальные страны мира.

*Следует также отметить неизменную лидирующую роль Евросоюза, выбросы которого составляют 12 % от общемирового (в 2010 г. – 4,2 млрд тонн CO<sub>2</sub>), в борьбе с глобальным потеплением.* Страны Евросоюза еще в конце 1990-х гг. обязались сократить выбросы CO<sub>2</sub> к 2020 г. на 20 % по сравнению с уровнем 1990 г., до 3,4 млрд тонн. Поскольку эта цель была достигнута уже к 2015 г., сегодня Евросоюз стремится сократить выбросы к 2020 г. на 25 % и прилагает усилия, чтобы добиться выполнения более амбициозной задачи – сокращения выбросов на 40 % к 2030 г. [OECD/IEA, 2015: Energy...]. Евросоюз также твердо намерен довести долю первичной энергии, получаемой на основе ВИЭ, до 20 %, как и планировалось 20 лет назад. Как и предполагалось, в начале октября 2016 г. по решению Европарламента страны Евросоюза провели коллективную ратификацию Парижского соглашения.

*В течение более 20 лет страны Евросоюза накапливали бесценный опыт в области разработки и использования инновационных технологий генерации электричества на основе ВИЭ, приводя в исполнение амбициозную политику в борьбе с климатическим потеплением.* Генерация электричества на основе ВИЭ все это время дотирировалась, субсидировалась со стороны государств ЕС, и в конце концов произошел прорыв: стоимость производства электричества на основе ВИЭ упала в разы и уже сравнялась со стоимостью традиционных технологий генерации с использованием ископаемого органического топлива, а самое главное – продолжает неуклонно снижаться далее [OECD/IEA, 2015: Energy Technology...]. *Плодотворный опыт Евросоюза в этой сфере заслуживает изучения и использования другими странами.*

Более того, в конце 2018 г. в Европе вышел научный доклад, подтверждающий возможность перехода всех энергетических секторов в ЕС на 100%-ное обеспечение ВИЭ. Этот доклад стал итогом первого комплексного научного исследования, проведенного

Лаппеенрантским технологическим университетом и компанией Energy Watch Group, по моделированию полномасштабного перехода ЕС на ВИЭ в электроэнергетическом, теплоснабжающем и транспортном секторе и секторе опреснения воды к 2050 г. Данный отчет подтверждает, что переход на 100%-ное использование ВИЭ во всех секторах осуществим и не приведет к повышению затрат по сравнению с существующей сегодня энергетической системой, заявил президент Energy Watch Group Ханс-Йозеф Фелл. Доклад также показывает, что ЕС вполне может перейти к 2050 г. на энергетическую систему с нулевыми выбросами CO<sub>2</sub>.

Энергетический переход в ЕС потребует проведения масштабной электрификации во всех энергетических отраслях. К 2050 г. на электричество будет приходиться более 85 % спроса на первичную энергию. Причем производство этого электричества будет основано главным образом на солнечной (62 %) и ветровой (32 %) энергии. А остальная часть будет обеспечена за счет гидроэнергии (4 %) и геотермальной энергии (< 1 %). Около 85 % ВИЭ будет представлять децентрализованное местное и региональное производство. Одновременно ископаемые и ядерные виды топлива будут полностью вытеснены из всех отраслей.

Опыт Евросоюза также опровергает существующие опасения, что борьба с климатическим потеплением может негативно повлиять на темпы экономического роста. Действительно, с 1990-х гг. в Евросоюзе выбросы сократились на 23 %, тогда как в течение того же периода совокупный ВВП ЕС вырос на 46 %. За этот период в ЕС были разработаны инновационные технологии генерации электричества на основе ВИЭ, созданы условия для их конкурентных преимуществ, организованы тысячи новых предприятий для их производства и миллионы новых рабочих мест. Благодаря этому в последние годы заговорили о наступлении третьей промышленной революции [Рифкин 2015]. Многие страны в инициативном порядке осваивают зеленые технологии, стремясь уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и смягчить последствия глобальных изменений климата, обусловленных антропогенными действиями человечества.

*Парижское климатическое соглашение, безусловно, стало определяющим рубежом в долгом процессе борьбы с климатическим*

потеплением, начатом четверть века назад в Рио-де-Жанейро. Самое главное состоит в том, что после Парижа произошел перелом в отношении к борьбе с потеплением климата. Человечество осознало, что изменение климата – это как экологический, так и экономический вызов с весьма серьезными последствиями для глобальной безопасности. Ведь из-за изменения климата дорожают жизненно важные ресурсы, такие как вода и продовольствие, что нередко приводит к международным конфликтам, в том числе и военным. Человечество поняло, что без активной работы по снижению выбросов парниковых газов дальнейший рост температуры приземной атмосферы неизбежен, что несет с собой катастрофические угрозы, а цена бездействия многократно превысит цену безотлагательных усилий в этой сфере. Для достижения температурных целей, установленных в Парижском соглашении, развитие ВИЭ в мире необходимо ускорить как минимум в шесть раз! [IRENA 2018.]

*Все это отразилось уже в конце января 2016 г., всего через 1,5 месяца после Парижской конференции, в итогах Всемирного экономического форума (ВЭФ) в Давосе: главная угроза глобальной безопасности на ближайшее десятилетие – это изменения климата, именно к такому выводу пришли эксперты ВЭФ [World Economic... 2016]. Таким образом, впервые за последние десятилетия экология была признана главным фактором, угрожающим мировой стабильности. И только за ней следуют риски применения оружия массового поражения, далее кризисы в водообеспечении и последствия масштабной вынужденной миграции. Причем, как отмечают эксперты, все эти риски взаимосвязаны и усиливают друг друга. Действительно, климатические изменения приводят к дефициту пресной воды и нестабильности урожаев, а также необходимости увеличивать инвестиции в сельское хозяйство. А хроническая нехватка еды толкает людей к бунтам или же к вынужденной миграции в более благополучные регионы и страны. Видные международные эксперты утверждают, что провал в борьбе с климатическими изменениями окажет существенное негативное влияние на глобальную экономику. Оценки экспертов показывают, что глобальное потепление к 2020 г. приведет к потере около 3–4 % миро-*



вого ВВП, то есть «съест» весь его прирост, а к 2040 г. – уже около 10 %.

В 2018 г. вышел специальный доклад ИРСС «Изменение климата и землепользование», в котором показано, что удержание глобального потепления на уровне значительно ниже 2 °С может быть достигнуто лишь за счет сокращения выбросов парниковых газов из всех секторов, включая землепользование и продовольственный сектор [ИРСС 2018]. На сельское хозяйство, лесопользование и другие виды землепользования приходится 23 % антропогенных выбросов парниковых газов. В то же время естественные процессы на суше приводят к поглощению CO<sub>2</sub> в объеме, эквивалентном одной трети выбросов CO<sub>2</sub> в результате сжигания ископаемых видов топлива и промышленного производства. Изменение климата усугубляет деградацию земельных ресурсов многими различными способами. Поэтому продовольственная безопасность будет все больше зависеть от будущего изменения климата в результате снижения урожайности, ослабления качества питательных веществ и повышения цен. При этом крайне важно, чтобы земельные ресурсы сохраняли производительность для поддержания продовольственной безопасности по мере увеличения численности населения и усиления негативных воздействий изменения климата на растительный покров.

*Позитивный дух, царивший на Парижской конференции, сопровождал следующую климатическую конференцию ООН (COP22), проходившую с 7 по 18 ноября 2016 г. в Марракеше (Марокко). В повестке этой конференции стояли разработка целей и правил реализации Парижского соглашения. Приоритетной темой на конференции был акцент на ускоренное развитие ВИЭ и постепенное сворачивание использования угля как наиболее «грязного» ископаемого топлива. Важно, что все эти вопросы обсуждались с широким участием представителей бизнеса и промышленности, без тесной вовлеченности которых борьба с изменением климата не будет эффективной. В ходе конференции Германия, Канада и США представили свои стратегии долгосрочного энергоэкологического развития, ведущие к радикальному сокращению выбросов парниковых газов к 2050 г. Германия планирует снизить эмиссию углерода*

на 80–95 % от уровня 1990 г., а США и Канада – на 80 % [Стратегия...].

По итогам конференции в Марракеше почти 200 стран единогласно приняли декларацию, в которой еще раз подтвердили свою приверженность Парижскому соглашению и готовность разработать правила его реализации не за четыре года, как планировалось первоначально, а за два года. Была достигнута договоренность об углеродной отчетности, обновлении целей по сокращению выбросов и прозрачности обязательств. Также была разработана «дорожная карта» для решения задач по финансированию поддержки бедных и наиболее уязвимых стран в реализации их планов по адаптации к негативным последствиям изменения климата и инвестиции на развитие зеленой экономики.

*Сюрпризом для скептиков перехода на зеленую экономику стали создание в ходе конференции в Марракеше Альянса 47 развивающихся и наиболее уязвимых стран и их заявление о готовности к полному переходу на ВИЭ к 2030–2050 гг.* [Бекиш 2016]. Конечно, это возможно лишь при условии выделения им немалой финансовой поддержки из Зеленого климатического фонда. Однако важно, что большинство данных стран готовы прилагать к этому собственные усилия. Среди них есть такие крупные развивающиеся страны, как Бангладеш, Вьетнам, Камбоджа, Кения, Танзания, Эфиопия, Филиппины и др. Также естественно растет спрос на средства Зеленого климатического фонда. По оценке ЮНЕП, только на ближайшие 15 лет поток «климатического» финансирования из развитых стран в развивающиеся должен составлять ежегодно 150 млрд долларов для низкоуглеродного развития и 130 млрд долларов для адаптации к изменениям климата. Большинство из этих средств пойдет на реализацию проектов по повышению энергоэффективности и ввод генерирующих мощностей на основе ВИЭ. Для сравнения, *сегодня инвестиции в ВИЭ в развивающихся странах составляют примерно 150 млрд долларов в год, из которых более 80 млрд долларов приходится на солнечную энергетику и более 65 млрд долларов – на ветроэнергетику. После Парижа и Марракеша они, скорее всего, вырастут на 30–50 %.*

Важность конференций в Париже (COP21, декабрь 2015 г.) и Марракеше (COP22, ноябрь 2016 г.) заключается в том, что они

придали необратимый характер развитию низкоуглеродной энергетики, процессу радикального сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу. *Таким образом, международное сообщество впервые решительно принимается за активную работу, направленную на реализацию амбициозных целей, заложенных в Парижском соглашении. Так что четверть века, минувшие с исторической конференции в Рио-де-Жанейро, не прошли даром и породили настоящих прорыв.*

*Основные итоги Парижской конференции ООН можно сформулировать следующим образом:*

1) *принятие юридически обязательного климатического соглашения, ставящего амбициозную цель удержания средней глобальной приземной температуры в пределах 1,5–2 °С к концу XXI в. по отношению к ее уровню +14 °С в доиндустриальную эпоху и предписывающего всем странам мира разработку национальных долгосрочных стратегий по развитию низкоуглеродной энергетики и сокращению парниковых газов, а также планов по адаптации к изменениям климата на ближайшие 15–20 лет;*

2) *запуск тенденции понижения потребления угля в энергетических целях как наиболее «грязного» ископаемого топлива;*

3) *принятие решений со стороны международных и крупных национальных банков и финансовых организаций о льготном и преимущественном кредитовании низкоуглеродных энергетических проектов, и в первую очередь тех, которые основаны на ВИЭ, а это, несомненно, будет способствовать ускорению процесса перехода к низкоуглеродной энергетике по всему миру;*

4) *достижение договоренности о том, что развитые страны будут ежегодно предоставлять 100 млрд долларов США слабо развитым и наиболее уязвимым к климатическим изменениям странам, чтобы помочь им развивать зеленую экономику и адаптироваться к изменениям климата.*

Важнейшим климатическим событием 2019 г. стал саммит ООН по изменению климата, который прошел в штаб-квартире ООН в Нью-Йорке 23 сентября 2019 г. Девиз саммита был определен как **«Гонка, которую можно выиграть. Гонка, которую нужно выиграть!»** Посредством созыва этого саммита Генсек ООН Антониу Гутерриш обратился ко всем государствам и их лидерам, ре-

гионам, городам, компаниям, инвесторам и гражданам с призывом к всемерной активизации борьбы с потеплением климата. Многие страны и компании откликнулись на этот призыв и объявили об обновлении планов развития ВИЭ, об инвестициях в зеленую энергетику и экономику и вкладах в климатические фонды ООН. Саммит вызвал большой резонанс в мире и еще раз обратил внимание мировой общественности на эту приоритетную проблему, хотя его практические результаты оказались весьма скромными: 67 развивающихся стран объявили о своих планах повысить климатические обязательства к 2020 году. Однако крупнейшие экономики мира пока воздержались от повышения своего вклада в эту борьбу. Германия подала пример, присоединившись к глобальной коалиции по выходу из угольной энергетики к 2038 г., а также объявив о принятых новых дополнительных обязательствах по сокращению выбросов парниковых газов. Финляндия объявила о цели стать первой страной, которая будет больше поглощать CO<sub>2</sub>, чем выбрасывать его в атмосферу. Ряд стран, включая Данию, Норвегию, Швецию, Швейцарию и Южную Корею, пообещали новые взносы в Зеленый климатический фонд ООН. Кроме того, более ста городов мира объявили о целях достижения нулевых выбросов к 2050 г.

Как уже отмечалось выше, всем этим событиям предшествовали активные усилия международного сообщества в последнюю четверть века. Рассмотрим подробнее процесс осознания опасности глобального потепления для человечества и биосферы Земли и меры, которые международное сообщество уже успело принять и реализовать для стабилизации климата Земли.

### **Глобальное потепление и меры, предпринимаемые международным сообществом для стабилизации климата**

То, что на нашей планете происходят масштабные изменения климата – это уже установленный факт [Rahmstorf, Schellnhuber 2007; Тарко 2005]. Большинство специалистов, к числу которых относится и автор настоящей статьи, утверждает, что происходит глобальное потепление, вызванное антропогенным воздействием человека. Справедливости ради следует отметить, что есть также немногочисленные сторонники сценария скорого наступления очередного естественного похолодания [Клименко и др. 1997].

*Установлена и главная причина глобального потепления. Это рост концентрации в атмосфере углекислого газа ( $CO_2$ ) и других парниковых газов вследствие их нарастающего выброса при сжигании ископаемого органического топлива – угля, нефти и газа.  $CO_2$  – это основной продукт сгорания ископаемого органического топлива. Парниковые газы поглощают инфракрасное тепловое излучение, испускаемое Землей, и нагревают приземную атмосферу. Таким образом, энергопотребление является ключевым фактором для климатических изменений и глобального потепления. На производство энергии приходится 2/3 глобальных выбросов парниковых газов [ОЕСД/ЛЕА, 2015: Energy...; ОЕСД/ЛЕА, 2015: Energy Technology...]. С другой стороны, энергия служит основным фактором современного экономического развития и создания комфортных условий для жизни и деятельности человека. Поэтому потребление энергии в мире растет во все возрастающем количестве. Так, с начала индустриальной революции, датируемой 1860 г., в течение последующих 155 лет в результате промышленной деятельности человека в атмосферу дополнительно поступило примерно 255 Гт углерода (Гигатонна = 1 млрд тонн), что повысило температуру приземной атмосферы примерно на 0,9 °С [US National...]. В целом за счет естественных и антропогенных факторов средняя температура воздуха в приземной области повысилась на 1 °С по сравнению с 1900 г. и сегодня составляет примерно 15 °С.*

Почему именно углекислый газ ( $CO_2$ ) выделяется из числа всех парниковых газов? Действительно, в структуре парниковых газов ведущее место занимает водяной пар, который задерживает примерно 60 % тепловых потоков, излучаемых Землей. Но само количество водяного пара в атмосфере определяется планетарным круговоротом воды и практически постоянно, то есть не сильно меняется со временем. Примерно 20 % тепла, исходящего от Земли, задерживается углекислым газом, главными природными источниками которого являются лесные пожары и извержения вулканов. На долю остальных парниковых газов – метана, хлорфторуглеродов, оксидов азота и др. – также приходится около 20 %. Но их концентрация в атмосфере несравненно меньше, чем концентрация

углекислого газа, и их совокупный парниковый эффект также незначительно меняется со временем. Поскольку метан обладает наивысшим парниковым эффектом, крайне важно позаботиться о сокращении его выбросов при добыче нефти и газа. Таким образом, *основную роль в усилении парникового эффекта играет  $\text{CO}_2$ , концентрация которого заметно росла в течение последних 150 лет индустриальной эпохи.* Такие природные явления, как циклические колебания мощности солнечного излучения, могут несколько усилить или ослабить парниковый эффект, но в долгосрочной перспективе только последний оказывает существенное влияние на климат Земли.

В доиндустриальную эпоху в атмосфере содержалось приблизительно 575 Гт углерода, причем это количество было практически постоянным в течение нескольких сотен тысяч лет, что свидетельствует о сбалансированности углеродного цикла в природе [Будыко 1974]. Таким образом, содержание углерода в атмосфере возросло к 2015 г. до 830 Гт, то есть наблюдается существенная разбалансировка углеродного цикла. Атмосферный углерод практически представлен в виде углекислого газа  $\text{CO}_2$  (двуокиси или диоксида углерода). Масса  $\text{CO}_2$  в атмосфере получается путем пересчета массы углерода (С) с помощью коэффициента 3,664. Следовательно, современная атмосфера содержит примерно  $3,041 \cdot 10^{12}$  т, или 3041 Гт углекислого газа  $\text{CO}_2$ .

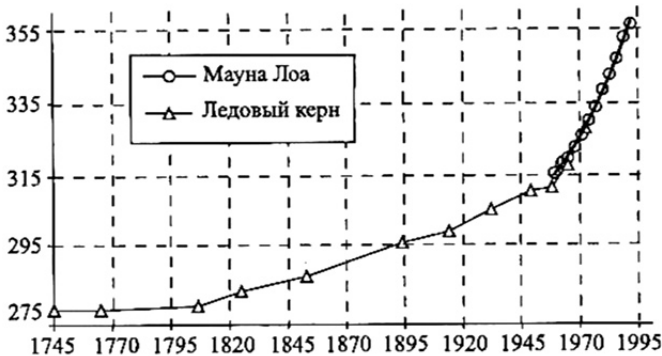
Обычно принято измерять объемную концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере в частях на миллион. Она присутствует в атмосфере в очень малом количестве, ее современная объемная концентрация составляет  $407 \text{ млн}^{-1}$ , или 407 ppm (parts per million), или 0,041 %. Заметим, что столь высокая концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере Земли отмечалась лишь миллионы лет назад [Будыко 1980]. В стабильной атмосфере в межледниковые периоды (около 120–140 тыс. лет назад) содержание  $\text{CO}_2$  измерялось концентрацией 280 ppm, что эквивалентно 575 Гт углерода. Причем на протяжении последних нескольких сотен лет она испытывала небольшие колебания около некоторого среднего значения ( $275 \pm 10$  ppm), которое естественно считается «доиндустриальным уровнем» [Thompson 2015]. Это означает, что равновесие между поглощением  $\text{CO}_2$  океанами и эко-

системами суши и его выбросом в атмосферу в доиндустриальную эпоху поддерживалось с большой точностью. *Сегодня большинство исследователей считают доиндустриальный уровень концентрации  $\text{CO}_2$  равным 280 ppm. Как видим, антропогенная деятельность человечества привела к значительной разбалансировке углеродного цикла, вследствие чего за последние 155 лет объемная концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере возросла до 407 ppm (0,041 %), то есть почти на 43 % [Будыко 1980]. Установлено, что антропогенный парниковый эффект на 67 % обусловлен добычей и сжиганием органического топлива, на 9 % исчезновением лесов и на 14 % промышленным производством, не связанным с энергетическим циклом [Исаев 2003].*

Насколько сильно влияют на климат Земли антропогенные выбросы  $\text{CO}_2$ ? Чтобы ответить на этот вопрос, климатологи используют специальную величину, которая называется чувствительностью климата. Единицей измерения чувствительности климата служит равновесное повышение приземной температуры воздуха при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$  (с 280 до 560 ppm). Еще в 1896 г. лауреат Нобелевской премии шведский ученый Сванте Аррениус впервые подсчитал, что увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере в 2 раза должно привести к повышению ее температуры на 4–6 °С. В 1970-е гг. Национальная академия наук США оценила температурный эффект удвоения концентрации  $\text{CO}_2$  в 1,5–4,5 °С [Rahmstorf, Schellnhuber 2007]. Эта оценка в дальнейшем была проверена и подтверждена многими независимыми исследованиями, например, в [Schlesinger 1983]. Однако существенно сузить данный интервал, к сожалению, пока не удалось: по современным оценкам, он составляет от 2 до 4,5 °С. Источником неопределенности служит преимущественно недостаток сведений о воздействии облачности. Дело в том, что нагревание атмосферы с ростом концентрации  $\text{CO}_2$  подавляется одновременно усиливающейся облачностью, то есть облачность несколько сглаживает тепловой эффект  $\text{CO}_2$ . По оценке С. Шнейдера [Schneider 1972], увеличение (уменьшение) облачности на величину порядка одного балла может привести к уменьшению (увеличению) температуры воздуха у поверхности Земли на 1,5–2 °С.

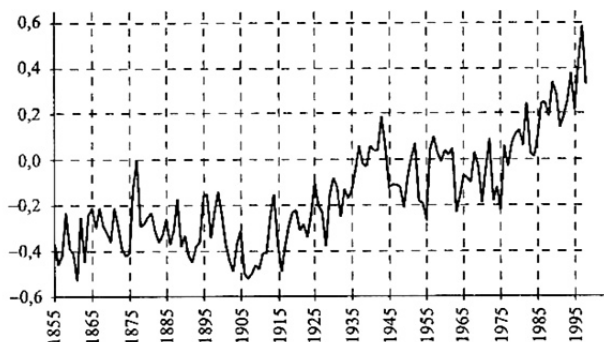
В качестве наиболее вероятного значения величины чувствительности климата следует рассматривать величины, близкие к  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  [Будыко 1974; Manabe, Wetherald 1975]. При этом важно то, что весьма близкие результаты были получены с применением различных теорий климата. В первой работе [Будыко 1974] была разработана полуэмпирическая теория термического режима атмосферы, основанная на энергетическом балансе земной поверхности и атмосферы. Во второй работе [Manabe, Wetherald 1975] была разработана численная модель теории климата, основанная на модели общей циркуляции атмосферы с учетом циркуляции вод в океанах. Кроме того, чувствительность климата, равная  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хорошо согласуется с данными ледникового периода. Поэтому в работе [Rahmstorf, Schellnhuber 2007] сделан следующий вывод: чувствительность климата следует оценивать в  $3 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Там же сформулированы пять основополагающих тезисов, которые за последние десятилетия получили настолько убедительные подтверждения, что их справедливость признана абсолютным большинством активно работающих климатологов и уже не вызывает дискуссий. Они являются аксиомами. К их числу относятся следующие:

1. Начиная приблизительно с 1850 г. концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере значительно увеличилась, как показано на рис. 1: с 280 ppm – типичной для межледниковий за последние 400 000 лет до величины 407 ppm в настоящий момент.



**Рис. 1.** Рост концентрации  $\text{CO}_2$  (млн<sup>-1</sup>) в атмосфере по данным ледового керна Антарктиды 1745–1973 гг. и измерений на станции Мауна-Лоа 1959–1992 гг. (по данным [TREND's 93... 1994])





**Рис. 2.** Аномалии приземной глобальной температуры атмосферы (°C) в 1856–1999 гг. (по данным [Jones *et al.* 1994])

2. Причиной этого изменения является хозяйственная деятельность человека: в первую очередь – сжигание ископаемого органического топлива, во вторую – сведение лесов.

3. CO<sub>2</sub> воздействует на климат, изменяя радиационный баланс Земли: рост концентрации этого газа ведет к повышению приземной температуры атмосферы. Весьма вероятно, что при удвоении его концентрации (с 280 до 560 ppm) средняя глобальная температура повысится на  $3 \pm 1$  °C.

4. В XX в. имело место значительное потепление климата (в глобальном масштабе – примерно на 0,8 °C, а в Европе – на 1 °C); температуры последних десяти лет были в глобальном масштабе самыми высокими со времени начала наблюдений в XIX в., как видно из рис. 2.

5. Основная составляющая часть этого потепления  $\approx 0,6$  °C обусловлена ростом концентрации CO<sub>2</sub> и других антропогенных газов; меньшая составляющая часть имеет естественные причины, в частности колебания солнечной активности.

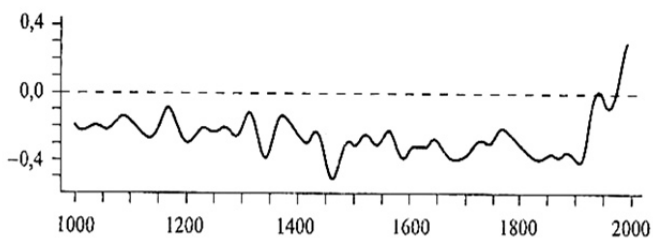
Температура воздуха является важнейшим климатическим фактором, который определяет характер и условия жизни человека и его хозяйственной деятельности. Изменения температуры атмосферы приводят к изменениям интенсивности биологических процессов на суше и в океане и вызывают нарушения установившихся биогеохимических циклов. Поэтому последствия глобального потепления могут быть весьма разрушительными [Rahmstorf, Schellnhu-

ber 2007; Будыко 1980]. Следовательно, необходимо использовать все возможности для уменьшения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Наиболее доступным и эффективным средством на этом пути будет постоянная забота о повышении абсорбирующей способности природных естественных поглотителей углерода – необходимо высаживать леса и рекультивировать земли сельскохозяйственного назначения.

По утверждению межправительственной группы экспертов по изменению климата – МГЭИК (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), до 1976 г. изменчивость климата не превышала естественных вариаций, оцененных на промежутке времени около 1000 лет, но после этого амплитуда колебаний температуры превысила этот порог, и стало возможным говорить об антропогенном глобальном потеплении вследствие возросшего парникового эффекта [IPCC 2001]. Таким образом, опасность представляет не парниковый эффект как таковой, а превышение им установившегося фонового уровня. Ведь именно благодаря парниковому эффекту среднегодовая температура в приземной атмосфере в последние тысячелетия находилась примерно на уровне  $+14\text{ }^\circ\text{C}$ , что сделало климат на Земле комфортным и пригодным для жизни. Без парникового эффекта вся наша планета неминуемо должна была бы покрыться льдом, поскольку тогда средняя температура приземной атмосферы составила бы  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ . Причиной беспокойства по поводу глобального потепления является то, что естественный природный механизм искусственно усиливается хозяйственной деятельностью человека. *Ход температуры за последнее тысячелетие по данным третьего доклада МГЭИК [Ibid.] изображен на рис. 3, который наглядно демонстрирует почти скачкообразное увеличение глобальной средней температуры воздуха примерно на  $0,8\text{ }^\circ\text{C}$  по сравнению с 1900 г. Вклад антропогенных факторов (парниковые газы и аэрозоли), в потепление климата в XX в. по данным МГЭИК [Ibid.], оценивается примерно в  $0,6\text{ }^\circ\text{C}$ .*

Итак, выше мы приняли гипотезу о том, что современное глобальное потепление напрямую связано с ростом индустриальных выбросов  $\text{CO}_2$ . Справедливости ради необходимо подчеркнуть, что данная гипотеза до сих пор не получила строгого и полного доказательства. Наличие зарегистрированной эмпирической связи между

указанными двумя процессами не означает, что эта связь является строго причинно-следственной. Современные климатические модели общей циркуляции атмосферы и океана на основании учета парникового эффекта индустриальных выбросов  $\text{CO}_2$  и действия аэрозолей достаточно хорошо описывают приведенный выше ход температуры в XX в. [Тарко 2005; Manabe, Wetherald 1975]. Однако, как справедливо отмечает один из пионеров в разработке этих моделей А. Тарко [2005], математическая модель также не может слугить доказательством наличия причинной связи.



**Рис. 3.** Аномалии средней глобальной температуры атмосферы ( $^{\circ}\text{C}$ ) за последнее тысячелетие по данным МГЭИК [IPCC 2001].  
По горизонтальной оси – годы, н. э.

*Главы государств и правительств, участвовавшие в конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г., знали как о недоказанности антропогенного происхождения глобального потепления, так и о возможных серьезных последствиях увеличения  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Тем не менее они проявили мудрость и приняли Рамочную конвенцию ООН по изменению климата (РКИК ООН; United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), предусматривающую значительное сокращение выбросов в атмосферу парниковых газов, и в первую очередь углекислого газа (диоксида углерода) при сжигании ископаемого органического топлива (угля, нефти, газа). РКИК ООН была ратифицирована всего 50 государствами.*

Это было поистине историческое решение, поскольку впервые большинством руководителей государств была признана необходимость глобального изменения хозяйственной деятельности человечества, связанная с самоограничением. Указанное решение базировалось на утвержденном ими же в Декларации на этой конфе-

ренции фундаментальном принципе предосторожности. Согласно этому принципу «в тех случаях, когда существует угроза серьезного или необратимого ущерба, отсутствие полной научной уверенности не используется в качестве причины для отсрочки принятия экономически эффективных мер по предупреждению ухудшения состояния окружающей среды» [Доклад... 1992].

Вслед за этим в 1997 г. был принят Киотский протокол, конкретизирующий условия сокращения выбросов для отдельных стран, который был одобрен уже 160 странами. В дальнейшем, с учетом все новых аргументов в пользу антропогенного повышения температуры воздуха вследствие роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, МГЭИК (IPCC) в своем четвертом докладе дала рекомендацию о наличии причинной связи потепления и выбросов углекислого газа, подтвердив вышеприведенные пять тезисов, касающихся глобального потепления [IPCC 2007].

Сразу же после принятия в 1992 г. в Рио-де-Жанейро Рамочной конвенции ООН по стабилизации климата встал вопрос о допустимых пределах глобального потепления. По мнению большинства климатологов – членов МГЭИК, предел повышения температуры не должен превышать 2–3 °С по сравнению со средней температурой доиндустриальной эпохи, равной +14 °С. Уже в 1996 г. на заседании Европейского совета в Люксембурге было принято решение о том, что «глобальная средняя температура доиндустриального уровня не должна быть превышена более чем на 2 °С, и поэтому глобальные усилия, направленные на ограничение или сокращение выбросов, должны ориентироваться на концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере, не превышающую 550 ppm» [Rat... 1996]. В дальнейшем лимит потепления, равный 2 градусам, был неоднократно подтвержден различными решениями Совета министров экологии ЕС и стал точкой отсчета, на которую ориентируются все европейские программы по ограничению воздействия на климат. Наконец, в 2010 г. в Канкуне (Мексика) на очередной конференции РКИК ООН было подписано общемировое соглашение, в соответствии с которым глобальное потепление должно быть ограничено 2 °С сверх доиндустриального уровня.

Для того чтобы удержать глобальное потепление в указанных допустимых пределах, рекомендуется повсеместно переходить на

*низкоуглеродную энергетику и сократить средний ежегодный прирост выбросов по меньшей мере до 14 Гт CO<sub>2</sub> к 2050 г., или вдвое по сравнению с уровнем 2005 г. (28 Гт) [Energy... 2010]. Сегодня всех волнует реальная возможность достижения указанной цели, а самое главное, каким должен быть сценарий энергетического развития, способный обеспечить достижение этой цели.*

Итогом конференции ООН по охране окружающей среды в декабре 2009 г. в Копенгагене, на которой планировалось принять документ, приходящий на смену Киотскому протоколу, стала лишь декларация, разработанная небольшой группой политических лидеров, которая не имеет статуса решения ООН [Decision... 2009]. Однако важно то, что она была подписана руководителями крупнейших стран мира – США и БРИКС, которые являются также крупнейшими загрязнителями атмосферы. Первое место по загрязнению атмосферы занимает Китай (25 % от мирового уровня), на втором – США (19 %). Затем следуют ЕС (12 %), Индия (7 %), Россия (6 %), страны Ближнего Востока (6 %) и Япония (5 %). Как видно, на все остальные 170 стран развивающегося мира приходится оставшиеся 20 % выбросов. *Копенгагенская декларация фактически стала политической платформой будущих действий как на глобальном, многостороннем, так и на национальном уровне. В декларации было признано, что антропогенное изменение климата – одна из важнейших проблем человечества, откуда вытекает настоятельная необходимость ограничения глобального потепления уровнем в 2 °С.* В ней также отмечались важная роль низкоуглеродных технологий в достижении этой цели и потребность в дополнительном финансировании для развивающихся стран в практическом использовании этих технологий. Для прорыва в этой сфере развитым странам рекомендовалось активизировать передачу низкоуглеродных технологий развивающимся странам на основе их совместного использования при действенной схеме финансирования. В этих целях и был создан Зеленый климатический фонд.

Страны, согласовавшие Копенгагенскую декларацию, пожертвовали ее юридически обязывающим характером в обмен на добровольные обязательства о действиях со стороны крупных развитых и развивающихся стран, что в полной мере нашло свое отражение в Парижском климатическом соглашении и принесло успех

Парижской конференции 2015 г. Действительно, многие крупнейшие страны заявили о стремлении ограничить либо существенно снизить выбросы  $\text{CO}_2$  в расчете на единицу ВВП. Так, например, Китай объявил о намерении уменьшить углеродоемкость своей экономики (выбросы  $\text{CO}_2$  на единицу ВВП) на 40–45 % к 2020 г. по сравнению с 2005 г., Индия заявила о соответствующем снижении на 20–25 %, Россия – о планах снизить уровень выбросов к 2020 г. на 25 % по сравнению с 1990 г. Развитые страны также приняли соответствующие обязательства. США объявили о сокращении выбросов парниковых газов на 17 % к 2020 г. по сравнению с 2007 г. и на 83 % – к 2050 г., а также о намерении производить не менее 25 % всей электроэнергии в стране из возобновляемых источников (ВИЭ). Евросоюз подтвердил намерение добиваться увеличения доли ВИЭ в общем балансе энергопроизводства к 2020 г. до 20 % и сократить выбросы парниковых газов на 25 %.

Однако для достижения температурных целей, утвержденных Парижским климатическим соглашением, осуществления ранее принятых обязательств определяемых на национальном уровне вкладов (ОНУВ) далеко недостаточно. По последним расчетам МГЭИК [IPCC 2018], текущие обязательства всех стран по ОНУВ приведут к глобальному потеплению примерно на 3 °C к 2100 г., после чего потепление продолжится [Доклад ПРООН... 2018]. В сценариях на основе текущих планов осуществления ОНУВ прогнозируется, что глобальные выбросы  $\text{CO}_2$  достигнут своего пикового уровня в лучшем случае к 2030 г. Расчеты МГЭИК показали, что выход на глобальный пик выбросов  $\text{CO}_2$  к 2020 г. имеет решающее значение для достижения целей Парижского соглашения по удержанию потепления в пределах 2 °C, а лучше – 1,5 °C [Там же]. Поэтому перед правительствами всех стран мира стоит важнейшая задача по пересмотру своих ОНУВ в сторону повышения уже к 2020 г. Сейчас, как никогда ранее, от всех государств мира требуется перейти к беспрецедентным и неотложным действиям.

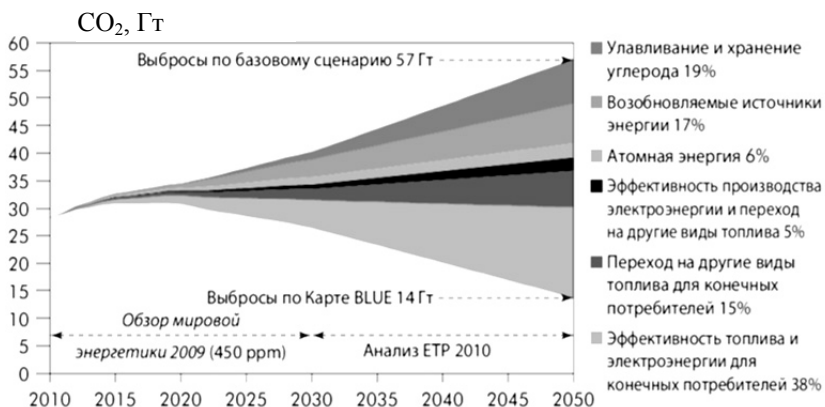
В период с 2014 по 2016 г., когда объемы выбросов  $\text{CO}_2$  от сжигания ископаемых видов топлива, производства цемента и других промышленных процессов оставались относительно стабильными, казалось, что начинают проявлять себя признаки скорого достижения пиковых значений выбросов. Но в 2017 г. произошло увеличе-

ние глобальных выбросов на 1,2 %, что породило значительную неопределенность в отношении того, не было ли снижение выбросов в 2014–2016 гг. вызвано главным образом замедлением темпов мирового экономического роста до 3,1 % в 2015 г., тогда как в 2017 г. прирост мировой экономики возрос и составил 3,8 %. Причем прогнозируется, что в 2020 г. эти темпы будут только расти. Для того чтобы мир встал на путь удержания глобального потепления в пределах 1,5–2 °С, в 2030 г. глобальные выбросы CO<sub>2</sub> необходимо сократить от уровня 2017 г. примерно на 25 % и 55 % соответственно [Доклад ПРООН... 2018].

### Сценарии энергетического развития

Чтобы оценить возможные последствия дальнейшего роста концентрации парниковых газов для изменения климата в будущем, исследователи проводят математическое моделирование и компьютерные расчеты, проигрывая в них различные сценарии мирового экономического развития. Проблемы изменения климата непосредственно пересекаются с экономическими в сфере энергетики, поскольку именно с ней связан основной объем антропогенных выбросов (порядка 67 %). Поэтому политика государств и межгосударственных объединений в области их сокращения будет одним из основных факторов при принятии решений в этой сфере. Итак, в борьбе с потеплением климата энергетический сектор играет ключевую роль. Как мы убедились выше, энергетические стратегии ведущих стран мира сегодня исходят из необходимости снизить выбросы парниковых газов, с которыми ассоциируется антропогенное изменение климата. *Анализ и сравнение различных сценариев мирового энергетического развития регулярно осуществляются Международным энергетическим агентством МЭА (IEA) [IEA]. Доклад МЭА «Energy Technology Perspectives 2010» [Energy... 2010] находится в этом русле, представляя позицию МЭА по вопросу о том, как низкоуглеродные энергетические технологии (low-carbon future) могут способствовать снижению эмиссии углекислого газа и одновременно служить мощным средством для повышения энергетической безопасности и обеспечения экономического развития.*

В докладе МЭА 2010 [Energy... 2010] излагается анализ и проводится сравнение различных сценариев энергетического развития, как показано на рис. 4. Базовый сценарий исходит из основного сценария (the Reference scenario to 2030) энергетического прогноза до 2030 г. [IEA 2009] и экстраполирует его до 2050 г. Он предполагает, что правительства ведущих стран не принимают каких-либо новых специальных политических решений в области энергетического развития и климатических изменений. Уровень эмиссии  $\text{CO}_2$  в соответствии с Базовым сценарием к 2050 г. возрастет до 57 Гт в сравнении с 32 Гт в 2015 г. (см. рис. 4), что категорически неприемлемо.



**Рис. 4.** Основные технологии сокращения выбросов  $\text{CO}_2$  согласно сценарию *Blue Map*

В противоположность этому сценарий «Голубая карта» (*Blue Map Scenario*) в различных вариантах ориентирован на достижение высоких целей: он ставит цель снижения эмиссии  $\text{CO}_2$  к 2050 г. в два раза по сравнению с 2005 г., до уровня 14 Гт, и рассматривает самые дешевые способы ее реализации на основе освоения существующих и новых низкоуглеродных технологий. Как видно из рис. 4, снижение выбросов  $\text{CO}_2$  в соответствии со сценарием «Голубая карта» должно быть достигнуто за счет применения следующих технологий: 1) применение системы захвата и захоронения части углерода (Carbon Capture and Storage – CCS) позволит сократить



выбросы на 19 %; 2) использование ВИЭ – на 17 %; 3) расширение использования атомных электростанций – на 6 %; 4) повышение эффективности генерации – на 5 %; 5) использование гибридных двигателей и установок в секторе конечного потребления энергии – на 15 %; 6) повышение эффективности конечного потребления топлива и электроэнергии – на 38 %. Отсюда следует, что *наиболее значительные перспективы снижения выбросов углекислого газа связаны с повышением эффективности конечного энергопотребления. Поэтому повышение энергоэффективности должно иметь наивысший приоритет как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.*

Таким образом, как показано в сценарии «Голубая карта», используя комбинации существующих и новых технологий, можно обеспечить сокращение связанной с энергетикой глобальной эмиссии CO<sub>2</sub> вдвое к 2050 г. Это потребует больших инвестиций, однако выгоды, связанные с благоприятным состоянием окружающей среды, повышением энергетической безопасности и снижением стоимости энергоресурсов, тоже будут существенными. Например, цена на нефть по данному сценарию будет составлять в 2050 г. только 70 долларов за баррель (в ценах 2008 г.), тогда как по базовому сценарию она может достигнуть 120 долларов за баррель (в ценах 2008 г.). *Не следует забывать и об энергосбережении, потенциал которого все еще огромен. Например, только на освещение в мире приходится более 20 % потребления электроэнергии. Повсеместное внедрение светодиодов и светодиодных технологий может сократить этот показатель как минимум вдвое и сэкономить свыше 10 % потребляемой в мире электроэнергии. Прогнозируется, что уже к 2020 г. от 60 % до 80 % освещения в мире будет светодиодным, а объем высокотехнологичного рынка светодиодов и светодиодной техники достигнет 80 млрд долларов США.*

Итак, именно широчайшее использование ВИЭ в сочетании с быстрым повышением энергоэффективности составляет краеугольный камень приемлемого решения по стабилизации климата Земли. Для достижения температурных целей Парижского соглашения глобальная энергетическая система должна быть перестроена. Она должна трансформироваться из системы, основанной пре-

имущественно на ископаемом углеродном топливе, в систему, повсеместно основанную на ВИЭ и постоянно повышающую энергоэффективность. В этом и состоит сущность новой энергетической революции. Для того чтобы удержать рост температуры ниже 2 °С, требуется: 1) чтобы суммарная для ВИЭ в запасах первичной энергии возросла к 2050 г. с 15 % в 2015 г. до примерно 2/3, то есть до 67 %; 2) наряду с этим уменьшить общие объемы потребляемой первичной энергии к 2050 г. до уровней меньших, чем уровень потребления 2015 г. (≈13,37 млрд тонн нефтяного эквивалента), путем постепенного повышения энергоэффективности [IRENA 2018].

Поскольку электроэнергия становится основным энергоносителем в новой энергетической системе, основанной преимущественно на ВИЭ, то доля электричества, потребляемого в областях конечного потребления, должна удвоиться с 20 % в 2015 г. до 40 % к 2050 г. Причем доля ВИЭ в энергетическом секторе должна увеличиться с 25 % в 2017 г. до 85 % в 2050 г. [Ibid.]. По данным BNEF (Bloomberg New Energy Finance), для удовлетворения мирового спроса на электроэнергию в 2050 г. потребуются инвестиции в размере 13,3 трлн долларов, из которых 5,3 трлн долларов пойдут на солнечную энергетику и 4,2 трлн долларов – на ветровую. Генерация солнечной и ветровой энергии возрастет с нынешних 9 % до 48 %. По тем же прогнозам, к 2050 г. доля угля резко снизится до 12 % с нынешних 30 %, а использование нефти в качестве топлива будет сведено к минимуму. Электромобили станут основным транспортным средством. А энергия природных газов, воды и атомная сохранятся примерно на нынешнем уровне.

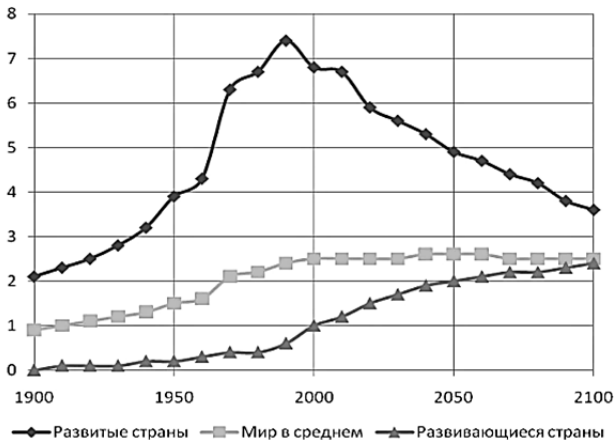
Вышеуказанные сценарии энергетического развития не являются прогнозами. Поэтому они позволяют оценить климатические последствия того или иного способа наших действий. Таким образом, для расчета климатических сценариев нам прежде всего требуются сценарии выбросов, то есть предположительные оценки будущей динамики антропогенной эмиссии углекислого газа, других парниковых газов и аэрозолей. Так, между 1996 и 2000 гг. группа экономистов составила целый набор из 40 таких сценариев и подробно описала его в Специальном докладе МГЭИК (IPCC) о сценариях выбросов [IPCC 2000]. Эти сценарии покрывают весь

*спектр экономически достоверных вариантов развития ситуации в будущем. В самом пессимистичном сценарии к 2100 г. выбросы CO<sub>2</sub> возрастут в четыре раза, а по оптимистичным сценариям в дальнейшем нас ожидает умеренный рост эмиссии, за которым последует ее постепенное снижение до долей нынешних объемов выброса. Согласно этим сценариям, концентрация CO<sub>2</sub> к 2100 г. возрастет до 540–970 ppm, то есть от 90 % до 250 % по отношению к доиндустриальному уровню в 280 ppm, при условии, что доля выбросов, поглощаемая океанами и биосферой, останется без изменений.*

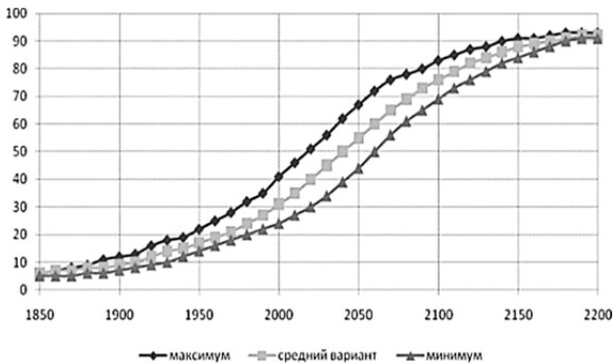
*Далее со стороны членов МГЭИК (IPCC) были задействованы климатические модели, чтобы рассчитать все возможные последствия этих сценариев применительно к глобальной средней температуре. Результатом этих расчетов было потепление на 1,1–6,4 °C за период с 1990 по 2100 г. А это означает, что если не будут приняты меры по смягчению воздействий на изменение климата, то антропогенное потепление к 2100 г. может составить приблизительно от 2 до 7 °C и более по сравнению с доиндустриальной величиной. Выше уже отмечалось: если случится так, что средняя глобальная температура на Земле вырастет на 5 °C, то нашу планету ждет повторение трагедии пермского периода, когда произошло массовое вымирание всего живого. В океанах, по их расчетам, погибнет до 90 % живых существ, поскольку значительная часть избыточного CO<sub>2</sub> поглощается океанами. Очевидно, что целесообразно сузить число рассматриваемых сценариев, чтобы можно было выбрать наиболее подходящий сценарий энергетического развития из числа тех, которые отвечают складывающимся в XXI в. естественным тенденциям в этой сфере.*

В ряде работ [Акаев 2012а; 2012б: 76; Акаев 2014] мы показали, что существует сценарий энергоэкологического развития, стабилизирующий климат Земли в пределах указанного выше лимита в 2 °C, который отвечает новой парадигме энергопотребления, заключающейся в стабилизации душевого энергопотребления для населения развитых стран в XXI в. на более низком, но достаточно комфортном уровне. Было отмечено, что этот уровень душевого энергопотребления для мира в целом составляет приблизительно 2,5 тонн

условного топлива (т. у. т.) в год [US National..., Плакиткин 2006], как показано на рис. 5. Переход к новой парадигме энергопотребления начался в 1970-х гг. после энергетического шока, вызванного нефтяным кризисом. Развитые страны после энергетического кризиса резко повысили эффективность использования энергии со стороны конечных потребителей (рис. 6) и путем широкомасштабного использования энергосберегающих технологий снизили энергопотребление.



**Рис. 5.** Прогноз душевого потребления энергии (т у. т./чел.) в развитых и развивающихся странах



**Рис. 6.** Прогноз коэффициента использования энергии (%) в развитых странах

Фактическое снижение душевого энергопотребления в развитых странах началось уже в 1990-х гг. Это снижение будет продолжаться весь XXI век. Уже к середине XXI в. душевое потребление энергии в развитых странах снизится на 40–45 % и затем стабилизируется, выйдя на стационарные уровни, указанные в табл. 1. Последние должны стать нормативами на будущее. Они также отвечают обязательствам, взятым развитыми странами еще на Копенгагенской конференции ООН по окружающей среде (2009 г.). К тому же эксперты полагают, что уровень душевого энергопотребления выше 3,5 т у. т./год является весьма комфортным для граждан развитых стран. Развивающиеся страны, напротив, повысят душевое энергопотребление до среднемирового уровня в 2,5 т у. т., обеспечивающего индустриализацию их экономик (см. табл. 1).

Таблица 1

#### Уровни душевого энергопотребления ведущих стран мира в XXI в.

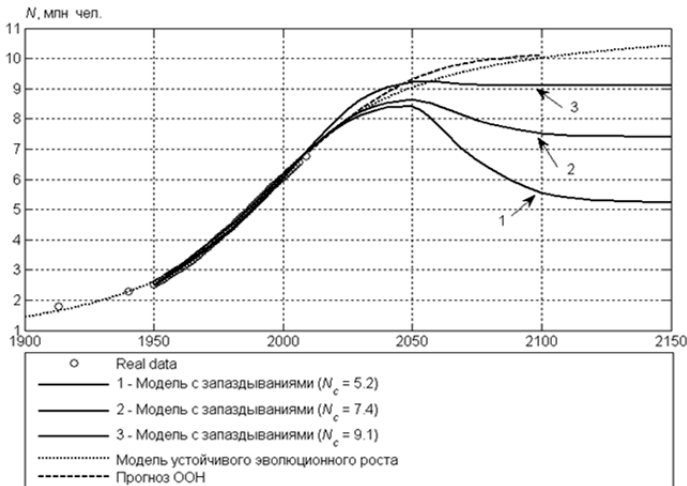
| Страны  | Душевое энергопотребление, т у. т./чел. |                 |
|---|---|-----------------|
|   | наст. время                             | к середине века |
| Мир в целом   | 2,4                                     | 2,5             |
| Страны с душевым энергопотреблением выше среднемирового | 6,9                                     | 4,0             |
| США   | 9,5                                     | 5,5             |
| Россия  | 6,2                                     | 4,5             |
| ЕС – Япония   | 5                                       | 3,5             |
| Страны с душевым энергопотреблением ниже среднемирового | 1                                       | 2,5             |
| КНР   | 1,2                                     | 2,5             |
| Индия   | 0,8                                     | 2,5             |

*В основе нашей модели климатического прогноза также лежит сценарный метод, позволяющий по выбранному сценарию энергетического развития рассчитать динамику выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу и вызванную ею динамику изменения средней глобальной температуры атмосферы. Среди множества сценариев энергетического развития, о которых говорилось выше, мы выбрали отвечающий новой парадигме энергопотребления, которая, в свою очередь, заключается в стабилизации душевого энергопотребления в XXI в. на более низком, но достаточно комфортном уровне. Если до нефтяного кризиса потребность в энергии росла пропорционально квадрату численности населения мира ( $E \sim N^2$ ), то при пол-*

ном переходе к новой энергетической парадигме она будет расти прямо пропорционально численности населения ( $E \sim N$ ) [Акаев 2012б].

Таким образом, расчет динамики глобального энергопотребления сводится к расчету роста численности населения Земли, для которого имеется эффективная математическая модель [Акаев, Садовничий 2010], позволяющая рассчитать долгосрочный прогноз демографической динамики. Пользуясь этой моделью, мы рассчитали последовательно наиболее вероятные сценарии роста численности населения Земли в XXI в. (рис. 7) и глобального энергопотребления (рис. 8) [Акаев 2012а; 2012б: 76].

Новая парадигма энергопотребления направлена по существу на практическую реализацию энергетического сценария «Голубая карта», она использует в основном технологии, указанные в пунктах 4 и 6, то есть за счет огромного еще неиспользованного потенциала энергосбережения и повышения уровня энергоэффективности. Эффект технологий, направленных на снижение эмиссий  $\text{CO}_2$  (пп. 1 и 5), должен быть учтен на стадии расчета динамики выбросов углекислого газа в атмосферу. Что же касается технологий замещения углеводородных топлив (пп. 2 и 3), – они должны учитываться при рассмотрении структуры энергопотребления по источникам.



**Рис. 7.** Различные сценарии развития динамики численности населения мира в XX–XXII вв. (млрд чел.)

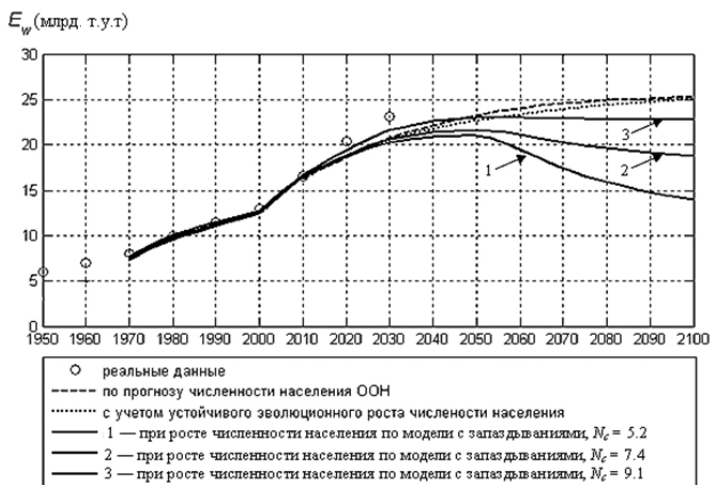


Рис. 8. Динамика мирового энергопотребления

Поскольку рассмотренный нами сценарий отвечает складывающейся в течение последних трех десятилетий глобальной тенденции энергопотребления, то он может быть реализован с большой вероятностью и при добровольном планировании национальных целей по сокращению выбросов. Что же касается сценария МЭА «Голубая карта», предусматривающего снижение эмиссии  $\text{CO}_2$  к 2050 г., то очевидно, что для его реализации потребуются принятие юридически обязательных национальных планов по сокращению выбросов к 2050 г. Но если это удастся осуществить, то вполне возможно добиться амбициозной цели, принятой в Парижском соглашении — удержать прирост средней глобальной температуры в пределах  $1,5^\circ\text{C}$  к концу XXI в.

*Проведенный в данном разделе анализ климатических последствий сценария энергоэкологического развития, отвечающего тенденции перехода к новой парадигме глобального энергопотребления, показывает целесообразность использования, наряду с целями сокращения выбросов парниковых газов, дополнительного показателя: целей по ограничению душевого потребления углеводородного ископаемого топлива (угля, нефти и газа) к 2030–2050 гг. с установлением обоснованных нормативов для различных групп стран, как развитых, так и развивающихся.*

## Структура современного мирового топливно-энергетического баланса (ТЭБ)

В предыдущем разделе мы привели график динамики суммарной потребности в энергии, которая необходима человечеству для устойчивого развития XXI в. Она будет обеспечена за счет различных источников энергии: угля, нефти, природного газа, гидроэнергетики (ГЭС), атомной энергии (АЭС) и возобновляемых источников энергии (ВИЭ). *Нас главным образом будут интересовать углеводородные топливные ресурсы – уголь, нефть и газ, при сжигании которых выделяются огромные массы углерода (С), в основном в виде углекислого газа (СО<sub>2</sub>) выбрасывающегося в атмосферу. Причем с учетом потерь при транспортировке и распределении, неполноты сгорания имеют место следующие оценки коэффициентов, определяющих выброс углерода на единицу тонны условного топлива, используемого в энергетических целях [Клименко и др. 1997]: уголь – 0,733 т.С/т у. т.; нефть – 0,586 т.С/т у. т.; газ – 0,398 т.С/т у. т. Как видим, уголь является самым «грязным», а газ – самым «чистым» углеводородным топливом с почти двойным разрывом.*

Таблица 2

### Мировой топливно-энергетический баланс

| Годы                                     | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2005  | 2010  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|--|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Мировое потребление энергии, млн т н. э. |      |      |      |      | 8194 | 9277 | 10678 | 11863 | 13371 | 14600 | 15558 | 16518 |
| Уголь (%)                                | 51,8 | 35,3 | 23,4 | 16,5 | 27,4 | 24,3 | 27,0  | 29,5  | 30,2  | 29,5  | 28,2  | 27,1  |
| Нефть (%)                                | 31,8 | 41,5 | 50,3 | 50,8 | 38,9 | 38,8 | 36,5  | 32,9  | 30,7  | 29,2  | 28,2  | 26,0  |
| Газ (%)                                  | 10,2 | 15,8 | 18,3 | 19,3 | 21,8 | 23,5 | 23,6  | 24,1  | 24,5  | 25,2  | 25,7  | 26,2  |
| ГЭС (%)                                  | 6,2  | 7,4  | 7,2  | 6,2  | 5,9  | 6,5  | 6,2   | 6,5   | 6,4   | 6,6   | 6,7   | 6,9   |
| АЭС (%)                                  | -    | -    | 0,8  | 7,2  | 5,6  | 6,3  | 5,8   | 5,2   | 5,4   | 5,6   | 6,0   | 6,6   |
| ВИЭ (%)                                  | -    | -    | -    | -    | 0,4  | 0,5  | 0,7   | 1,3   | 2,1   | 3,0   | 4,0   | 4,8   |
| Биотопливо (%)                           | -    | -    | -    | -    | 0,1  | 0,1  | 0,2   | 0,5   | 0,7   | 0,9   | 1,2   | 1,4   |



Окончание Табл. 2

| Годы                              | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2005 | 2010  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Органическое топливо (%)          | 93,8 | 92,6 | 92,0 | 86,6 | 88,1 | 86,6 | 87,1 | 86,5  | 85,4  | 83,9  | 82,1  | 79,3  |
| Органическое топливо, млн т н. э. |      |      |      |      | 7219 | 8034 | 9300 | 10102 | 11419 | 12249 | 12873 | 13098 |

Источник данных: World Energy Outlook 2010 – ANNEXES [IEA 2010].

Сегодня около 85 % всей первичной энергии производится из ископаемых топливных ресурсов – угля, нефти и природного газа. В последнее время прилагаются огромные усилия для замещения углеводородного топлива с помощью атомной энергии, ВИЭ и других альтернативных источников энергии, например, таких как водородная энергетика. Многие эксперты полагают, что уже к середине века (к 2050 г.) доля последних превысит 50 % и станет преобладающей по отношению к углеводородным источникам энергии. Динамика изменения мирового топливно-энергетического баланса за последние полвека, по данным МЭА [IEA 2010], а также прогноз до 2030 г. [Ibid.] представлены в табл. 2. МЭА прогнозирует дальнейший рост потребления энергоресурсов. Как видно из табл. 2, по оценке МЭА, суммарное потребление первичной энергии в период с 2015 по 2030 г. будет возрастать в среднем на 1,6 % в год и увеличится с 13,4 млрд т н. э. (нефтяного эквивалента) до 16,5 млрд т н. э. Эти данные легко перевести в т у. т. путем умножения на коэффициент, равный 1,4 (поскольку 1 т нефти = 1,4 т у. т.). Рассмотрим подробнее перспективы применения каждого из указанных в табл. 2 основных источников энергии.

**Нефть.** В первой трети XXI в. нефть останется доминирующим видом топлива, а затем постепенно начнет уступать эту позицию природному газу. Однако она будет играть значительную роль вплоть до конца XXI века, поскольку заменить жидкое топливо будет крайне трудно как с технологической, так и с экономической точки зрения. Рост спроса на нефть будет поддерживаться

прежде всего перевозчиками грузов, авиационной и нефтехимической промышленностью, где применить альтернативные источники энергии затруднительно. Доля нефти в ТЭБ будет монотонно и медленно снижаться, и прогнозируется, что к концу XXI в. ее доля уменьшится примерно в 4 раза по сравнению с сегодняшней и станет равной 7–8 %.

Парижское соглашение, скорее всего, не повлияет на нефтяной сектор в следующие 10–15 лет. МЭА в целом сохранило прогноз спроса на нефть до 2030 г. [World Energy... 2016]. Коренные изменения в этом секторе могут произойти с наступлением эры электромобилей или водородного топлива. Но это произойдет не ранее 2030 г. Для массового применения электромобилей существуют как технологические, так и экономические ограничения. С точки зрения ценовой конкурентоспособности электромобиля главным ограничителем является стоимость батарейного блока. Сегодня она в среднем составляет 460 долларов за 1 кВт·ч, а для того чтобы электромобиль стал массовым, эта цена должна снизиться вдвое – хотя бы до 250 долларов за 1 кВт·ч. Мировой спрос на нефть в 2015 г. составил 92,5 млн баррелей в сутки (б/с). При умеренном выполнении требований Парижского соглашения МЭА прогнозирует плавный рост мирового спроса на нефть до 103,5 б/с к 2040 г. [Ibid.]. Но если к 2030 г. доля электромобилей составит 40 % от всего мирового автопарка, то спрос на нефть достигнет пикового значения 98 млн б/с в 2020-е гг., а затем начнет снижаться и упадет до 86 млн б/с к 2030 г. [Ibid.].

**Газ.** Суммарных выявленных и прогнозных запасов газа хватит более чем на 100 лет при годовой добыче 3–6,5 трлн м<sup>3</sup>. *Потребление газа будет неуклонно расти и в 2030 г. доля газа (26,2 %) достигнет и затем превысит долю жидкого топлива (26 %), а к 2050 г. значение газа станет так же велико, как значение нефти в настоящее время. К тому времени газ уже станет доминирующим энергоносителем, достигнув своего пика в 2035–2040 гг.* Однако доля газа в ТЭБ к концу XXI в. прогнозируется на уровне 4–5 %, в два раза ниже, чем нефти. Влияние Парижского соглашения на газовую отрасль будет позитивным, поскольку газ как источник энергии имеет

наименьший коэффициент загрязнения и выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу по сравнению с нефтью, а тем более с углем (почти в два раза).

**Уголь.** Мировые доказанные запасы угля намного превышают суммарные запасы нефти и газа и способны обеспечивать современный уровень добычи (~5 млрд тонн) в течение 200 лет. Чрезвычайно важным фактором в пользу угля является то, что он перерабатывается в дизельное топливо и бензин с помощью химического процесса, именуемого синтезом Фишера – Тропша. Прогнозируется, что в период до 2030 г. будут разработаны новые, более совершенные и экономичные технологии получения из угля синтетического газа и жидкого топлива в промышленных масштабах. Это в существенной мере расширит возможности использования угля в энергетике, коммунально-бытовой сфере и в транспорте. В этот же период выйдут на уровень практического применения технологии получения водорода из угля. Начнется также внедрение на угольных энергоблоках различных технологий по улавливанию, связыванию и захоронению  $\text{CO}_2$  (геологический секвестр углерода), что будет способствовать энергоэкологическому устойчивому развитию. Однако активно пропагандируемый геополитический секвестр углерода (CCS) [OECD/IEA, 2015: Energy Technology...] снижает эффективность угольных ТЭС на 20–25 %. Поэтому вряд ли частные инвесторы будут вкладывать в технологии CCS.

*Выше уже отмечалось, что Парижское соглашение дало импульс понижению потребления угля в энергетических целях. Это стало одним из важнейших достижений Парижской конференции, поскольку уголь является основным источником выбросов углекислого газа среди видов углеводородного ископаемого топлива. Помимо этого, уголь лидирует также в выбросах других крайне вредных веществ, таких как окислы серы и азота, твердых частиц золы, а также радиоактивных веществ (тория, изотопов урана и др.). Однако вопрос заключается в том, станет ли начавшееся понижение потребления угля необратимой тенденцией. Ведь несмотря на то, что уголь является самым «грязным» источником энергии, в последнее десятилетие мир переживает «угольный ренессанс», в первую очередь благодаря энергетическому голоду развивающихся*

стран, для которых уголь – самое дешевое и доступное топливо. А после мирового экономического кризиса 2008–2009 гг. даже богатые европейские страны набросились на уголь. Так, в 2011 г. потребление угля в Европе увеличилось на 3,3 % по сравнению с 2010 г., а в 2012 г. – еще на 3 % в сравнении с предыдущим. Кроме того, в отдельных странах Евросоюза количество произведенной с его помощью электроэнергии тогда выросло за год на 50 %. В 2010 г. уголь дал около 30 % первичной энергии, чуть меньше, чем нефть (34 %), а при производстве электричества уголь стал главным энергоносителем (40 %). Достаточно сказать, что в последние десять лет почти половина общемирового прироста энергопотребления покрывалась углем.

*И все же мы наблюдаем многочисленные факты, свидетельствующие о том, что после Парижа начинает складываться тенденция снижения потребления угля в энергетических целях.* Действительно, планы по масштабному строительству угольных электростанций сейчас имеются только у четырех стран – Вьетнама, Индии, Индонезии и Китая. Однако Китай в 2015 г. уже объявил о стратегии снижения доли угля в энергетике, а с 2025 г. – значительном сокращении использования угольного топлива в абсолютном выражении. А ведь небывалый экономический подъем Китая в последние 30 лет обеспечивали прежде всего угольные ТЭС, которые давали до 75–80 % генерации электричества. Сегодня этот показатель уже снизился до 65 %. В январе 2016 г. Вьетнам также заявил о пересмотре угольных планов, решив сделать упор на газовую энергетику с ВИЭ. В октябре 2016 г. голландский парламент проголосовал за снижение национальных выбросов CO<sub>2</sub> на 55 % к 2030 г., а это потребует закрытия всех пяти оставшихся угольных ТЭС страны. Конечно, решающий перелом наступит, если такие страны, как Германия, Польша и Великобритания решатся на сокращение угольной генерации электричества. Обнадешивает то, что отказался от инвестиций в добычу угля *Deutsche Bank*. В 2015 г. от всех своих угольных активов избавился *Goldman Sachs*. 21 декабря 2018 г. Германия закрыла последнюю угольную шахту. По оценкам МЭА, без такой борьбы к 2035 г. потребность в угле в новых инду-

стриальных странах почти удвоится, а соответствующее увеличение выбросов CO<sub>2</sub> станет непоправимым ударом в борьбе с потеплением климата [World Energy... 2016].

**Гидроэнергетика.** Большинство экспертов прогнозируется, что доля энергии ГЭС в мировом энергобалансе XXI в. останется практически постоянной – около 6 % (см. табл. 4).

**Атомная энергетика.** После периода быстрого роста в 60–70-е гг. и начале 80-х гг. прошлого века атомная энергетика испытывает жесточайший кризис. Причиной этого является всплеск социального противостояния, вызванный авариями на Чернобыльской АЭС в СССР (1986 г.) и на АЭС «Фукусима» в Японии (2010 г.), а также остающиеся технические трудности в обеспечении возросших требований к безопасности АЭС и решению проблемы захоронения радиоактивных отходов. В среднесрочном периоде до 2030 г. следует ожидать снижения доли атомной энергетики в балансе мировой выработки энергии до уровня в 5 %. Но далее, вероятнее всего, доля атомной энергии к середине XXI в. несколько увеличится, если не будут найдены более безопасные альтернативные источники типа термояда или т. п.

**Возобновляемые источники энергии (ВИЭ).** *Несмотря на значительный прогресс, ВИЭ (энергия ветра, солнечная и геотермальная энергетика, энергия приливов и волн) находятся лишь на пути к масштабному освоению, и в настоящее время их суммарный вклад в мировой энергобаланс измеряется несколькими процентами (6,5 % в 2015 г.) [Сидорович 2015]. Их доля возрастет до ощутимых 10 % к 2020 г., и уже можно говорить о начале практического замещения углеводородного ископаемого топлива с помощью ВИЭ и АЭС, поскольку доля гидроэнергетики, как мы видели выше, останется почти неизменной на протяжении всего XXI в.* Действительно, ситуация в этой сфере энергетике меняется столь быстро, что даже МЭА не успевает своевременно вносить поправки в свои средне- и долгосрочные прогнозы. Как видно из табл. 2, еще в 2010 г. МЭА прогнозировало, что в 2015 г. доля ВИЭ в мировом ТЭБ составит всего 2,1 %, тогда как фактически она оказалась втрое больше и составила 6,5 % [OECD/IEA, 2015: Energy Technology...].

*Парижское соглашение, несомненно, стало стимулом для всех, кто связывает свой бизнес с ускоренным переходом на безуглеродные энергетические технологии – ВИЭ. Инвесторы во всем мире сегодня отдают предпочтение зеленой энергетике, преимущественно на основе использования ВИЭ. Причина в том, что ВИЭ-энергетика наилучшим образом подходит для решения задачи декарбонизации экономики и смягчения глобальных климатических изменений. Вдобавок продолжает неуклонно снижаться стоимость генерации электричества на основе ВИЭ. Только за последние пять лет стоимость выработки солнечной энергии снизилась на 80 % (в пять раз), а ветровой – на 58 % [Сидорович 2015: 111]. А в ближайшие годы электричество, производимое с помощью ВИЭ, станет дешевле, чем электричество, выработанное углеводородным топливом. Это означает, что новые электростанции, работающие на органическом топливе, строиться вряд ли будут, а выбывающие мощности будут замещаться ВИЭ-станциями.*

Действительно, к примеру, уже в 2014 г. глобальные инвестиции в новые объекты зеленой энергетики почти вдвое превысили вложения в новые электростанции, работающие на ископаемом топливе: 242 млрд долларов США против 132 млрд долларов. Причем значительную долю этих инвестиций – около 83 млрд долларов – внес Китай, который сегодня стал признанным мировым лидером в развитии ВИЭ-энергетики. В том же 2014 г. доля ВИЭ в новых энергетических мощностях ЕС составила 79 %, тогда как десять лет назад на их долю приходилось всего 20 % прироста мощностей [Там же: 14]. В 2015 г. инвестиции в ВИЭ возросли еще больше, превысив 286 млрд долларов США [World Energy... 2016]. В этой связи в октябре 2016 г. МЭА пересмотрело свой прогноз развития энергетики на основе ВИЭ, резко увеличив ожидаемый объем ввода новых мощностей в этом секторе [Ibid.]. По мнению экспертов МЭА, доля ВИЭ возрастет к 2021 г. до 10 % мирового потребления электроэнергии с нынешних 7 %. Все это означает, что мир твердо следует правилам реализации Парижского климатического соглашения. Ряд экспертов уже утверждают, что мы наблюдаем тренд на развитие низкоуглеродной энергетики, наступление эры экологически чистых источников энергии.

*Итак, сектор ВИЭ в последние годы стал одним из наиболее быстро развивающихся секторов энергетики и экономики.* Так, за десять лет (2004–2014 гг.) установленная мощность ветряных электростанций (ВЭС) выросла в мире в 9 раз и к 2015 г. составила 370 ГВт, что, в свою очередь, составило 4 % мирового потребления электроэнергии [Сидорович 2015: 41]. За это же десятилетие (2004–2014 гг.) установленная мощность солнечных фотоэлектрических электростанций выросла в мире в 53 раза [Там же: 26] и к 2015 г. превысила 179 ГВт, что составляет около 2 % мирового потребления электроэнергии. Причем численность трудящихся, занятых в отраслях ВИЭ, сегодня превысила 8 млн человек [Там же]. Отрадно отметить, что основными инвесторами в зеленую энергетику в последние годы оказались Китай, США, Индия и Япония, которые являются и основными загрязнителями окружающей среды. Лидерство в развитии низкоуглеродной и безуглеродной энергетики, долгое время принадлежавшее Евросоюзу, сегодня перехватили Китай и США. В 2015 г. почти 70 % всех новых энерго мощностей, введенных в действие в США, были основаны на ВИЭ, причем мощность установленной солнечной энергетики выросла с 2014 г. на 13 %. Более того, ожидается, что в 2016–2017 гг. солнечная энергетика опередит все остальные виды энергии в США по объемам вводимой мощности. Снижение инвестиций в ВИЭ, наблюдающееся в последние годы в зоне ЕС, связано отчасти с определенным насыщением рынка ВИЭ, а также с сокращением господдержки сектора.

В последние годы именно ВИЭ обеспечивает основной прирост генерирующих мощностей, на них приходится приблизительно две трети. А ведь только в 2016 г. доля ВИЭ в объемах нового производства электроэнергии впервые превысила 50 %, хотя все еще составляла всего лишь 10 % от общего объема мирового производства электроэнергии. В 2017 г. мощность ВИЭ превысила 1000 ГВт, притом что суммарная мощность всех электростанций мира в 2017 г. составила 6765 ГВт. Ключевым фактором, ограничивающим масштаб развития ВИЭ, является развертывание систем хранения энергии. Пока эту функцию в основном выполняют гидроаккумулирующие электростанции. В 2017 г. их мощность была около 120–

150 ГВт, что составляет примерно 13–17 % от мощности СЭС (солнечные электростанции) и ВЭУ (ветровые энергоустановки).

За один 2018 г. совокупная мощность ВИЭ увеличилась на 181 ГВт, или на 8 % – до 2,4 тыс. ГВт, при сохранении устойчивых темпов роста 8 % в год начиная с 2010 г. Две трети этого прироста пришлось на СЭС. Никакой другой сектор электроэнергетики не рос такими темпами [IRENA 2018]. Выработка электроэнергии на ВЭУ в 2000–2018 гг. увеличилась на 20 % в год. По итогам 2018 г. в отрасли ВИЭ по всему миру было занято почти 11 млн человек. Больше всего рабочих мест – 3,6 млн – создано в сегменте СЭС. Второе место с 2 млн работников делят биоэнергетика и гидроэнергетика. Крупнейшим же работодателем среди всех стран стал Китай – 4 млн рабочих мест. Следом, с 1,1 млн занятых, идет Бразилия.

Рассмотрим подробнее климатическую политику стран-лидеров – Китая и Германии, а также Франции – инициатора Парижского соглашения.

*Подход Германии с самого начала, сразу же после конференции в Рио-де-Жанейро (1992 г.), отличался ответственной постановкой на государственном уровне конкретных долгосрочных целей развития ВИЭ и сокращения выбросов парниковых газов и их практической реализацией. В настоящее время Германия занимает второе место в мире по объему установленной мощности солнечной энергетики (38 ГВт, после КНР), второе – в биоэнергетике (после США) и третье – в ветроэнергетике (после Китая и США) [Сидорович 2015: 125]. В 2014 г. в ФРГ доля ВИЭ в производстве электричества составила 27 % [Там же: 11], больше, чем в любой другой стране мира. Германия также приняла на себя повышенные обязательства в ходе Парижской конференции 2015 г. К 2020 г. выбросы парниковых газов в ФРГ будут сокращены на 40 % относительно уровня 1990 г. – это самый высокий показатель среди крупнейших стран мира. Германия официально объявила о том, что к 2050 г. за счет ВИЭ будет обеспечиваться 80 % генерации электричества и покрываться 60 % всего энергопотребления в стране. Для этого, прежде всего, Германии надо решиться на радикальное*



сокращение угольной генерации. В итоге к 2050 г. будет достигнуто сокращение выбросов парниковых газов на 80–95 % от уровня 1990 г. [Сидорович 2015: 125]. Таким образом, к 2050 г. ФРГ обещает стать подлинной страной «климатической нейтральности». Важно, что все указанные цели климатической политики Германии широко поддерживаются населением страны, а также федеральным правительством. С начала 2000-х гг. немецкое правительство твердо ориентируется на постепенный отказ от углеводородной и ядерной энергетики и переход на ВИЭ, который получил название «энергетический поворот».

КНР успешно завершила планы новой индустриализации, которая сопровождалась стремительным ростом ВВП и потребления энергии. Теперь Китай уже не считает рост ВВП абсолютным приоритетом. Поэтому в последнее десятилетие КНР принимает активные меры по защите окружающей среды от загрязнения, создавая благоприятные условия для устойчивого развития. Впервые идея «строительства экологической цивилизации» была выдвинута еще в 2008 г. на XVII съезде КПК. С 1 января 2015 г. вступил в силу новый закон КНР об охране окружающей среды. В мае 2015 г. ЦК КПК и Госсовет КНР опубликовали программный документ «Об ускорении продвижения строительства экологической цивилизации», который стал своеобразной «дорожной картой» для государственного планирования развития зеленой экономики в стране [Четыре... 2015]. В настоящее время Китай стремительно развивает ветряную и солнечную генерацию, решительно отказываясь от строительства угольных ТЭС. ВИЭ отводится ключевая роль в решении экологических проблем Китая. Китай вышел на первое место в мире по объему установленной мощности как ВЭС (на втором США), так и солнечных электростанций (СЭС). По данным на начало 2016 г., общая установленная мощность ВЭС в Китае составила 145 ГВт (это примерно 40 % совокупной мощности всех установленных в мире ВЭС), а СЭС – 43,2 ГВт (24 %). К 2020 г. Китай планирует увеличить мощность ВЭС до 200 ГВт, а СЭС – до 100 ГВт, что позволит снизить потребление угля почти на треть [Сидорович 2015: 135].

*Примечательно, что технологии ВИЭ в Китае рассматриваются как важный фактор экономического роста, как один из ведущих драйверов социально-экономического развития, обеспечивающий создание новых высокотехнологичных производств и квалифицированных рабочих мест. Китай благодаря такому подходу стал одним из передовых разработчиков инновационно-технологических решений и производителей оборудования в сфере ВИЭ. В КНР сегодня производится 64 % всех солнечных фотоэлектрических панелей в мире. Фотоэлектрическая индустрия добавила к китайскому ВВП 52 млрд долларов США только в 2013 г. [Сидорович 2015: 136]. Среди десяти крупнейших производителей ВЭС в мире три компании – китайские. Количество трудящихся, занятых в китайском секторе ВИЭ-энергетики, оценивается приблизительно в 3 млн человек. К 2050 г. сектор ВИЭ-энергетики в Китае станет доминирующим и будет обеспечивать до 60 % потребляемой в стране электроэнергии. Это вытекает из принятой Китаем долгосрочной стратегии устойчивого развития, в которой конечной целью является построение первой в мире экологически благополучной цивилизации [Четыре... 2015].*

Весьма поучителен пример Франции, которая инициировала принятие Парижского климатического соглашения 2015 г. В конце 2018 г. Франция опубликовала долгосрочную программу энергоэкологического развития (PPE), в соответствии с которой планируется утроение мощностей ветроэнергетики к 2030 г., а мощности СЭС вырастут в 5 раз. В целом ВИЭ должны обеспечить 40 % производства электроэнергии к 2030 г. Программа предусматривает закрытие угольных электростанций к 2022 г. На поддержку ВИЭ государство намерено выделить до 7–8 млрд евро вместо нынешних 5 млрд евро. Уже сегодня энергосистема Франции, состоящая из 20 % ВИЭ и 77 % атомной энергии и низкоуглеродная на 97 %, служит хорошим примером в борьбе с глобальным потеплением. Франция по праву занимает сегодня первое место в мире по своей энергосистеме как обеспечивающей устойчивую защиту окружающей среды.

*Таким образом, рассмотренные выше примеры убеждают нас в том, что отныне доля ВИЭ в мировом энергетическом балансе*

*будет неуклонно расти. Доля неископаемых видов топлива в ТЭБ (см. табл. 2) увеличится с нынешних 19 % до 25 % в 2040 г., если будут выполнены обязательства стран – участниц Парижского соглашения 2015 г. [ОЕСД/IEA, 2015: World...]. Производство электроэнергии на основе ВИЭ к 2040 г. достигнет 50 % в ЕС, примерно 30 % в Китае и Японии, и более 25 % в США и Индии [Ibid.]. В соответствии с имеющимися сценариями развития, к 2050 г. она может составить 35–80 % в зависимости от политических решений авангардных мировых держав [ОЕСД/IEA, 2015: Energy Technology...]. Следует отметить, что наиболее перспективным направлением развития ВИЭ является солнечная энергетика. Во многих странах мира она получила широкую господдержку и стремительно развивается. Сегодня 70 % солнечной энергии мира вырабатывают всего в пяти странах – Китае, Германии, США, Японии и Италии. Следует отметить амбициозные планы Индии, которая объявила о том, что к 2022 г. доведет производство возобновляемой энергии в стране до 175 ГВт, в том числе увеличит общую мощность солнечных электростанций до 100 ГВт. Уже сегодня в Индии из 315 ГВт установленной энергомощности около 50 ГВт приходится на ВИЭ. Мощности глобальной солнечной энергетики в последнее десятилетие росли невиданными темпами: в среднем выше 35 % ежегодно. Иначе говоря, они вырастали в 10 раз каждые 6-7 лет вот уже три цикла, то есть в течение последних 20 лет. Примечательно, что на эти темпы не повлияли ни экономические кризисы, ни резкие колебания цен на органическое топливо.*

*По прогнозу МЭА, к 2050 г. доля солнечной энергетики пре-  
зойдет долю остальных видов топлива и составит 27 % [ОЕСД/IEA,  
2015: Energy Technology...]. Этому, несомненно, будет способство-  
вать прорыв, совершенный буквально в последние годы в деле по-  
вышения эффективности (КПД) и удешевления фотоэлектрических  
преобразователей. До последнего времени рекордным считался  
КПД, равный 28 % полупроводниковых фотоэлементов из арсенида  
галлия. Однако российским ученым удалось создать принципиально  
новые гетерозлектрические фотоэлементы (ГЭФ) [Займидорога  
и др.], которые эффективно работают и в видимом, и инфракрас-  
ном спектре солнечного излучения, то есть днем и ночью. Причем*

у солнечной батареи, созданной на основе ГЭФ, эффективность преобразования излучения видимого спектра составляет 54 %, а инфракрасного – 31 %, что значительно превышает существующие мировые достижения в этой сфере. К тому же себестоимость производства ГЭФ оказалась гораздо ниже, чем у всех аналогичных приборов. *Это изобретение российских ученых открывает уникальные возможности для создания эффективных солнечных батарей, способных вырабатывать доступную электроэнергию в любой климатической зоне и в любое время суток.*

Наиболее уязвимое место ВИЭ – это накопители энергии, их относительно малая емкость. Сегодня отсутствуют доступные варианты по долговременному хранению больших объемов энергии, полученных на основе ВИЭ. Поэтому крупная традиционная энергетика сохранится и в будущем, она будет обеспечивать необходимую базовую нагрузку, то есть действующая энергетическая сеть будет обрастать мелкими генерирующими станциями на основе ВИЭ. Но есть и исключения. Например, в Норвегии уже почти нет централизованной генерации энергии – там успешно действует распределенная система генерации. Благодаря появлению недорогих датчиков, высокопроизводительных компьютеров и цифровых технологий для анализа «больших данных» многочисленные децентрализованные системы энергоснабжения получили возможность функционировать автономно. Стоимость аккумуляторных систем, необходимых для локального накопления энергии и сглаживания пиков потребления, стремительно падает. Технологии аккумуляторов, например литиевых, в последнее время быстро совершенствуются. Прогресс в технологиях накопления энергии позволит уже в ближайшем будущем значительно расширить масштабы применения ВИЭ.

*В этой связи говорят также о начале перехода от централизованной системы энергоснабжения к децентрализованной распределенной сети локальных источников энергии. В связи с тем, что в 2018–2020 гг. начинается повышательная стадия шестого большого цикла Кондратьева (2018–2050 гг.) – новой длинной волны мирового экономического развития, несущей длительный гло-*

*бальный экономический подъем и процветание (2020–2035 гг.), – знаменитый Ульрих фон Вайцзеккер [Вайцзеккер и др. 2013] призвал превратить его в зеленый цикл Кондратьева. Действительно, зеленая технологическая революция [Фокс 2016], происходящая в настоящее время, вполне может запустить новый цикл экономического роста, предоставит базисные инновации в сфере энергетики, а также новые биотехнологические способы производства продовольствия и лекарственных препаратов.*

## **Литература**

Акаев А. А. Стабилизация климата Земли в XXI веке путем перехода к новой парадигме энергопотребления // Доклады Академии наук. 2012а. Т. 446. № 4. С. 442–447.

Акаев А. А. Стабилизация климата Земли в XXI веке путем стабилизации душевого энергопотребления. М. : Научный эксперт, 2012б.

Акаев А. А., Садовничий В. А. Математическая модель демографической динамики со стабилизацией численности населения мира вокруг стационарного уровня // Доклады Академии наук. 2010. Т. 435. № 3. С. 317–321.

Бекиш А. 47 стран планируют перейти к 100 % использованию возобновляемых источников энергии. 2016. URL: <https://greenbelarus.info/articles/18-11-2016/47-stran-planiruyut-pereyti-k-100-ispolzovaniyu-vozobnovlyayemyh-istochnikov>.

Будыко М. И. Изменения климата. Л. : Гидрометеоздат, 1974.

Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. Л. : Гидрометеоздат, 1980.

Вайцзеккер Э., Харгроуз К., Смит М. и др. Фактор пять. Формула устойчивого роста: Доклад Римскому клубу. М. : АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2013.

Доклад Конференции ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 г. Т. 1. Резолюции, принятые на Конференции. Приложение – A/conr.151/26/REV.1 (vol. 1).

Доклад ПРООН по окружающей среде, 2018. URL: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

Займидорога О. А., Проценко И. Е., Самойлов В. И. Гетерогенный фотоэлемент. Патент РФ № 2217845.

Исаев А. А. Экологическая климатология. М. : Научный мир, 2003.

Клименко В. В., Клименко А. В., Андрейченко Т. Н., Довгалоук В. В., Микушина О. В., Терешин А. Г., Федоров М. В. Энергия, природа и климат. М. : Изд-во МЭИ, 1997.

Плакаткин Ю. А. Закономерности развития мировой энергетики и их влияние на энергетику России. М. : ИАИ «Энергия», 2006.

Рамочная конвенция об изменении климата. Париж, 2015. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/109r01r.pdf>.

Рифкин Дж. Третья промышленная революция. М. : Альпина нон-фикшн, 2015.

Сидорович В. Мировая энергетическая революция. М. : Альпина Паблишер, 2015.

Стратегия долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. URL: [https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt\\_strategii.pdf](https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf).

Тарко А. М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005.

Фокс Р. Зеленая революция: экономический рост без ущерба для экологии. М. : Альпина нон-фикшн, 2016.

Четыре ключевых слова, помогающие понять «Мнения об ускорении продвижения строительства экологической цивилизации». 2015. URL: [http://russian.china.org.cn/exclusive/txt/2015-05/08/content\\_35520514.htm](http://russian.china.org.cn/exclusive/txt/2015-05/08/content_35520514.htm).

Акаев А. The Stabilization of Earth's Climate in the 21<sup>st</sup> Century by the Stabilization of Per Capita Consumption // The Oxford Handbook of the Macroeconomics of Global Warming. New York : Oxford University Press, 2014. Pp. 499–554.

Decision -/CP.15. The Conference of the Parties, Takes Note of the Copenhagen Accord of 18 December 2009. URL: [unfccc.int/files/meetings/cop\\_15/application/pdf/cop15\\_cph\\_auv.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/application/pdf/cop15_cph_auv.pdf).

Energy Technology Perspectives 2010. Scenarios & Strategies to 2050. ETP 2010. IEA, 2010.

IEA. Scenarios and Projects. URL: <https://www.iea.org/publications/scenariosandprojections>.

IEA. World Energy Outlook 2009, 2009.

IEA: World Energy Outlook 2010. ANNEXES Paris : OECD/IEA, 2010.

IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018: URL: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

IPCC: Climate Change 2001. Cambridge : Cambridge University Press, 2001.

IPCC: Climate Change 2007. Cambridge : Cambridge University Press, 2007.

IPCC. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the IPCC. Cambridge : Cambridge University Press, 2000.

IRENA 2018. URL: [www.irena.org/publications](http://www.irena.org/publications).

Jones P. D., Parker D. E., Osborn T. J., Briffa K. R. Global temperature anomalies in 1856–1999 // In: TREND's 93: A Compendium of Data on Global Change / Eds. T. A. Boden, D. P. Kaiser, R. J. Sepanski, F. W. Stoss. Oak Ridge : Carbon Dioxide Informational Analysis Center, 1994.

Manabe S., Wetherald R. T. The effect of doubling the CO<sub>2</sub> concentration on the climate of a general circulation model // // Journal of the Atmospheric Sciences. 1975. V. 32. No 1. Pp. 3–15.

OECD/IEA, 2015: Energy and Climate Change [сайт]. URL: <http://www.iea.org/publications/free-publications/publication/WEO2015Special-ReportonEnergyandClimateChangeExecutiveSummaryRussianversion.pdf>; [www.worldenergyoutlook.org/energyclimate](http://www.worldenergyoutlook.org/energyclimate).

OECD/IEA, 2015: World Energy Outlook 2015 [сайт]. URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015ESRUSSIAN.pdf>; [www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org).

OECD/IEA, 2015: Energy Technology Perspectives 2015 [сайт]. URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2015ExecutiveSummaryRussianversion.pdf>; [www.iea.org/etp2015](http://www.iea.org/etp2015).

Rahmstorf S., Schellnhuber H. J. Der Klimawandel. Diagnose, prognose, therapie. Munchen : Verlag C.H. Beck OHG, 2007.

Rat der Europäischen Union. Pressemitteilung zur 1939. Ratssitzung Umwelt vom 25.6.1996. Nr. 8518/96, 1996.

Scenario Process for AR5 // Data Distribution Centre. 2019. URL: [https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5\\_scenario\\_process/RCPs.html](https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html)

Schlesinger M. E. A Review of Climate Models and their Simulation of CO<sub>2</sub> – Induced Warming // International Journal of Environmental Studies. 1983. Vol. 20. Pp. 103–114.

Schneider S. H. Cloudiness as a Global Climatic Feedback Mechanism: the Effects on the Radiation Balance and Surface Temperature of Variations

in Cloudiness // Journal of the Atmospheric Sciences. 1972. Vol. 29. No. 8. Pp. 1413–1422.

Thompson A. 2015 Begins with CO<sub>2</sub> above 400 PPM Mark. 2015. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/2015-begins-with-co2-above-400-ppm-mark/>

TREND's 93. Compendium of Data on Global Change / Eds. T. A. Boden, D. P. Kaiser, R. J. Sepanski, F. W. Stoss. Oak Ridge : Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, 1994.

US National Centers for Environmental Information: Climate at a Glance [сайт]. URL: <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global>.

World Energy Outlook 2016. Paris : OECD/IEA, 2016.

World Economic Forum Annual Meeting. 20–23 January 2016. Switzerland: Davos-Klosters. URL: <http://www.weforum.org/events/world-economic-forum-annual-meeting-2016/>.