
ПРИРОДА И ОБЩЕСТВО

В. В. КЛИМЕНКО, А. Г. ТЕРЕШИН

МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА И КЛИМАТ ПЛАНЕТЫ В XXI ВЕКЕ

Введение

Энергия – фундаментальная основа эволюции цивилизации, и XXI век ставит перед мировой энергетикой серьезные задачи по обеспечению устойчивого развития человечества. Продолжающийся рост численности населения вместе с необходимостью ускоренного экономического развития многих регионов планеты, несомненно, приведет в ближайшие десятилетия к значительному росту потребности в энергии. Таким образом, обеспеченность мировой экономики топливно-энергетическими ресурсами – одна из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. С другой стороны, в настоящее время энергетика признана мировым сообществом в качестве одного из основных факторов, влияющих на глобальные изменения окружающей среды, по масштабам воздействия на климат планеты превосходящего все остальные антропогенные факторы и сравнимого с мощными природными силами (Houghton *et al.* 2001). Обеспокоенность масштабами наблюдаемых климатических изменений (повышение средней глобальной температуры за последние 100 лет на 0,6 °С) и тревожные прогнозы ожидаемого потепления (до 5 °С за текущее столетие) делают экологическую политику наряду с состоянием ресурсной базы одними из главных регуляторов развития мировой энергетической отрасли.

Авторы настоящей работы для оценки перспектив развития мировой энергетики и масштабов связанных с ним изменений окружающей среды и климата придерживаются исторического экстраполяционного подхода (Клименко, Терешин 2005; Снытин и др. 1994), основная идея которого заключена в положении, что история развития многих сложных систем определяет их будущее поведение на много лет вперед. Настоящая работа ставит целью обозна-

чить путь развития мировой энергетики, основанный на анализе основных тенденций ее исторической эволюции, и с этих же позиций оценить его ресурсную обеспеченность и наиболее вероятные последствия для глобальной климатической системы.

Прогноз мирового энергопотребления

В основе предлагаемых оценок лежит так называемый генетический прогноз мирового энергопотребления, разработанный более 15 лет назад в МЭИ (Снытин и др. 1994) и за истекший период показавший хорошее соответствие фактическим данным (Клименко и др. 2001). Последовательное применение генетического подхода к исследованию энергетики мира (обнаружение и экстраполяция исторических тенденций в будущее) позволило сформулировать два фундаментальных вывода, определяющих путь ее развития в ближайшие десятилетия:

1) стабилизация национального удельного энергопотребления на душу населения на уровне, в основном определяемом климато-географическими факторами (этот процесс уже завершился в большинстве развитых стран мира) (Там же);

2) неуклонное и практически линейное снижение со временем углеродной интенсивности мировой энергетики в результате изменений структуры топливно-энергетического баланса, наблюдающееся уже более 100 лет.

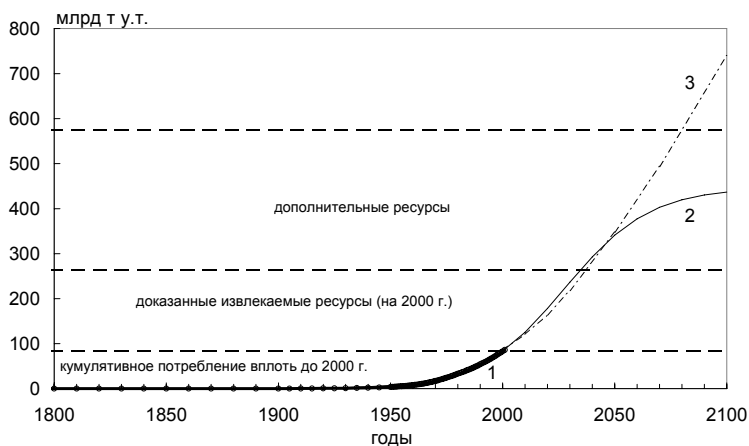
Реализация первой тенденции должна привести к установлению среднемирового удельного энергопотребления на душу населения на уровне 2,3–2,4 т у. т./чел.·год, весьма близком к современному, что при ожидаемом росте численности населения планеты к 2100 г. (примерно до 10 млрд чел.) приведет к ежегодному потреблению энергии в мире в 23–25 млрд т у. т., что всего в 1,5 раза выше современного уровня. Сохранение второй тенденции означает снижение темпов роста антропогенного воздействия на климатическую систему и, в частности, довольно скорое, в течение четверти века, достижение пика антропогенной эмиссии CO₂.

Ресурсная база энергетики

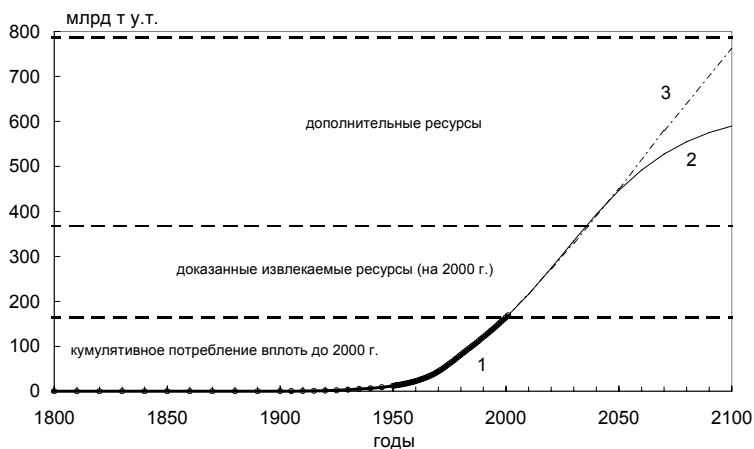
Необходимым условием состоятельности любого энергетического сценария является его проверка на обеспеченность топливно-энергетическими ресурсами. Оценки запасов как нефти, так и газа в

течение последних 50 лет (WEC Survey... 2001; International Energy... 2003) претерпели значительные изменения: с 1950 г. они увеличились на порядок, и даже в последние годы, несмотря на значительные объемы добычи (примерно 4,5 и 3 млрд т у. т. в год для нефти и газа соответственно), наблюдается их рост. Однако уже в настоящее время ежегодный прирост запасов нефти практически сравнялся с объемами ее добычи, а для газа такое состояние будет достигнуто, видимо, в течение ближайшего десятилетия. Таким образом, мировые доказанные извлекаемые запасы нефти и газа составляют примерно по 200 млрд т у. т., а окончательные (с учетом дополнительных извлекаемых запасов [WEC Survey... 2001]) – 620 и 490 млрд т у. т. соответственно.

В настоящей работе для оценки производства углеводородного топлива (нефти и природного газа) использована так называемая «методика расходования исчерпаемого ресурса» (Клименко и др. 2001), предполагающая снижение объемов добычи этого ресурса по мере истощения его месторождений. В этом случае кривая его кумулятивного потребления (рис. 1) описывается логистической функцией с асимптотой, определяемой суммой разведанных извлекаемых запасов и перспективных дополнительных ресурсов и устанавливающей теоретический предел возможностей использования данного вида топлива с геологической и экономической точек зрения (по терминологии Всемирного энергетического совета WEC [WEC Survey... 2001]).



а)



б)

Рис. 1. Кумулятивное потребление газа (а) и нефти (б) в мире:
 1 – исторические данные (International Energy... 2003); 2 – прогноз
 настоящей работы; 3 – основной сценарий WEC/IIASA
 (Nakicenovic *et al.* 1998)

В рамках генетического прогноза эти виды топлива обеспечат примерно 50 % энергопотребления в мире к 2050 г. и лишь около 10 % – к концу столетия. Для сравнения на рис. 1 представлен основной сценарий группы специалистов из Всемирного Энергетического совета и Международного института прикладного системного анализа (WEC/IIASA) (Nakicenovic *et al.* 1998), согласно которому к 2100 г. суммарное потребление нефти полностью исчерпает ее ресурсы, а природного газа – даже превысит его окончательные резервы. Аналогичные показатели имеет и сценарий B2 Межправительственной группы экспертов по изменениям климата (IPCC) (см.: Houghton *et al.* 2001), хоть и не указанный в качестве базового, но ориентирующий на умеренные показатели демографического и экономического развития и находящийся в середине спектра из представленных 40 альтернативных путей развития энергетики (Ibid.).

Для сохранения тенденции снижения удельной эмиссии углекислого газа при производстве энергии в предложенном генетическом прогнозе доля угля в глобальном энергетическом балансе должна сохраняться на уровне 15–20 %. Таким образом, на долю источников энергии, не связанных со сжиганием органического то-

плива, в предложенном сценарии приходится обеспечить примерно 30 % потребности в энергии в 2050 г. и до 60 % – к 2100 г. против современных 20 %.

Стоит отметить, что длительные надежды, связанные с развитием ядерной энергетики (в частности, сценарии WEC/IIASA [Nakicenovic *et al.* 1998], предполагающие в течение нынешнего столетия рост производства электроэнергии на АЭС до 25–40 трлн кВт·ч/год, что эквивалентно ежегодному сжиганию 8–13 млрд т у. т. органического топлива на ТЭС), не оправдались – в настоящее время большинство аналитиков (International Energy... 2003; Energy... 2001) не видит возможности заметного увеличения современной выработки АЭС (около 2,7 трлн кВт·ч/год). Таким образом, вклад ядерной энергетики в мировое энергопотребление не превысит нескольких процентов. Гидроэнергетика, несмотря на ожидаемый рост производства, также сможет обеспечить производство не более 10 % требуемой энергии (в настоящее время используется уже примерно треть имеющегося в мире экономического гидропотенциала). В результате к 2100 г. для реализации генетического сценария потребуется производство энергии из нетрадиционных возобновляемых источников в объеме до 12 млрд т у. т./год (или 37 трлн кВт·ч/год), что значительно ниже планки технического потенциала (и лишь чуть более чем в 2 раза превосходит экономический потенциал, рассчитанный для условий начала столетия) как солнечной, так и других видов возобновляемой энергии, темпы роста использования которых в последние два десятилетия составили устойчивые 8 % в год (International Energy... 2003).

Сравнение структуры топливно-энергетического баланса, предлагаемого в настоящей работе для прогноза мирового энергопотребления, с аналогичными показателями работ (Houghton *et al.* 2001; Nakicenovic *et al.* 1998) показывает, что для первой половины столетия они весьма близки. Заметные отличия во вкладах углеводородного топлива и вкладе источников энергии, не связанных с эмиссией углекислого газа, проявляются только ближе к 2100 г., когда неопределенность статуса энергетических технологий максимальна. Тем не менее, ожидаемая нами к 2100 г. доля источников энергии, не связанная со сжиганием топлива (66 %), предусмотрена в нескольких сценариях IPCC (Houghton *et al.* 2001) (семейства A1T, A1B и B1). Таким образом, несмотря на принципиально отличный подход к оценке перспектив мировой энергетики, предлагаемая структура мирового топливного баланса в целом не проти-

воречит экспертным оценкам путей развития технологий производства энергии.

Климатические изменения

Как было указано, предложенный в настоящей работе подход к составлению перспективного топливного баланса обеспечивает сохранение тенденции снижения углеродной интенсивности энергопотребления. Поэтому, несмотря на внесенные в настоящей работе изменения в прогнозные оценки структуры мирового энергопотребления, в основном ожидаемый уровень воздействия глобально-топливно-энергетического комплекса на атмосферу и климат планеты в XXI в. соответствует нашим прежним оценкам. Как показывают расчеты (Клименко, Терешин 2005; Снытин и др. 1994), за ближайшее столетие эмиссия углекислого газа при реализации сценария развития энергетики, основанного на анализе исторических тенденций, приведет к росту концентрации CO_2 в атмосфере до 460 млн^{-1} .

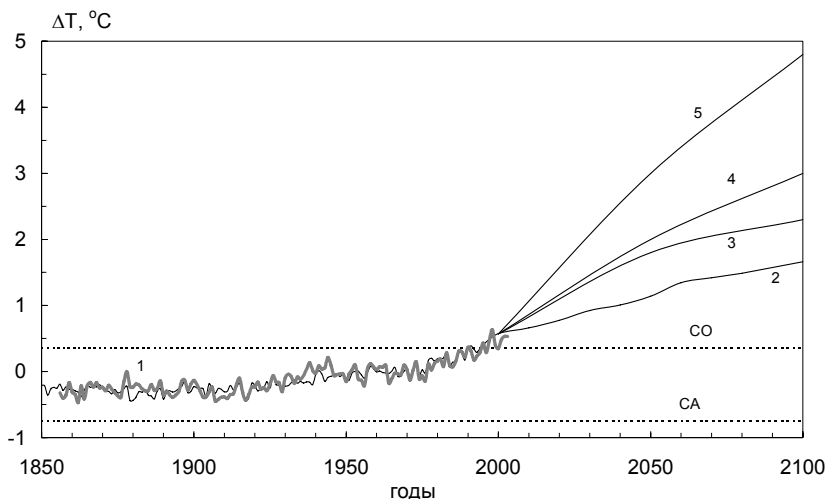


Рис. 2. Изменение среднеглобальной температуры (по сравнению с нормой 1951–1980 гг.): 1 – данные инструментальных измерений (Houghton *et al.* 2001); 2 – модельный расчет и прогноз авторов; сценарии IPCC (Ibid.) B1 (3), B2 (4) и A1FI (5); CA – температурный уровень субатлантической эпохи (Клименко 2004); CO – температурный уровень средневекового оптимума (Ibid.).

Таким образом, сделанный нами ранее (Клименко 1997; Клименко и др. 1994) прогноз глобальных климатических изменений сохраняет свою силу, что, кстати, подтверждается его полным соответствием фактическим данным для истекшего периода времени (Клименко и др. 2001). Согласно этому прогнозу, в течение текущего столетия ожидается повышение средней глобальной температуры примерно на 1 °С (рис. 2), что находится *ниже всего диапазона оценок* возможных глобальных изменений атмосферы и климата, сделанных экспертами IPCC (Houghton *et al.* 2001), включая даже сценарии, ориентированные на *сокращение численности населения* планеты (B1), и в пять раз меньше возможного глобального потепления по экстремальной группе сценариев A1FI, предусматривающих наиболее интенсивный рост потребления органического топлива. Тем не менее, прогнозируемое потепление выходит далеко за рамки естественной изменчивости глобального климата, зафиксированной в палеоклиматических данных последних 2,5 тыс. лет (Клименко 2004), однако темпы роста температуры (примерно 0,1 °С в десятилетие) находятся, по-видимому, в пределах адаптационных возможностей биосферы. Можно заключить также, что ожидаемое к концу XXI в. потепление, равно как и повышение концентрации CO₂ в атмосфере, лишь незначительно превосходят масштаб глобальных изменений, уже достигнутых в течение последнего столетия.

Выводы

1) Время, прошедшее после опубликования первых результатов применения генетического подхода для прогнозирования развития энергетики, показало его перспективность.

2) Исторический сценарий мирового энергопотребления полностью обеспечен имеющимися ресурсами органического топлива (сохраняющего определяющую роль в мировом энергетическом балансе по крайней мере до 2060–2065 гг.) и не противоречит оценкам перспектив развития источников энергии, не связанных со сжиганием углеводородов.

3) В результате реализации исторического сценария развития энергетики следует ожидать весьма умеренных изменений состава атмосферы и климата, вполне соизмеримых с масштабом глобальных изменений, уже достигнутых в течение последнего столетия.

Литература

Клименко, В. В.

1997. Почему не следует ограничивать эмиссию углекислого газа. *Теплоэнергетика* 2: 2–6.

2004. *Холодный климат ранней субатлантической эпохи в Северном полушарии*. М.: Изд-во МЭИ.

Клименко, В. В., Клименко, А. В., Терешин, А. Г. 2001. Энергетика и климат на рубеже веков: прогнозы и реальность. *Теплоэнергетика* 10: 61–66.

Клименко, В. В., Терешин, А. Г. 2005. Мировая энергетика и глобальный климат в XXI в. в контексте исторических тенденций. *Теплоэнергетика* 4: 3–7.

Клименко, В. В., Федоров, М. В., Андрейченко, Т. Н. и др. 1994. Климат на рубеже тысячелетий. *Вестник МЭИ* 3: 103–108.

Снытин, С. Ю., Клименко, В. В., Федоров, М. В. 1994. Прогноз развития энергетики и эмиссия диоксида углерода в атмосферу на период до 2100 года. *Доклады РАН* 336(4): 476–480.

Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2020. Reference Data Series 1. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.

Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, O. I. et al. (eds.) 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge: Cambridge University Press.

International Energy Annual 2001. Washington: Energy Information Administration, 2001.

International Energy Outlook. Washington: Energy Information Administration, 2003.

Nakicenovic, N. Grubler, A. and McDonald, A. (eds.) 1998. *Global Energy Perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.

WEC Survey of Energy Resources. London: World Energy Council, 2001.