

УДК 614.715:621.311.22

Мировая энергетика и климат планеты в XXI веке в контексте исторических тенденций

В. В. Клименко, А. Г. Терешин, О. В. Микушина

ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ КЛИМЕНКО — доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, руководитель НИЛ Глобальных проблем энергетики ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)». Область научных интересов: прогнозирование развития энергетики, моделирование изменений атмосферы и климата, климаты прошлого, история цивилизаций. E-mail: nilgpe@mpei.ru

АЛЕКСЕЙ GERMANOVICH TEREШИН — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ Глобальных проблем энергетики ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)». Область научных интересов: экологические проблемы энергетики, антропогенные изменения атмосферы и климата, влияние климатических изменений на энергетику. E-mail: TereshinAG@mpei.ru

ОЛЬГА ВИКТОРОВНА МИКУШИНА — кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИЛ Глобальных проблем энергетики ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)». Область научных интересов: математическое моделирование, прогнозирование климата, глобальный углеродный цикл. E-mail: MikushinaOV@mpei.ru

111250 Москва, Красноказарменная ул., 14, Московский энергетический институт.

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 [1]. Обеспеченность масштабами наблюдаемых климатических изменений (в частности, повышением средней глобальной температуры за последние 100 лет на 0,6 градуса) и тревожные прогнозы ожидаемого потепления (до 5 градусов за текущее столетие) делают экологическую политику, наряду с состоянием ресурсной базы, одними из главных регуляторов развития мировой энергетической отрасли.

Указанные проблемы в последние десятилетия находят отражение в многочисленных публикациях, ими занимаются ведущие национальные и международные институты. Однако до сих пор весьма значителен разброс в оценках как перспектив развития мировой энер-

гетики, так и масштабов связанных с этим изменений окружающей среды и климата.

Вместе с тем, совершенно понятно, что, не имея более или менее ясных представлений о том, как будет развиваться мировая энергетика, невозможно строить реалистические сценарии будущих изменений окружающей среды и климата, разрабатывать эффективную адаптационную политику. Возможны ли вообще долгосрочные прогнозы развития энергетики? Многие специалисты, имея в виду обширный негативный опыт, накопившийся в этой области (обзор сценариев мирового энергопотребления см., например, в [2]), склонны отвечать на поставленный вопрос отрицательно.

На наш взгляд, ситуация представляется не настолько безнадежной, если для решения поставленной задачи использовать исторический экстраполяционный подход, широко распространенный в современной социологии и экономике в виде известной теории институциональных изменений [3], основная идея которой заключена в положении, что история развития многих сложных систем определяет их будущее поведение на много лет вперед. Настоящая работа ставит целью обозначить 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.

В основе предлагаемых оценок лежит т. н. генетический прогноз мирового энергопотребления, разработанный более 15 лет назад в МЭИ [4, 5] и за истекший период показавший очень хорошее соответствие фактиче-

ским данным [2]: отклонение прогнозных оценок от данных мировой энергетической статистики не превышало 2%, что, на наш взгляд, делает возможность построения сверхдолгосрочного энергетического прогноза с точностью, необходимой для климатических расчетов, вполне реальной. Последовательное применение генетического подхода к прогнозированию развития энергетики (обнаружение и экстраполяция исторических тенденций в будущее) позволило сформулировать два фундаментальных вывода, определяющих путь развития энергетики мира в ближайшие десятилетия:

1. Стабилизация национального удельного энергопотребления на душу населения на уровне, в основном определяемом климато-географическими факторами [6] (этот процесс уже завершился в большинстве развитых стран мира) [2, 7—10].

2. Неуклонное и практически линейное снижение со временем углеродной интенсивности* мировой энергетики в результате изменений структуры топливно-энергетического баланса, наблюдающееся уже более 100 лет [11].

Реализация первой тенденции должна привести к установлению среднемирового удельного энергопотребления на душу населения на уровне 2,7—2,8 т у.т./чел.год, кстати, весьма близком к современному, что при ожидаемом росте численности населения планеты к 2100 г. примерно до 9 млрд чел. [12] приведет к ежегодному потреблению энергии в мире в 23—25 млрд т у.т., что всего в 1,5 раза выше современного уровня. Таким образом, исторический подход запрещает повышение уровня потребления энергии в течение текущего столетия до 60, 100 и, тем более, 200 млрд т у.т. в год, как это часто допускается авторами наиболее радикальных энергетических сценариев.

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. В постоянном, и, по-видимому, необратимом уменьшении углеродной интенсивности нет ничего мистического. Более того, этот факт может иметь фундаментальное философское обоснование в виде принципа прогрессирующего упрощения, широко распространяющегося не только в технике, но и в различных областях науки, искусстве, философии и теологии [13]. Применительно к энергетике этот принцип осуществляется в постепенном переходе от более сложных, «законсервированных» энергоносителей, к более элементарным, естественным. Именно так выглядит путь мировой энергетики от угля к нефти, затем к газу, и, наконец, к возобновляемым источникам.

* Под углеродной интенсивностью понимается количество диоксида углерода (основного парникового газа, поступающего в атмосферу за счет антропогенной деятельности), приходящееся на единицу потребления энергии.

Мировые ресурсы органического топлива и ВИЭ и перспективный топливно-энергетический баланс XXI века

Необходимым тестом на состоятельность любого энергетического сценария является его проверка на обеспеченность топливно-энергетическими ресурсами. Как это не удивительно, многие «высокие» варианты энергопотребления прошлых лет предполагали использование таких объемов органического топлива, которые значительно превышают не только их доказанные извлекаемые запасы, но подчас и гипотетические дополнительные ресурсы.

В настоящей работе для оценки производства углеводородного топлива (нефти и природного газа) использована т.н. «методика расходования исчерпаемого ресурса» [14], предполагающая снижение объемов добычи этого ресурса по мере истощения его месторождений. В этом случае кривая его кумулятивного потребления описывается логистической функцией с экспоненциальным начальным участком и асимптотой, определяемой объемом доступных запасов. В качестве последних в настоящей работе принимается сумма разведанных извлекаемых запасов и перспективных дополнительных ресурсов, устанавливающая теоретический предел возможностей использования данного вида топлива с геологической и экономической точек зрения (по терминологии Всемирного энергетического совета WEC [15]). В этой части данное исследование отличается от работы [2], где дополнительные ресурсы нефти и газа не принимались во внимание, что привело к некоторому искажению прогноза структуры мирового энергобаланса, выраженному в постоянном повышении доли угля и, напротив, снижении уже с начала текущего столетия доли нефти и газа. В действительности же последнее десятилетие показало, что нефть и газ сохраняют ведущие позиции в мировом энергобалансе, а потребление угля остается практически на неизменном уровне.

Рисунок 1 показывает динамику изменения разведанных извлекаемых запасов углеводородного сырья в течение последних 50 лет (по данным [8, 9, 14, 15]).

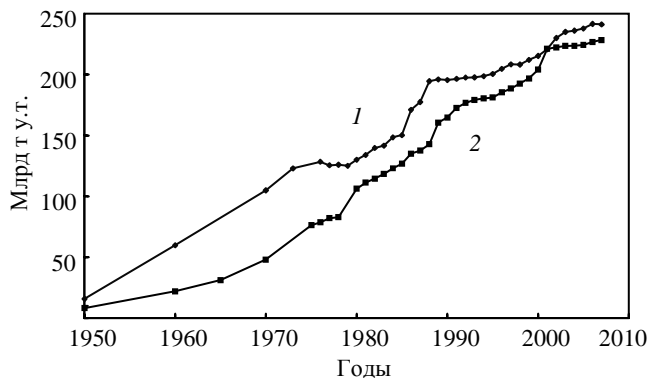


Рис. 1. Динамика оценок доказанных извлекаемых запасов углеводородного сырья [8, 9, 14, 15]:

1 — нефти; 2 — природного газа

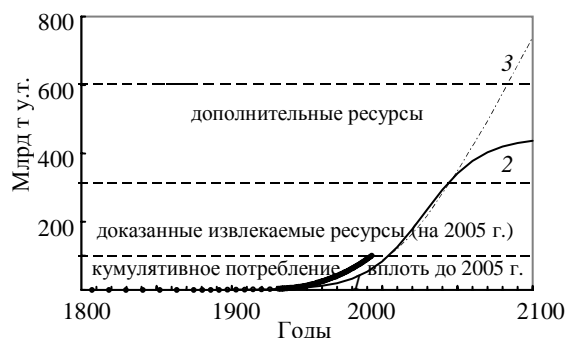


Рис. 2. Кумулятивное потребление газа в мире:

1 — исторические данные [7—9]; 2 — прогноз настоящей работы; 3 — основной сценарий WEC/IIASA [16]

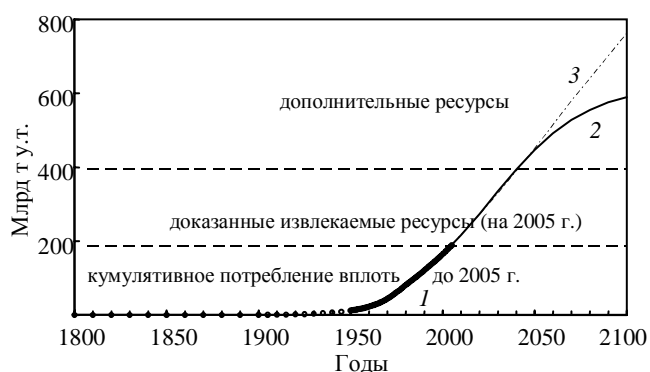


Рис.3. Кумулятивное потребление нефти в мире:

1 — исторические данные [7—9]; 2 — прогноз настоящей работы; 3 — основной сценарий WEC/IIASA [16]

Очевидно, что оценки запасов как нефти, так и газа за этот период 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 совершенно ясно, что этот процесс не может продолжаться бесконечно, и вид кривых на рис.1 показывает, что 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 [15]) — 620 и 490 млрд т у.т. соответственно.

Аппроксимация исторических рядов кумулятивной добычи нефти и газа [7—9, 12] логистической функцией со значениями окончательных запасов нефти и газа в качестве асимптот определяет динамику изменения ежегодной добычи углеводородного сырья в ближайшие десятилетия (рис. 2, 3). В рамках генетического прогноза эти виды топлива обеспечат примерно 50% энергопотребления в мире к 2050 г. но лишь около 10% – к концу столетия. Для сравнения на рис. 2, 3 представлен основной сценарий группы специалистов из Всемирного

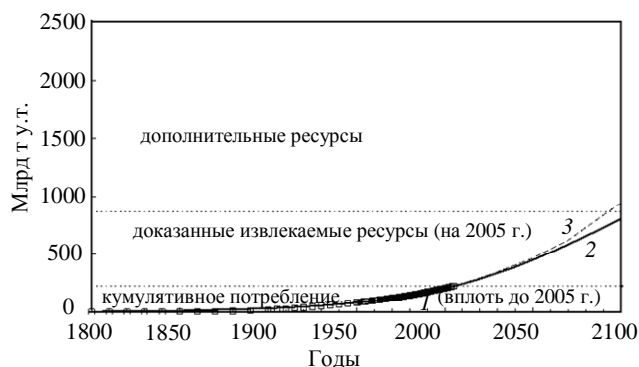


Рис.4. Кумулятивное потребление угля в мире:

1 — исторические данные [7—9]; 2 — данные настоящей работы; 3 — основной сценарий WEC/IIASA [16]

Энергетического совета и Международного института прикладного системного анализа (WEC/IIASA) [16], 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 изменению климата (IPCC) из [17], хоть и не указанный в качестве базового, но ориентирующий на умеренные показатели демографического и экономического развития и находящийся в середине спектра из представленных в [17] 40 альтернативных путей развития энергетики.

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 топлива, в предложенном сценарии приходится обеспечение примерно 30% потребности в энергии в 2050 г. и до 60% — к 2100 г. против современных 20% (табл. 1).

Однако данные по энергопотреблению последних 5 лет свидетельствуют об опережающем росте потребления угля в мире, преимущественно за счет Китая и Индии. Эта тенденция свидетельствует в пользу так называемой теории «угольного моста», сформулированной два десятилетия назад, в которой именно этот вид топлива должен был заполнить нишу между иссякающими запасами углеводородов и недостаточно быстро развивающимися альтернативными источниками энергии. Для учета этой тенденции был разработан альтернативный сценарий с большей долей угля, ежегодное потребление которого было рассчитано по методике, аналогичной использованной для нефтегазового сырья (рис. 4). Структура мирового топливно-энергетического баланса для этого сценария («угольная энергетика»), в котором к 2100 г. доля угля увеличится до 30% , а источники энергии, не связанные с эмиссией CO₂, составят примерно половину, также представлена в таблице 1 наряду с данными работ [16, 17]

Структура мирового энергетического баланса для различных сценариев развития энергетики (потребление в млрд т у.т. и %)

Сценарий	Источники энергии	2000 г.	2020 г.	2050 г.	2100 г.
«Чистая энергетика»	Уголь	3,2 (22%)	3,1 (16%)	3,7 (15%)	5,5 (22%)
	Нефть и газ	8,0 (56%)	11,1 (58%)	10,2 (43%)	2,0 (10%)
	Без CO ₂	1,7 (13%)	3,2 (16%)	7,7 (32%)	14,8 (58%)
	Некоммерч.	1,3 (9%)	2,1 (10%)	2,3 (10%)	2,4 (10%)
	Всего	14,2 (100%)	19,5 (100%)	23,9 (100%)	24,8 (100%)
«Угольная энергетика»	Уголь	3,2 (22%)	3,1 (16%)	6,7 (28%)	8,1 (30%)
	Нефть и газ	8,0 (56%)	11,1 (58%)	10,2 (43%)	2,0 (10%)
	Без CO ₂	1,7 (13%)	3,2 (16%)	7,7 (19%)	12,3 (50%)
	Некоммерч.	1,3 (9%)	2,1 (10%)	2,3 (10%)	2,4 (10%)
	Всего	14,2 (100%)	19,5 (100%)	23,9 (100%)	24,8 (100%)
Основной сценарий WEC/IIASA [16]	Уголь	3,2 (22%)	5,1 (26%)	6,5 (23%)	12,6 (26%)
	Нефть и газ	8,0 (56%)	10,5 (54%)	13,4 (47%)	14,4 (29%)
	Без CO ₂	1,7 (13%)	2,6 (13%)	7,2 (25%)	21,6 (44%)
	Некоммерч.	1,3 (9%)	1,2 (6%)	1,2 (4%)	0,6 (1%)
	Всего	14,2 (100%)	19,4 (100%)	28,3 (100%)	49,2 (100%)
Сценарий B2 IPCC [17]	Уголь	3,2 (22%)	3,3 (17%)	3,0 (10%)	10,2 (22%)
	Нефть и газ	8,0 (56%)	12,6 (65%)	17,8 (60%)	13,4 (29%)
	Без CO ₂	1,7 (13%)	2,2 (11%)	7,6 (26%)	21,4 (46%)
	Некоммерч.	1,3 (9%)	1,3 (7%)	1,3 (4%)	1,3 (3%)
	Всего	14,2 (100%)	19,3 (100%)	29,7 (100%)	46,3 (100%)

Потенциал ВИЭ, трлн кВтч/год [15, 16, 18, 19]

Вид ВИЭ	Теоретический потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Солнечная энергия	8700	720	5,3
Гидроэнергетика	40	15	8,0
Энергия ветра	500	53	2,4
Энергия морских волн и приливов	22	6	0,6
Геотермальная энергия	5000000	6	1,0
Всего	5009262	800	17,0

При анализе динамики структуры мирового топливно-энергетического баланса, прежде всего, стоит отметить, что длительные надежды, связанные с развитием ядерной энергетики (в частности, сценарии WEC/IIASA [16], предполагающие в течение нынешнего столетия рост производства электроэнергии на АЭС до 25—40 трлн кВтч/год, что эквивалентно ежегодному сжиганию 8—13 млрд т у.т. органического топлива на ТЭС*), не оправдались – в настоящее время большинство аналитиков [17—20] не видит возможности заметного увеличения современной выработки АЭС (около 2,7 трлн кВтч/год). Так, базовый сценарий Министерст-

ва энергетики США [18] предполагает пик производства электроэнергии на атомных станциях к 2015 г, когда оно составит примерно 2,9 трлн кВтч. Международное агентство по атомной энергии [20] предполагает на период до 2020 г. диапазон выработки АЭС в пределах 2,2—3,8 трлн кВтч/год. Таким образом, вклад ядерной энергетики в мировое энергопотребление не превысит нескольких процентов. Гидроэнергетика, несмотря на ожидаемый рост производства (в настоящее время используется уже примерно треть имеющегося в мире экономического гидропотенциала), также сможет обеспечить производство не более 10% требуемой энергии. В результате к 2100 г. для реализации генетического сценария потребуется производство энергии из нетрадиционных возобновляемых источников до 12 млрд. т у.т./год, или 37 трлн кВтч/год, что вполне осуществимо, поскольку эти объемы лежат значительно

* Пересчет т.н. первичного электричества, т.е. электроэнергии, вырабатываемой без сжигания органического топлива, производится на основе соотношения 1 кВтч = 0,319 кг у.т., предполагающего глобально усредненный КПД ТЭС равным 0,385.

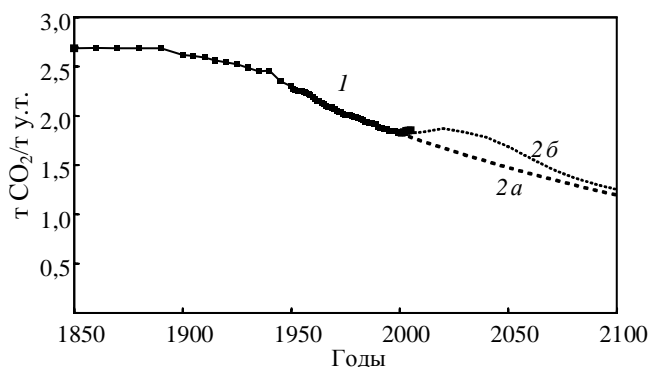


Рис.5. Динамика углеродного коэффициента мирового коммерческого энергопотребления:

1 — исторические данные [7—9]; 2a — сценарий «чистая энергетика»; 2б — сценарий «угольная энергетика»

ниже планки технического потенциала (и лишь чуть более чем в 2 раза превосходят экономический потенциал, рассчитанный для условий начала столетия) как солнечной, так и других видов возобновляемой энергии (табл. 2), темпы роста использования которых в последние два десятилетия составили устойчивые 8% в год [7—9].

Сравнение структуры топливно-энергетического баланса, предлагаемого в настоящей работе для прогноза мирового энергопотребления, с аналогичными показателями работ [16, 17] (см. табл. 1) 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 (50—60%), предусмотрена в нескольких сценариях IPCC [17] (семейства A1T, A1B и B1). Таким образом, несмотря на принципиально отличный подход к прогнозной оценке состояния мировой энергетики, предлагаемая структура мирового топливного баланса в целом не противоречит экспертным оценкам путей развития технологий производства энергии и в части органического топлива полностью обеспечена природными ресурсами.

Что касается экологических характеристик предложенных сценариев, то их характеризует углеродный коэффициент мирового энергопотребления (рис. 5). Как видно, в результате роста доли угля в глобальном объеме потребления коммерческой энергии многолетнее снижение углеродной интенсивности сменяется ее ростом, правда, до уровня 1,9 т CO₂/т у.т. против минимального значения 2000 г. в 1,8 т CO₂/т у.т., а к концу столетия снижается практически до отметки «чистого» сценария. Безусловно, такие изменения должны привести к заметному увеличению эмиссии диоксида углерода (и остальных парниковых газов). Эти последствия, равно как и соответствующие глобальные климатические изменения, рассмотрены ниже.

Изменения атмосферы и климата в XXI веке

Драматические сценарии будущего глобального потепления [1] (по самым крайним из которых средне-глобальная температура повысится за ближайшие сто лет на 5 градусов — такого не было не только за всю историю цивилизации, но и вообще за последние 70 млн. лет) основаны на расчетах моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Как было уже неоднократно показано (см., например, [2,11]), при всей своей постоянно повышающейся сложности они еще не в состоянии адекватно описывать наблюдающиеся климатические изменения и допускают значительный разброс даже в оценке такого важнейшего параметра климатической системы, как чувствительность к изменению содержания парниковых газов в атмосфере, которая по различным работам (их обзор представлен в [1]) находится в пределах 1,5–5,5 градусов при удвоении концентрации CO₂. Для преодоления этих трудностей авторами настоящей работы была разработана более простая регрессионно-аналитическая климатическая модель (РАМК) [11, 21—23], сочетающая в себе физические методы описания термодинамических процессов в системе «океан-атмосфера» и статистических методов оценки связи их результатов (температурных откликов) с внешним возмущающим воздействием. Корректный учет ряда естественных климатообразующих факторов позволил рассчитать чувствительность глобальной климатической системы, которая составила примерно 1,9 градуса при удвоении содержания CO₂, что находится в нижней части диапазона оценок этого параметра в [1].

Для оценки изменений содержания углекислого газа в атмосфере, связанных с его антропогенной эмиссией, была использована боксово-диффузионная модель глобального углеродного цикла, разработанная в МЭИ [11]. Результаты расчетов концентраций CO₂ по сценариям выбросов парниковых газов при реализации «чистого» и «угольного» варианта развития мировой энергетики представлены на рис. 6.

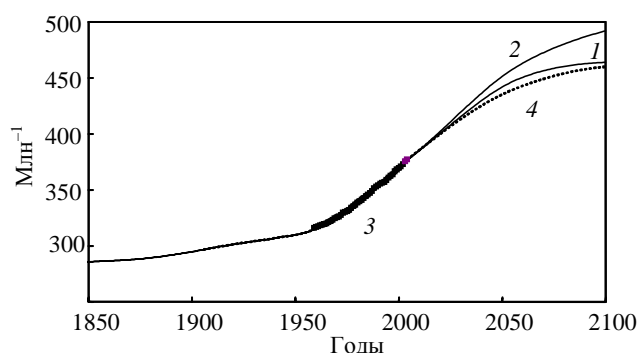


Рис.6. Изменение среднглобальной концентрации диоксида углерода в атмосфере: модельный расчет и прогноз авторов по сценариям эмиссии при реализации «чистого» (1) и «угольного» (2) вариантов развития мировой энергетики вместе с данными инструментальных измерений [1] (3) и модельным расчетом из [2] (4).

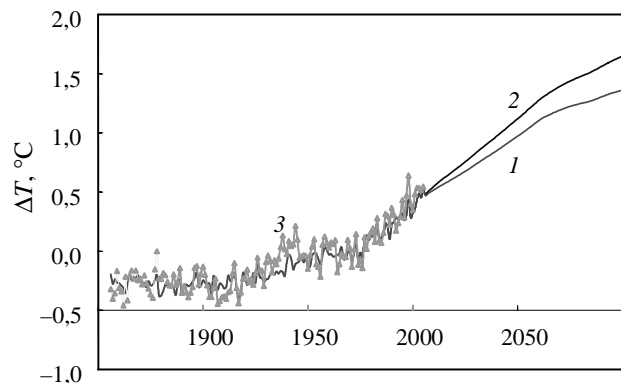


Рис. 7. Изменение среднелобальной температуры (по сравнению с нормой 1951—80 гг.):

1 и 2 — модельный расчет и прогноз авторов по сценариям «чистой» и «угольной» энергетики; 3 — данные инструментальных измерений [1].

Расчеты ожидаемых в текущем столетии глобальных климатических изменений, проведенные по РАМК, показывают, что, по базовому прогнозу основных климатообразующих факторов [11] и сценарию «угольной энергетики», среднелобальная температура за 100 лет повысится еще примерно на 1,3 градуса, что, хотя и превысит максимальную отметку голоцена, но, по другому важнейшему критерию — скорости изменения температуры, — находится в рамках адаптационных возможностей биосферы. Моделирование результатов реализации «чистого» сценария, аналогичного по целям Киотскому протоколу, показало (рис. 7), что меры, предлагаемые этим международным соглашением для стабилизации климата, хотя и не окажут существенного влияния на динамику среднелобальной температуры, способны уменьшить глобальное потепление на 0,3 градуса. Сравнение «чистого» сценария и сценария «угольной энергетики» (кривые 1 и 2 на рис. 7) показывает, что выполнение ограничений Киотского протокола задает верное направление развития энергетики в сторону повышения ее экологической безопасности.

Региональные проявления климатических изменений будут весьма разнообразны. Наши исследования, проведенные для территории России [24—26], показывают, что в ближайшие десятилетия следует ожидать заметного повышения средних годовых, зимних и весенних температур, что, в свою очередь, приведет к изменению многих прикладных климатических характеристик, имеющих значение для различных отраслей экономики. Так, снижение продолжительности и повышение средней температуры холодного периода приведет к значительной экономии топлива на отопление (к 2050 г. — до 15% от современных значений) [25]. Следует ожидать положительных изменений в сфере транспорта, сельского хозяйства, что также должно привести к снижению необходимого энергопотребления. Пожалуй, наиболее уязвимыми для климатических изменений на территории России являются области многолетней мерзлоты [26].

Сравнение географического распространения современного потепления и полей температур и осадков для других исторических теплых эпох — возможных аналогов ожидаемого потепления: субатлантического оптимума голоцена (примерно 5—6 тыс. лет назад) и средневековой теплой эпохи (конец IX—XII вв. н.э.) [27, 28] говорит о том, что лишь нескольких стран Северного полушария ожидают значительные климатические изменения. Так, существенный рост средних годовых температур кроме как в России наблюдается лишь в Канаде, северной части США и в Средней и Центральной Азии, а в Европе, на юго-востоке США и большей части Китая и Индии эти температурные изменения либо незначительны, либо даже отрицательны. Эти изменения будут сопровождаться почти повсеместно увеличением количества осадков, за исключением северо-востока США, Средиземноморья, восточных провинций Китая и юго-восточных штатов Индии, где происходит некоторое иссушение.

Однако сценарии будущих климатических изменений, представленные в других работах, имеют широкий диапазон оценок вплоть до катастрофических (рис. 8).

Так, в последнем обзоре IPCC [1] не исключается повышение среднелобальной температуры на 5 градусов. Глобальное потепление такого масштаба вызовет необратимые изменения природной среды в большинстве регионов мира, не исключая и Россию, что приведет к чрезвычайно негативным последствиям во всех сферах человеческой жизни. Несомненно, что экологическое давление на энергетику, в частности, с позиций Киотского протокола, в значительной мере зависит и от подтверждения или опровержения этих оценок. Если подтвердится несостоятельность катастрофических прогнозов, дальнейшее ужесточение киотских ограничений будет менее вероятным. В то же время, в случае развития событий по неблагоприятному сценарию следует ожидать еще большей консолидации мирового сообщества в области охраны климата. Однако повто-

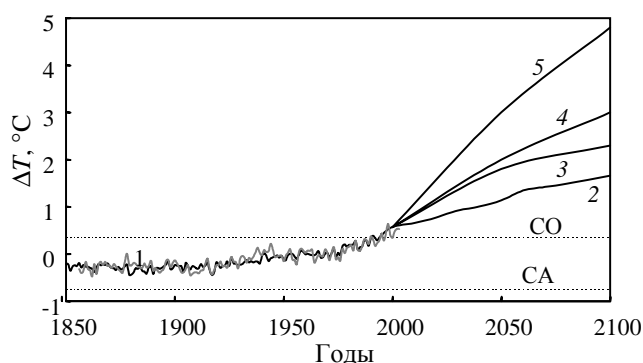


Рис. 8. Изменение среднелобальной температуры (по сравнению с нормой 1951—80 гг.):

1 — данные инструментальных измерений [1]; 2 — модельный расчет и прогноз авторов; сценарии IPCC [1] B1 (3), B2 (4) и A1FI (5). CO — температурный уровень средневекового оптимума [27]; CA — температурный уровень субатлантической эпохи [28]

рим, результаты наших многолетних исследований свидетельствуют в пользу умеренных сценариев развития глобальных климатических изменений.

Таким образом, сделанный нами ранее [21, 22] прогноз глобальных климатических изменений сохраняет свою силу, что, кстати, подтверждается его полным соответствием фактическим данным для истекшего периода времени [2]. Согласно этому прогнозу, в течение текущего столетия ожидается повышение средней глобальной температуры еще примерно на 1—1,5 градуса (рисунки 7, 8), что находится ниже всего диапазона оценок возможных глобальных изменений атмосферы и климата, сделанных экспертами IPCC [1], 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 [27, 28], однако темпы роста температуры (примерно 0,1 градуса 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, ненамного превосходят масштаб глобальных изменений, уже достигнутых в течение последнего столетия.

Выводы

Время, прошедшее после опубликования первых результатов применения генетического подхода для прогнозирования развития энергетики, показало его перспективность. Обнаружено хорошее соответствие прогнозных оценок мирового энергопотребления фактическим данным для последних 15 лет.

Развитие метода исторической экстраполяции в отношении оценки будущей структуры мирового производства энергии позволило разработать перспективный энергетический баланс на текущее столетие, в котором определяющая роль органического топлива сохраняется по крайней мере до 2060—2065 гг.

Исторический сценарий мирового энергопотребления полностью обеспечен имеющимися ресурсами органического топлива и не противоречит оценкам перспектив развития источников энергии, не связанных со сжиганием углеводородов.

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.

Региональные проявления этих климатических изменений будут разнообразны. Так, на территории России в ближайшие десятилетия следует ожидать существенно-го снижения продолжительности и повышения средней

температуры холодного периода, а также заметных деструктивных процессов в зоне многолетней мерзлоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, et al. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007, 996 p.
2. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. Теплоэнергетика, 2001, № 10, с. 61—66.
3. North D.C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
4. Клименко В.В., Клименко А.В. Теплоэнергетика, 1990, № 10, с. 6—11.
5. Снытин С.Ю., Клименко В.В. и Федоров М.В. Докл. РАН, 1994, т. 336, № 4, с. 476—480.
6. Клименко В.В. Там же, 1994, т. 339, № 3, с. 319—322.
7. Energy Statistics Yearbook 2004. New York: UN, 2007.
8. BP Statistical Review of World Energy. 2007. <http://www.bp.com/statisticalreview>
9. International Energy Annual 2005. Energy Information Administration, Washington, 2007.
10. Demographic Yearbook. New York: UN, 2006.
11. Клименко В.В., Клименко А.В., Андрейченко Т.Н. и др. Энергия, природа и климат. М.: Изд-во МЭИ, 1997, 215 с.
12. World Population Prospects: The 2004 Revision. V. I. Comprehensive Tables. New York: UN, 2006.
13. Тойнби А.Дж. Постигание истории. М.: Прогресс, 1991.
14. Energy and nuclear power planning in developing countries. Techn. Rep. Ser. № 245. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1985.
15. WEC Survey of Energy Resources. World Energy Council, London, 2001.
16. Global Energy Perspectives. Ed. N. Nakicenovic, A. Grubler, A. McDonald. IASA/WEC. Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
17. Special Report on Emissions Scenarios / N. Nakicenovic and R. Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. IPCC, 2000, 570 p.
18. International Energy Outlook. Washington, DC: Energy Information Administration, 2006.
19. World Energy Outlook 2006. Paris: International Energy Agency, 2006.
20. Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2020. Ref. Data Ser. № 1. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.
21. Клименко В.В., Федоров М.В., Андрейченко Т.Н. и др. Вестн. МЭИ, 1994, № 3, с. 103—108.
22. Клименко В.В. Теплоэнергетика, 1997, № 2, с. 2—6.
23. Klimenko V.V., Mikushina O.V., Tereshin A.G. Applied Energy, 1999, № 64, p. 311—316.
24. Клименко В.В., Микушина О.В. Геоэкология, 2005, № 1, с. 43—49.
25. Клименко В.В. Энергия, 2007, № 2, с. 2—8.
26. Хрусталева Л.Н., Клименко В.В., Емельянова Л.В. и др. Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 1, с. 3—11.
27. Клименко В.В. Климат средневековой теплой эпохи в Северном полушарии. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
28. Клименко В.В. Холодный климат ранней субатлантической эпохи в Северном полушарии. М.: Изд-во МЭИ, 2004.