

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ: МИФ И РЕАЛЬНОСТЬ

NO. 6 | ДЕКАБРЬ 2005 | РУССКАЯ ВЕРСИЯ

# *Ядерная энергетика и изменение климата*

*Публикация, посвященная ядерным проблемам No.6*

**АВТОР: ФЕЛИКС КРИСТИАН МАТТЕС**

## *Содержание*

Введение

Проблема изменения климата

Производство в обычных условиях

Сложная структура рисков

Варианты минимизации отрицательных последствий

Основные стратегии: социологические исследования в Германии

Выводы

Ссылки

Расшифровка аббревиатур



HEINRICH  
BÖLL  
STIFTUNG

## Об авторе

Феликс Маттес - дипломированный инженер, получил степень кандидата наук в политологии. После многих лет работы на промышленность, в 1991 г. начал работать в Берлине в Экоинституте (Öko-Institut). Опубликовал ряд исследований в области национальной и международной энергетической и климатической политики, участвует в формировании политики на национальном и европейском уровне. В 2000-2002 гг. являлся членом комиссии «Энергетика в условиях глобализации и либерализации» немецкого федерального правительства.

Публикация, посвященная ядерным проблемам, No. 6:

Ядерная энергия и изменение климата

Автор: Феликс Кристиан Маттес

© Heinrich Böll Foundation 2005г.

Все права защищены



В соавторстве с

Данный доклад не обязательно отражает взгляды Heinrich Böll Foundation.

Публикация регионального представительства Heinrich Böll Foundation в Южной Африке, в сотрудничестве со штаб-квартирой Heinrich Böll Foundation.

### Контакты:

Региональное представительство Фонда имени Генриха Бёлля в Южной Африке,

PO Box 2472; Saxonwold, 2132; South Africa..

Тел.: +27-11-447 8500. Факс: +27-11-447 4418. [info@boell.org.za](mailto:info@boell.org.za)

Фонд имени Генриха Бёлля в Германии,

Heinrich Böll Stiftung, Hackesche Höfe, Rosenthaler Str. 40/41, D-10178 Berlin, Germany,

Tel: +49-30 285 340, Fax: +49-03 285 31 09, [info@boell.de](mailto:info@boell.de); [www.boell.de](http://www.boell.de)

Фонд имени Генриха Бёлля - российское представительство,

Грузинский пер., 3-231, 123056 Москва

Тел.: +7-495 254 14 53; Факс: +7-495 9358014; [info@boell.ru](mailto:info@boell.ru); [www.boell.ru](http://www.boell.ru)

## *Введение*

Глобальное потепление является одной из основных проблем XXI века. Большое разнообразие всевозможных исследований и моделей в этой области явно демонстрирует, что необходимо существенно сократить количество выбросов в атмосферу для того, чтобы остановить глобальное потепление.

Проблема климатической политики станет особенно актуальной для энергетического сектора. Основную часть всемирных парниковых газов составляют выбросы углекислого газа, который выделяется при горении ископаемого топлива. Если в течение этого века потребуется серьезно уменьшить количество выбросов углекислого газа в энергетическом секторе, а особенно в секторе производства электроэнергии, придется произвести коренные перемены.

Среди технологий, за счёт которых можно уменьшить количество выбросов, ключевую роль играет производство ядерной электроэнергии. Использование ядерной энергии является предметом многочисленных споров с момента ее появления на рынке энергии. Риски, связанные с этой технологией, варьируются от катастрофических аварий до использования ядерных материалов в военных или террористических целях. После Чернобыльской и ряда других катастроф в производстве ядерной электроэнергии начался период застоя. Более того, после либерализации рынка электроэнергии в большинстве стран Организации экономического сотрудничества и развития, многие атомные установки столкнулись с серьезными проблемами, так как для большинства инвесторов новые вложения в атомную энергетику оказались невыгодными. Однако возрастающие споры по поводу изменения климата спровоцировали дискуссии на тему возврата к ядерной энергетике на постоянной основе. В особенности после введения в странах Евросоюза программы по торговле разрешениями на выброс в атмосферу загрязняющих веществ, вследствие которой выделение углекислого газа перестало быть бесплатным, атомную энергию стали все больше и больше позиционировать как ключевую технологию среди возможных вариантов сокращения выбросов загрязняющих веществ.

Политика по борьбе с изменением климата для противодействия глобальному потеплению и специфические риски, характерные для ядерной энергетики, образуют многосложную область противоречий. В ходе дискуссии возникает проблема различий в оценке риска и подбора альтернативных вариантов. Риски для здоровья, экосистемы, а также для социальных и экономических структур должны быть оценены и сопоставлены с доступностью возможных альтернативных вариантов и соответствующими затратами. На этом фоне решающая роль должна быть отведена уменьшению выбросов и размеру отчислений за сокращение выбросов. Если бы было необходимым лишь небольшое сокращение выбросов или же было бы доступно большое разнообразие альтернативных вариантов, обсуждения на тему ядерной энергетики были бы менее актуальными, чем в противоположном случае.

В данной работе сделана попытка структурировать дебаты на тему политики в области изменения климата и ядерной энергетики, а также делаются определенные выводы на основе анализа литературы и дискуссий. Во второй главе дается общее представление о величине, на которую можно сократить выбросы загрязняющих веществ, и определяются основополагающие компоненты для подробного обсуждения проблемы ядерной энергетики в рамках климатической поли-

тики. В третьей главе описывается современная промышленность с точки зрения перспективной оценки выбросов углекислого газа, а также развития ядерной энергетики на ближайшие десять лет. В четвертой главе на фоне совершенно разных рисков моделей глобального потепления и ядерной энергетики, приводится наглядный пример систематического анализа и оценки различных вариантов рисков. Пятая глава посвящена описанию и оценке вариантов снижения выбросов загрязняющих веществ в долгосрочной перспективе.

В шестой главе в качестве поясняющего примера приводится экспериментальное исследование, демонстрирующее, как может выглядеть сокращение выбросов на 80 процентов в такой индустриальной стране как Германия. Далее приведены возможные уроки, которые можно извлечь из подобного упражнения, а также из исследований в предыдущих главах. Седьмая глава содержит ключевые выводы, которые можно сделать на основе исследований данной работы.

Учитывая долгосрочный характер проблемы глобального потепления, необходимо оценить различные варианты в течение длительного периода времени. Для исследований данной работы берется временной период до 2050 года, так как чем больший берется период, тем больше предположений приходится делать при оценке технологий и других альтернативных вариантов, поэтому промежуток времени ограничен пятью десятилетиями, начиная от настоящего момента. Более того, все исследования, приведенные в данной работе, производятся на глобальном уровне. В отношении многих проблем, обсуждаемых в разных главах, было бы полезно применять подход, основанный на региональной специфике, чтобы лучше разобраться в деталях и развитии различных стратегий.

## ***Проблема изменения климата***

Глобальное изменение климата, возможно, является самой существенной проблемой для энергетики и экологической политики на следующие десятилетия. Постоянно возрастающее число научных подтверждений факта изменения климата, а также последствия глобального потепления из-за антропогенных выбросов приводят к необходимости найти новые подходы и концепции для политики в энергетической отрасли. Если выбросы парниковых газов продолжат расти и концентрация этих газов в атмосфере увеличится в два раза или больше, произойдут еще более серьезные нарушения в климатической системе планеты.

Выбросы углекислого газа вследствие использования ископаемого топлива играют главную роль в процессе изменения климата. На долю углекислого газа, образующегося из-за сгорания ископаемого топлива, приходится около восьмидесяти процентов мировых выбросов в атмосферу. Углекислый газ считается одним из сильнейших парниковых газов, которые способствуют глобальному потеплению. Несмотря на то, что концентрация некоторых других парниковых газов значительно возросла в течение последних ста лет, а есть такие газы, которые могут очень долго находиться в атмосфере, антропогенные выбросы углекислого газа ответственны более, чем за половину общего радиационного возмущающего воздействия (см. таблицу 1).

**Таблица 1** Концентрация парниковых газов на сегодняшний день

	Pre-1750 concentration	Current tropospheric concentration	GWP (100-yr time horizon)	Atmospheric lifetime	Increased radiative forcing
				years	W/m <sup>2</sup>
<b>Concentrations in parts per million (ppm)</b>					
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	280	375	1	variable	1.46
<b>Concentrations in parts per billion (ppb)</b>					
Methane (CH <sub>4</sub> )	730/688	1,852/1,730	23	124	0.48
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O)	270	319	296	1,144	0.15
Tropospheric ozone (O <sub>3</sub> )	25	344	n.a.	hours-days	0.35
<b>Concentrations in parts per trillion (ppt)</b>					
CFC-11 (trichlorofluoromethane) (CCl <sub>3</sub> F)	zero	256/253	4,600	45	0.34 for all halocarbons collectively, including many not listed here.
(CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	zero	546/542	10,600	100	
CFC-113 (trichlorotrifluoroethane) (C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub> )	zero	80/80	6,000	85	
Carbon tetrachloride (CCl <sub>4</sub> )	zero	94/92	1,800	35	
Methyl chloroform (CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> )	zero	28/28	140	4.8	
HCFC-22 (chlorodifluoromethane) (CHClF <sub>2</sub> )	zero	15,811	1700	11.9	
HFC-23 (fluoroform) (CHF <sub>3</sub> )	zero	1,412	12,000	260	
Perfluoroethane (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	zero	312	11,900	10,000	
Sulfur hexafluoride (SF <sub>6</sub> )	zero	5.2111	22,200	3,200	0.0025
Trifluoromethyl sulfur pentafluoride (SF <sub>5</sub> CF <sub>3</sub> )	zero	0.1213	~ 18,000	~ 3,200 (?)	< 0.0001

Источник: Blasing/Jon (2005)

До сих пор продолжают дискуссии по поводу того, на каком уровне необходимо остановить увеличение концентрации парниковых газов, чтобы предотвратить опасные антропогенные нарушения в климатической системе планеты (статья 2 рамочной конвенции ООН об изменении климата). Однако появляется все больше мнений в пользу того, что ограничение возрастания средней мировой температуры на два градуса Цельсия по сравнению с доиндустриальным уровнем спровоцирует нежелательные последствия и угрозу для природы и человеческого общества.<sup>1</sup> Учитывая тот факт, что начиная с XIX века, средняя мировая температура уже поднялась на 0,6°C, дальнейшее увеличение на 1,4°C считается границей, за которую нельзя выходить. Более того, не следует превышать среднюю долгосрочную «норму» потепления на уровне не больше 0,2°C за десять лет.<sup>2</sup>

Учет подобных целей в стратегии снижения выбросов приводит к новым вопросам и новым научным дебатам. Следующие параметры являются решающими для определения мер, которые необходимо предпринять для ограничения глобального потепления в пределах допустимых рамок «климатического интервала».

- Динамика выбросов с течением времени для различных парниковых газов, а также для газов, которые оказывают сильное радиационное возмущающее воздействие (например, выбросы серы, потому что аэрозоль SO<sub>2</sub> оказывает «охлаждающий эффект»), также особую важность имеют темпы роста, время достижения максимальной концентрации и последующего спада;

<sup>1</sup> Например, Европейский совет заявил, что для достижения конечной цели UNFCCC в предотвращении опасного антропогенного нарушения климатической системы общее мировое повышение температуры не должно превышать доиндустриальный уровень более чем на 2°C.

<sup>2</sup> См. WGBU (2003+2004).

- Краткие сведения о концентрации и радиационном возмущающем воздействии для разных газов на основе траектории выбросов;
- Уровень климатической чувствительности, использованный для современного моделирования, включает увеличение температуры с 1,5°C до 4,5°C и удвоение концентрации CO<sub>2</sub> при среднем значении 2,5°C; если уровень климатической чувствительности достигнет верхнего предела, возникнет необходимость в гораздо более значительном снижении количества выбросов для того, чтобы достигнуть уровня в 2°C; если же уровень климатической чувствительности будет на нижней границе, менее строгие ограничения будут применены по отношению к объемам будущих выбросов (тем не менее, немало моделей основано на уровне климатической чувствительности от 2,5°C до 2,8°C).

Существует большое количество результатов моделирования, по которым можно определить приемлемую для глобального потепления динамику выбросов при существующем ограничении в 2°C. В частности, альтернативные стратегии для снижения уровня выбросов различных газов или альтернативные временные привязки являются особенно важным вопросом для обсуждения.<sup>3</sup> В работе Nare/Meinshausen (2004) указывается, что:

- В случае стабилизации концентрации парниковых газов на уровне 550 ppm (частей на миллион), пересчитанных на CO<sub>2</sub> (стабилизация концентрации CO<sub>2</sub> на уровне 475 ppm), риск превышения критического предела в 2°C находится в диапазоне от 68% до 99% (среднее значение 85%, «очень высокий» согласно определению IPCC);
- В случае стабилизации концентрации парниковых газов на уровне 450 ppm, пересчитанных на CO<sub>2</sub> (стабилизация концентрации CO<sub>2</sub> на уровне 400 ppm), риск превышения критического предела в 2°C находится в диапазоне от 26% до 78% (среднее значение 47% - «средняя вероятность»);
- В случае стабилизации концентрации парниковых газов на уровне 400 ppm, пересчитанных на CO<sub>2</sub> (стабилизация концентрации CO<sub>2</sub> на уровне 350 ppm), риск превышения критических пределов в 2°C находится в диапазоне от 2% до 57% (среднее значение 27% - «маловероятно»).

На этом фоне климатическая политика должна быть нацелена на стабилизацию концентрации парниковых газов в пределах от 400 ppm до 450 ppm (что равно стабилизации концентрации CO<sub>2</sub> от 350 до 400 ppm).<sup>4</sup> Для достижения такой концентрации выбросы парниковых газов должны быть сокращены на 50% к 2050 г. (по сравнению с уровнем 1990 г.).

И хотя существует множество стратегий для достижения приемлемого уровня концентрации, необходимо обдумать варианты соотношения между точкой, в которой рост объема выбросов имеет максимальное значение (а затем идет на спад), и коэффициентом снижения этой переломной точки. Meinshausen (2005) доказывает, что 10-летняя задержка в выработке глобального плана действий приведет к двойному увеличению того количества выбросов, которое необходимо сократить по сравнению с уровнем 1990 г. На этом фоне как можно более

<sup>3</sup> Дополнительную информацию о представлениях примерных моделей «early action» или «delayed response» см. в Meinshausen и др. (2005)

<sup>4</sup> Дополнительную информацию по временному превышению этих уровней и последующему возвращению (точка максимума) см. Meinshausen (2005)

ранние действия необходимы не только для получения опыта, но также и для предотвращения дополнительных расходов и издержек на период вне пиковых значений объема выбросов парниковых газов.

**Таблица 2** Типовой пример снижения выбросов для стабилизации CO<sub>2</sub> на уровнях 400, 450 и 550 ppm, к 2020 и 2050 гг.

Stabilization Level	Region	CO <sub>2</sub> Emissions	
		2020	2050
		compared to 1990 emission levels (if not indicated otherwise)	
400 ppmv CO <sub>2</sub>	Global Annex I	+10% -25% to -50%	-60% -80% to -90%
	Non-Annex I	Substantial deviation from reference in Latin America, Middle East, East Asia and Centrally planned Asia	Substantial deviation from reference in all regions
450 ppmv CO <sub>2</sub>	Global Annex I	+30% -10% to -30%	-25% -70% to -90%
	Non-Annex I	Deviation from reference in Latin America, Middle East, East Asia and Centrally planned Asia	Substantial deviation from reference in all regions
550 ppmv CO <sub>2</sub>	Global Annex I	+50% -5% to -25%	+45% -40% to -80%
	Non-Annex I	Deviation from reference in Latin America, Middle East and East Asia	Deviation from reference in most regions, specially in Latin America and Middle East

Источник: Ecofys (2004)

В таблице 2 приведены примерные максимальные значения объёма выбросов для стабилизации концентрации CO<sub>2</sub> на разных уровнях в зависимости от группы стран (страны, перечисленные и не перечисленные в Приложении 1 UNFCCC). Если необходимо достичь стабилизации концентрации парниковых газов на уровне от 400 до 450 ppm (т.е. концентрация CO<sub>2</sub> между 350 и 400 ppm), то к 2050 г. количество выбросов должно быть уменьшено примерно на 60% по сравнению с уровнем 1990 г.

Для стран Приложения I потребуется сократить выбросы на 80-90%. Даже для достижения менее грандиозных целей от индустриальных стран потребуется сократить выбросы на 70% по сравнению с уровнем 1990 г.

Более того, снижение выбросов загрязняющих веществ должно произойти и в развивающихся странах. В соответствии с упомянутым сценарием, выбросы CO<sub>2</sub> могут увеличиться к 2020 г., но после этого рубежа необходимо их быстрое снижение.

Однако границы выбросов CO<sub>2</sub> с целью ограничить глобальное потепление в рамках 2°C сильно зависят от климатической чувствительности.<sup>5</sup> В таблице 3 приведены цифры, объясняющие данное утверждение и основанные на данных Консультационного совета Германии по глобальным проблемам (WBGU, 2003). В условиях высокой климатической чувствительности, совокупные выбросы CO<sub>2</sub> за период 2000-2100 должны быть в четыре раза меньше по сравнению с объемом выбросов в случае низкой климатической чувствительности.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Климатическая чувствительность выражается как повышение средней глобальной температуры в случае увеличения вдвое концентрации парниковых газов.

<sup>6</sup> Другие авторы (т.е. Meinshausen 2005) на основе результатов моделирования делают выводы, что сохранение изменения температуры в пределах 2°C возможно, только если совокупное количество выбросов CO<sub>2</sub> от ископаемого топлива может быть ограничено 400 млрд. метрических тонн углерода (Gt C) по сравнению с 1990 г. Если рассматривать совокупные выбросы в период с 1990 до 2000 г., можно видеть, что сохраняется запас в 333 Gt C (или примерно 1,221 Gt CO<sub>2</sub>).

**Таблица 3** Совокупное количество выбросов CO<sub>2</sub> для ограничения глобального потепления в пределах 2°C по сравнению с доиндустриальными уровнями.

Assumed climate sensitivity °C	Permissible cumulative CO <sub>2</sub> emissions 2000-2100	
	billion metric tons of Carbon	billion metric tons of CO <sub>2</sub>
1.5	1,780 - 1,950	6,527 - 7,150
2.5	850 - 910	3,117 - 3,337
3.5	530 - 560	1,943 - 2,053
4.5	380	1,393

Источник: WBGU (2004)

Поэтому при оценке ядерной энергетики, а также других возможных вариантов для уменьшения воздействия на окружающую среду, необходимо учитывать границы быстрого и существенного снижения выбросов CO<sub>2</sub>. Причем, максимальный объем выбросов в индустриальных странах может быть достигнут в течение двух десятилетий; глобальные выбросы CO<sub>2</sub> следует сократить к 2050 г. на 30-60%, а выбросы для промышленно развитых стран необходимо сократить на 60-90% к 2050 г. Этот сценарий тем не менее не дает уверенности в том, можно ли ограничить рост глобального потепления в рамках 2°C. Остаться в этих рамках станосится возможным только если динамика выбросов будет близка к нижней границе.

## **1 Производство в обычных условиях**

### **Тенденции объемов выбросов CO<sub>2</sub>**

С начала XXI века глобальные выбросы CO<sub>2</sub> выросли в двенадцать раз. В 1950 г. больше всего выбрасывали Северная Америка и Западная Европа, хотя объёмы выбросов в социалистических странах резко возросли в период после Второй мировой войны. До нефтяного кризиса 1970-х на долю стран Европы с плановой экономикой приходилось 22% глобальных выбросов CO<sub>2</sub>, Западной Европы - 23% и Северной Америки - 32%.

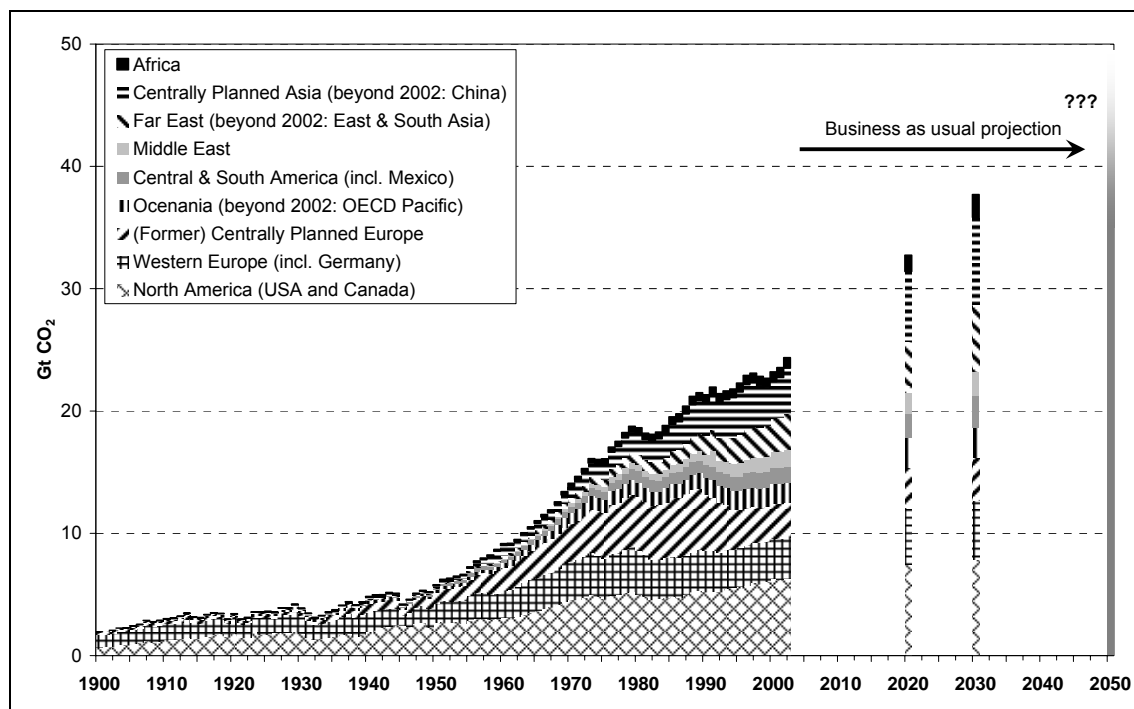
Начиная с 1980-х гг., наиболее значимыми тенденциями в динамике выбросов являются:

- Устойчивое увеличение объема выбросов в Северной Америке;
- Более-менее стабильный уровень в Западной Европе;
- Резкое снижение выбросов CO<sub>2</sub> после обвала в европейских странах с централизованной экономикой;
- Увеличение объема выбросов в азиатских странах с плановой экономикой (особенно в Китае), а также в странах Востока с развивающейся экономикой.

В 2002 г. на долю Северной Америки приходилось только 26% глобальных выбросов CO<sub>2</sub>; долю Западной Европы (14%) можно было сравнить с азиатскими странами (15%), которые опережали страны с переходной экономикой (12%).



**Рисунок 1** Глобальные выбросы CO<sub>2</sub> от сгорания топлива, 1900-2050



Источник: Marland et al. (2005), IEA (2004), собственные подсчёты

В период с 1990 по 2002 гг. львиная доля выбросов приходилась на страны Северной Америки и Западной Европы. В этот период общие выбросы CO<sub>2</sub> составляют 1012 млрд. метрических тонн CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>). В условиях кумулятивных выбросов вклад различных регионов приблизительно сопоставим с ситуацией с фактическими выбросами в 1970 г. На страны Северной Америки приходится 32% общих кумулятивных выбросов CO<sub>2</sub>, часть стран Западной Европы составляет 22%, а на долю бывших социалистических стран Европы приходится 18%. Часть азиатских стран с плановой экономикой и других стран Дальнего Востока не велика и составляет 8% и 5% соответственно.

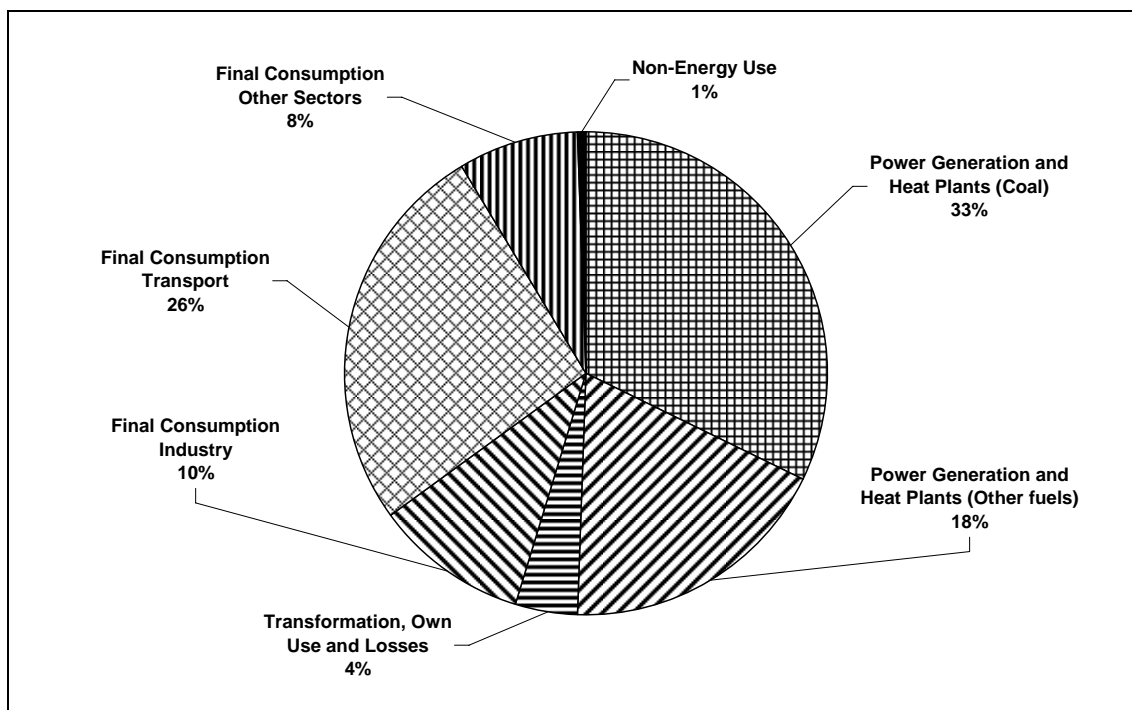
Международное энергетическое агентство (IEA 2004) предполагает продолжение следующих тенденций:

- Глобальные выбросы CO<sub>2</sub> из-за сжигания ископаемого топлива могут возрасти на 62% в период 2002-2030 гг.;
- Рост выбросов CO<sub>2</sub> в странах Организации экономического сотрудничества и развития в Северной Америке достигнет 33%;
- Объемы выбросов в Западной Европе и Евросоюзе могут увеличиться примерно на 20%;
- Доля выбросов в странах Организации экономического сотрудничества и развития в Азии и Тихоокеанском регионе также может увеличиться примерно на 20%;
- Выбросы CO<sub>2</sub> в странах с переходной экономикой (особенно в России), вероятно, вырастут на 40%;
- Выбросы CO<sub>2</sub> в развивающихся странах (Китай, Индия, Индонезия, Бразилия и др.) увеличатся примерно в 1,2 – 1,6 раз.

На рисунке 2 представлены основные сектора, где вероятно увеличение объёмов выбросов по предположению ИЕА. Половина предполагаемого увеличения в период с 2002 по 2030 гг. происходит в энергетическом секторе и около трети в секторе производства энергии на установках, использующих уголь. На транспортный сектор приходится примерно 26% роста выбросов. И хотя во всех секторах следует провести мероприятия по снижению объёмов выбросов, особая роль в стратегии снижения выбросов должна отводиться энергетическому и транспортному секторам.

Даже если проанализировать принципиально разные тенденции роста выбросов в будущем, исторический вклад разных стран в загрязнение атмосферы Земли парниковыми газами претерпит лишь незначительные изменения. Страны Северной Америки ответственны за 28% общего количества кумулятивных выбросов за период с 1900 по 2030 гг., страны Западной Европы несут ответственность за 18%, а бывшие социалистические страны Европы за 14%. На быстроразвивающиеся страны Азии и Дальнего Востока приходится 12% и 9% глобальных кумулятивных выбросов CO<sub>2</sub> в период с 1900 по 2030 гг.

**Рисунок 2** Объёмы выбросов по секторам экономики, которые увеличат глобальные выбросы CO<sub>2</sub> от сгорания топлива в период 2002-2030 гг.



Источник: ИЕА (2004), собственные подсчёты автора

Если следовать расчетам, на которые делается ссылка во второй главе, добиться ограничения роста температуры на планете в пределах 2°C, если климатическая чувствительность будет выше 2,5°C, почти невозможно по предположениям ИЕА. Если климатическая чувствительность будет на уровне 2,5°C, объёмы выбросов нужно резко уменьшить сразу после 2030 г., чтобы сохранить некий шанс на ограничение глобального потепления в пределах 2°C по сравнению с доиндустриальными уровнями (см. таблицу 4).

**Таблица 4** Кумулятивные выбросы CO<sub>2</sub> для ограничения глобального потепления в пределах 2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем и с учетом предполагаемой динамики объемов выбросов CO<sub>2</sub> к 2030 г.

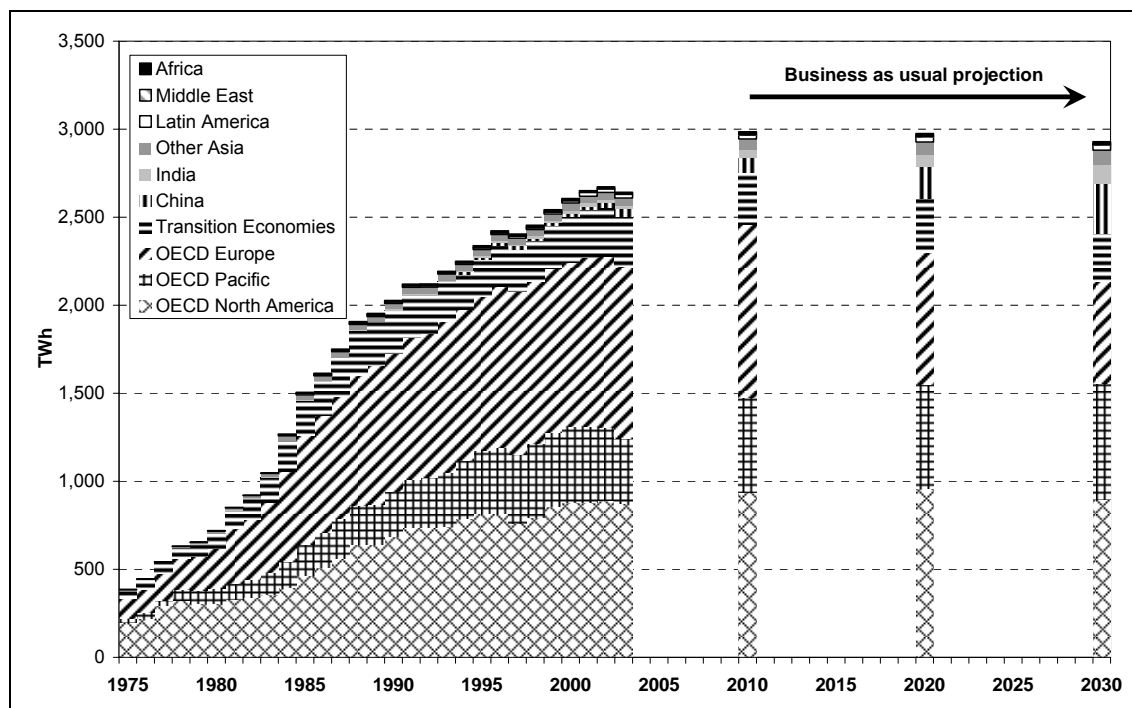
Assumed climate sensitivity °C	Permissible cumulative CO <sub>2</sub> emissions 2000-2100	Cumulative CO <sub>2</sub> emissions 2000-2030	Emission budget left
	billion metric tons of CO <sub>2</sub>		
1.5	6,527 - 7,150	~ 900	86% - 87%
2.5	3,117 - 3,337	~ 900	71% - 73%
3.5	1,943 - 2,053	~ 900	54% - 56%
4.5	1,393	~ 900	35%

Source: WBGU (2004), IEA (2004), собственные подсчёты.

### *Производство ядерной электроэнергии*

В отличие от глобального характера процессов роста спроса на электроэнергию и увеличения выбросов CO<sub>2</sub>, развитие ядерной энергетики происходило не везде, а лишь в некоторых регионах - главным образом в странах-членах Организации экономического сотрудничества и развития, в социалистических странах Европы и в странах с переходной экономикой. Интенсивные темпы роста 1970-х и 1980-х гг. сильно замедлились после Чернобыльской катастрофы. И лишь небольшой подъем наметился после 2000 г. В 2003 г. доля производства ядерной электроэнергии в странах Организации экономического сотрудничества и развития составляла 22% и 6% в остальных странах. Только в некоторых странах на атомную энергию приходится одна треть (или больше) всей производимой электроэнергии; к числу таких стран относится несколько членов Организации экономического сотрудничества и развития (Франция, Швеция, Бельгия, Венгрия, Корея, Словакия, Швейцария), но есть также страны с переходной экономикой (Болгария, Словения, Армения, Литва и Украина).

**Рисунок 3** Производство ядерной электроэнергии, 1975-2030 гг.



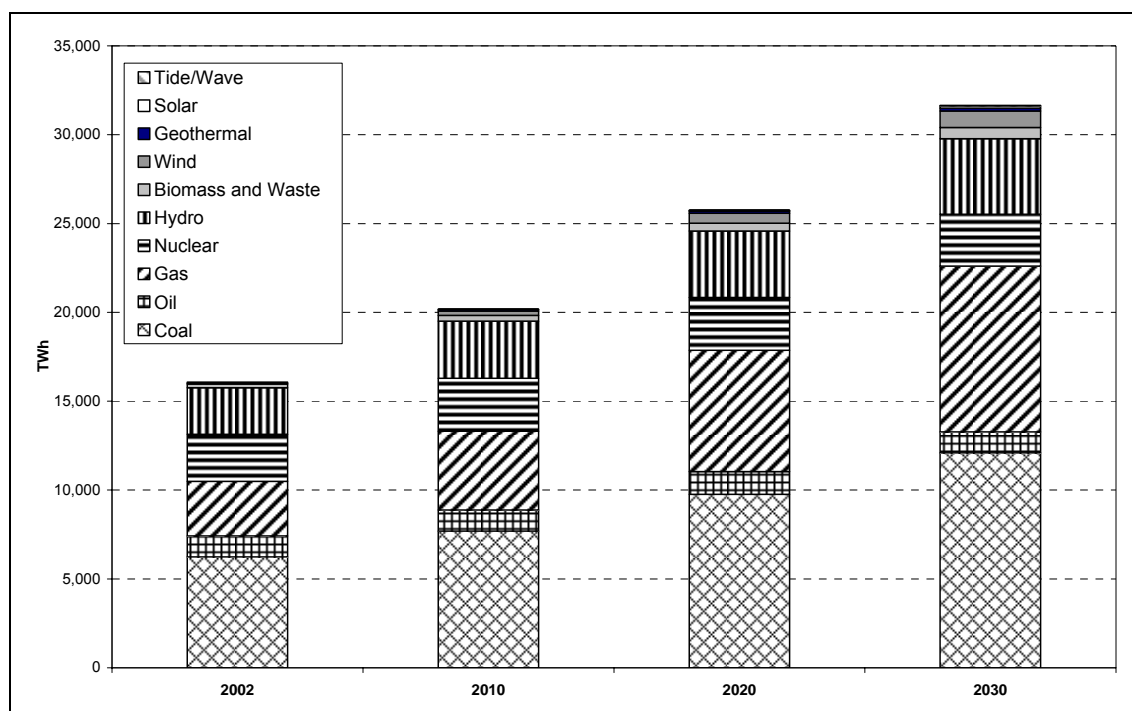
Источник: IEA (2004+2005)

Среди основных причин снижения динамики развития ядерной энергетики во многих регионах мира можно выделить следующие факторы:

- возрастающее общественное противодействие ядерной энергетике во многих странах из-за таких проблем, как возможность крупной атомной аварии, захоронения радиоактивных отходов, транспортировки ядерных материалов, а также проблем распространения и терроризма;
- экономические проблемы атомной индустрии, с которыми она столкнулась после либерализации рынка электроэнергии в некоторых странах Организации экономического сотрудничества и развития, включая проблемы финансирования вывода установок из эксплуатации и захоронения ядерных отходов;
- возрастающие требования по безопасности для новых и существующих атомных реакторов;
- относительно низкие цены на ископаемое топливо и значительное усовершенствование конкурирующих с «мирным атомом» технологий производства энергии.

Предполагается, что выработка электроэнергии на АЭС немного вырастет к 2010 г., а затем последует незначительный спад в течение двух десятилетий после 2010 г. Эта динамика основывается на трех различных тенденциях. Существует предположение, что особенно в европейских странах Организации экономического сотрудничества и развития произойдет сильный спад в производстве ядерной энергии. В этих странах, также как и в Евросоюзе, производство электроэнергии должно снизиться на 40% в течение последующих тридцати лет. В Северной Америке и в странах с переходной экономикой производство ядерной электроэнергии, предположительно, будет находиться на нынешнем уровне. Однако, по прогнозу IEA (2004), в азиатских странах Организации экономического сотрудничества и развития и в некоторых развивающихся странах производство ядерной энергии должно сильно возрасти. В азиатских странах Организации экономического сотрудничества и развития это увеличение составит примерно 60%. Производство ядерной электроэнергии в Китае предположительно возрастет раз в десять, а в Индии в 4,8 раза. Для остальных развивающихся стран прогнозируется меньший рост (Латинская Америка +38% в период с 2002 по 2030 гг., в Африке + 18%)

Рисунок 4 Уровень производства электричества в обычных условиях, 2002-2020 гг.



Источник: IEA (2004)

Несмотря на то, что тенденции развития мировой энергетики предусматривают небольшой рост в производстве ядерной электроэнергии, её доля в мировом масштабе должна значительно снизиться. В 2002 г. на атомную энергию приходилось 17% мировой выработки электроэнергии, к 2030 г. её доля сократится и составит лишь 9%. И даже в Китае, стране с самыми значительными темпами роста ядерной энергии, её доля будет составлять только 5% в общей массе произведенной электроэнергии. Согласно данным 2004 года, основной рост в производстве электроэнергии будет достигнут за счет угля и природного газа. Хотя значительный прирост отражен и для производства электроэнергии от возобновляемых источников энергии; эти источники (не считая гидроэнергии) играют несколько менее важную роль в прогнозе IEA.

### ***Сложная структура рисков***

Риски глобального потепления и риски, связанные с ядерной энергией, составляют некую конфликтную область, где необходим более систематический подход для оценки различных типов рисков с целью составления рекомендаций и стратегий.

German Advisory council on Global Change (WBGU) предложил модель, которая позволяет сравнивать и оценивать различные риски. В модели WBGU риски разделены на категории по следующим критериям (WBGU 2000):

- вероятность того, что риск произойдет;
- масштаб ущерба;
- уверенность в оценке вероятности и размере ущерба;

- распространение на большой территории (глобальный эффект);
- долгий период борьбы с последствиями;
- необратимость последствий ;
- отсроченный эффект (последствия могут проявиться через некоторое время);
- высокое психологическое и политическое влияние.

На основе этих критериев риски могут быть отнесены к различным зонам. Риски «нормальной зоны» характеризуются следующими определениями (WBGU 2000):

- небольшая неопределенность при оценке вероятности распространения ущерба;
- небольшой общий потенциал катастрофы;
- низкий или средний уровень неопределенности при оценке вероятности появления и величины ущерба;
- статистическая надежность периодов появления и величины ущерба;
- низкий глобальный эффект;
- высокий уровень обратимости последствий;
- низкий потенциал социальных конфликтов и мобилизации.

Более сложная ситуация складывается с критической зоной, которая состоит из «переходной зоны» и «запрещённой зоны». Риски для «критической зоны» имеют одну из следующих характеристик (WBGU 2000):

- высокая неопределенность всех рисковых параметров;
- большой размер ущерба;
- высокая вероятность того, что инцидент произойдет (вероятность почти равна единице);
- большая неопределенность в оценке, но наличие существенных оснований в отношении большого ущерба;
- высокий уровень постоянства, распространения, необратимости и наличие приемлемых оснований предполагать ущерб;
- наличие большого потенциала для мобилизации (протесты, сопротивление) или другие социальные и психологические факторы.

Отличие между «переходной зоной» и «запрещённой зоной» основано на возможности снижения риска или нахождения консенсуса вследствие чего положительные факторы могут превысить ущерб (WBGU 2000):

- Если существуют меры по снижению риска и их применение гарантирует переход в «нормальную зону», то риск следует отнести к «переходной зоне»;
- Если размер ущерба слишком велик и не существует мер для значительного ограничения масштаба ущерба или невозможно найти консенсус в обществе для принятия этих рисков, то считается, что риск принадлежит к «запрещённой зо-

не».

На этом фоне ключевыми вопросами по поводу разнесения рисков по категориям являются:

- Действительно ли существуют или находятся в разработке меры, которые с большой вероятностью в обозримом будущем смогут уменьшить масштаб ущерба до размеров, которые относятся к «нормальной зоне»? Если нет, то необходимо заменить соответствующую технологию и т.д.;
- Существует ли консенсус в обществе или можно ли найти такой консенсус, при котором риски огромных потерь могут быть приняты вследствие появления иных (благоприятных) возможностей для общества? Если нет, то необходимо заменить соответствующую технологию и т.д. Этот вопрос является особенно проблематичным, если событие может получить большое международное внимание и повлияет на следующие поколения, и не существует мер для достижения консенсуса в обществе по данному вопросу.

В дополнение к критериям для разнесения рисков по категориям, WBGU ввело несколько рисковых классов, отражающих масштаб рисков для окружающей среды и др. Таблица 4 даёт общее представление относительно рисковых классов «Дамокл», «Пифия», «Пандора», «Кассандра» и «Медуза».

**Таблица 5** Общее представление о рискованных классах: характеристика и действительные примеры

<b>Risk class</b>	<b>Characterization</b>	<b>Examples</b>
Damocles	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Probability of occurrence is low</li> <li>▪ Certainty of assessment of probability is high</li> <li>▪ Extent of damage is high</li> <li>▪ Certainty of assessment of extent of damage is high</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nuclear energy</li> <li>▪ Large-scale chemical facilities</li> <li>▪ Dams</li> <li>▪ Meteorite impacts</li> </ul>
Cyclops	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Probability of occurrence is unknown</li> <li>▪ Reliability of estimation of probability is unknown</li> <li>▪ Extent of damages is high</li> <li>▪ Certainty of assessment of extent of damages tends to be high</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Floods</li> <li>▪ Earthquakes</li> <li>▪ Volcanic eruptions</li> <li>▪ AIDS infection</li> <li>▪ Mass development of anthropogenically influenced species</li> <li>▪ Nuclear early warning systems and NBC-weapons systems</li> <li>▪ Collapse of thermohaline circulation</li> </ul>
Pythia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Probability of occurrence is unknown</li> <li>▪ Certainty of assessment of probability is unknown</li> <li>▪ Extent of damage is unknown (potentially high)</li> <li>▪ Certainty of assessment of extend of damages is unknown</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Self-reinforcing global warming</li> <li>▪ Release and putting into circulation of</li> <li>▪ BSE/nv-CJD infection</li> <li>▪ Certain genetic engineering applications</li> <li>▪ Instability of the West Antarctic ice sheets</li> </ul>
Pandora	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Probability of occurrence is unknown</li> <li>▪ Certainty of assessment of probability is unknown</li> <li>▪ Extent of damage is unknown (only assumptions)</li> <li>▪ Certainty of assessment of extend of damages is unknown</li> <li>▪ Persistence is high (several generations)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Persistent organic pollutants (POPs)</li> <li>▪ Endocrine disruptors</li> </ul>
Cassandra	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Probability of occurrence tends to be high</li> <li>▪ Certainty of assessment of probability tends to be low</li> <li>▪ Extent of damage to be high</li> <li>▪ Certainty of assessment of extent of damages tends to be high</li> <li>▪ Long delay of consequences</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gradual human-induced climate change</li> <li>▪ Destabilization of terrestrial ecosystems</li> </ul>
Medusa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Probability of occurrence tends to be low</li> <li>▪ Certainty of assessment of probability tends to be low</li> <li>▪ Extent of damage to be low (exposure high)</li> <li>▪ Certainty of assessment of extent of damages tends to be high</li> <li>▪ Mobilization potential is high</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Electromagnetic fields</li> </ul>

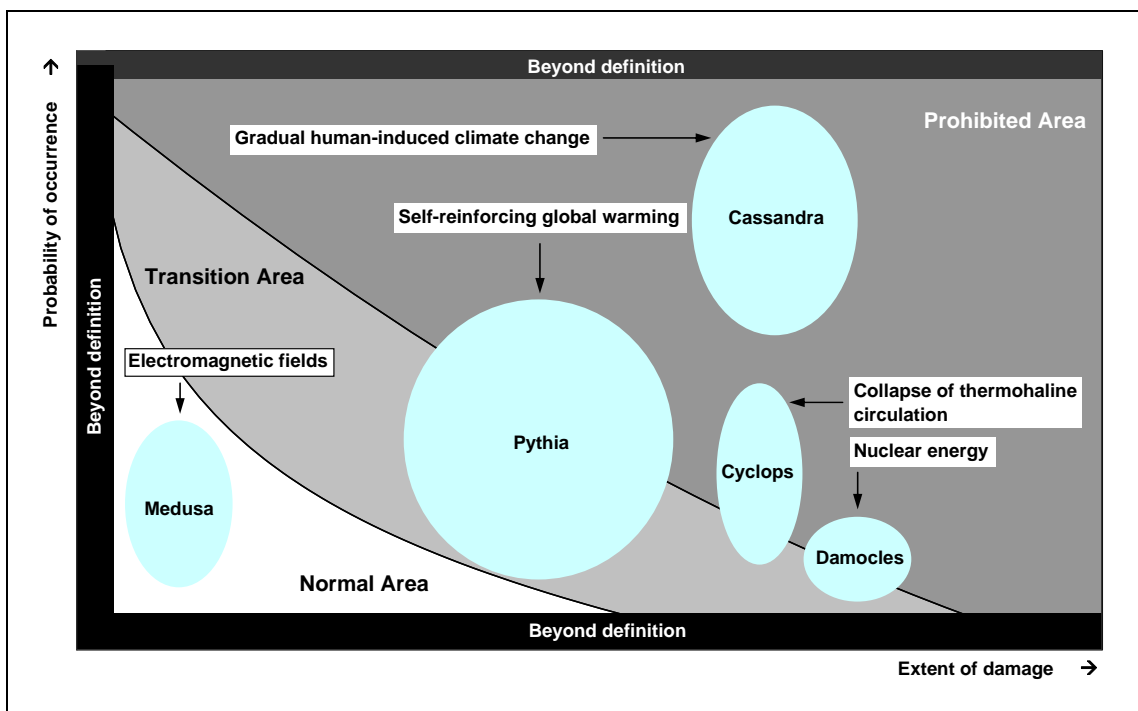
Источник: WBGU (2000)



Для дискуссий на тему ядерной энергетики и климата рискованные классы «Кассандра» и «Дамокл» имеют особое значение. С точки зрения динамики риска, WBGU призывает принять меры предосторожности в рамках климатической политики, а также приложить значительные усилия для ограничения риска типа «Кассандра» (риск глобального потепления) (см. рисунок 4) в рамках концепции «допустимые окна» («tolerable windows»).

- Увеличение средней глобальной температуры должно быть ограничено пределами в 2 градуса по сравнению с доиндустриальным уровнем;
- Изменение температуры не должно превышать 0,2 градуса за десять лет.

**Рисунок 5 Классовые риски и их местонахождение в нормальной, переходной и запрещенной зонах**



Источник: WBGU (2000).

Относительно ядерных рисков класса «Дамокл» WBGU заявляет: «Даже если максимальные усилия не могут уменьшить катастрофический потенциал надлежащим образом или же способны сделать это только в условиях чрезмерных затрат, тогда... такой источник риска можно принять при двух условиях: во-первых, если полезность от этого источника риска очень важна, и, во-вторых, если можно гарантировать, что катастрофа не произойдет в скором времени, а если и произойдет позже, то размер ущерба можно будет снизить. Это второе условие имеет особое значение, если источник рисков переместится путем передачи технологии в другую страну».

В связи с подобной оценкой ситуация относительно ядерной энергетики является сложной:

- Первоочередной задачей является поиск и определение технологических, общественных и организационных средств для перевода риска из класса «Дамокл»

в класс «Медуза», т.е. ограничение объёма ущерба и поддержание низкой вероятности происшествия. Эти средства необходимо оценить с учетом существующего уровня использования ядерной энергии, а также с учетом использования ядерной энергии в значительно больших объемах в различных регионах мира;

- Во-вторых, сможет ли атомная энергия стать важным инструментом для предотвращения риска глобального потепления, т.е. риска типа «Кассандра», который совершенно определённо является частью «запрещённой зоны».

В условиях существующих реакторных технологий масштаб ущерба (это касается крупных аварий, террористических атак, управления и ликвидации радиоактивных отходов и т.д.) определено не может быть ограничен в пределах «нормальной зоны». Более того, остаётся высокая степень неопределенности относительно новых поколений реакторов, их соответствия требованиям, перечисленным выше. Кроме того, существует взаимосвязь между ядерными рисками и социальной и политической стабильностью.

На этом фоне первоочередным вопросом, влияющим на будущее ядерной энергетики, является существование альтернативных вариантов для обеспечения необходимого количества энергетических услуг в глобальном масштабе в рамках строгих ограничений объемов выбросов парниковых газов. И второе, каким образом возможно ограничить риск изменения климата в приемлемых пределах без использования ядерной энергии, а также возможно ли это проделать с учетом приемлемых последствий (расходы, общественное восприятие, и другие риски).

## ***Варианты минимизации отрицательных последствий***

### ***Предварительные замечания***

Огромное количество научных исследований на предмет стратегий по снижению объемов выбросов в целях стабилизировать концентрацию парниковых газов в атмосфере показывает, что не существует единого инструмента, при помощи которого можно было бы достичь необходимого снижения выбросов. Однако результат различных вариантов будет сильно зависеть от уровня стабилизации концентрации. Если целью является незначительное снижение выбросов, тогда возможны различные варианты в отношении технологических решений. При таком сценарии гораздо легче будет отказаться от использования атомной энергии для целей, о которых говорилось выше.

Во многих методологических подходах изучалась возможность применения разных технологий в стратегии уменьшения парниковых газов.

В анализе, представленном здесь, дается ссылка на эти исследования с использованием простого подхода. Если предположить, что в условиях обычного производства (BAU) глобальные выбросы CO<sub>2</sub> от сгорания топлива возрастут к

2050 году примерно на 40-50 млрд. тонн и необходимое снижение выбросов CO<sub>2</sub> находится в пределах от 30 до 60% от уровня 1990 г., то в 2050 г. нужно будет снизить выбросы на 25-40 млрд. тонн CO<sub>2</sub>. В упрощенной модели предполагается наличие линейной зависимости и не принимаются в расчет различные варианты тенденций возрастания и уменьшения, которые могут характеризоваться различными отклонениями в снижении выбросов. Этот упрощенный метод используется, чтобы показать потенциальные возможности и возможное взаимодействие между различными стратегиями.

### *Атомная энергия*

В 2004 году во всем мире функционировало 442 реактора с общей производственной мощностью в 368,6 GW. Большинство из этих установок представляют собой различные модели легководных реакторов. В 2003 г. 15,7% электроэнергии в мире было произведено на атомных установках. Доля ядерной энергии значительно отличается в странах-членах OECD и в странах, которые не входят в состав этой организации. В 2003 г. в странах-членах OECD примерно 2223 ТВт/ч электроэнергии было произведено на атомных установках, что соответствует 22,3 %. Производство ядерной электроэнергии в странах, которые не входят в OECD, в 2003 г. составляло 412 ТВт/ч (6%).

Прогноз для стран Организации стран экономического сотрудничества и развития показывает лишь незначительный рост ядерной энергетики к 2030 г. Увеличение общей мощности с 359 ГВт в 2002 до 376 ГВт в 2030 г. равносильно среднегодовому приросту в 600 МВт. Другими словами, каждые два года необходимо строить новую АЭС мощностью 1200 МВт. Однако если учитывать возраст существующих на данный момент АЭС, то нужно вводить в строй ежегодно 4-5 ГВт новых атомных мощностей (приблизительно 3-4 крупные АЭС).

В ряде исследований проводился анализ возможного вклада ядерной энергетики в достижение задач по снижению объемов выбросов – вот данные некоторых исследований:

- Необходимо в период с 2000 по 2075 гг. добиться 10-кратного роста мощностей – это означает, что к 2050 году общая мощность АЭС должна достигнуть 2050 ГВт с объемом производства 17283 ТВт/ч (van der Zwaan 2002). Это примерно в шесть раз больше, если сравнивать с сегодняшним уровнем. В среднем 35 ГВт необходимо будет добавлять каждый год до 2050 г. Такое увеличение производства ядерной энергии не только заменит использование угля, но также и значительную часть производства электроэнергии на основе газа. В соответствии с этим экстремальным и очевидно нереальным планом, будет достигнуто снижение CO<sub>2</sub> в размере 9700 т в 2050 г.

- Увеличение установленной мощности на 700 ГВт к середине века, что равно трехкратному увеличению мощности по сравнению с существующим уровнем. (Pacala/Socolow 2004). Рассматривая необходимость замены существующих реакторов, в среднем около 25 ГВт мощностей необходимо ежегодно вводить в

эксплуатацию, чтобы достигнуть общей мощности атомных электростанций в 1060 ГВт в 2050 г. В таком случае общее производство энергии на АЭС составит 8260 ТВт/ч и сократит 7000 млн. т. CO<sub>2</sub> в 2050 г, при условии замены установок, работающих на угле. Если же и угольные, и газовые установки будут заменены атомными реакторами, то вклад в снижение выбросов достигнет 5000 млн. т. CO<sub>2</sub> в 2050 г.

Основываясь на историческом опыте развития ядерной энергетики, оба плана кажутся маловероятными. Однако в этих двух сценариях отражены основные риски и беспокойства относительно ядерной энергетики. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что в подобных планах делается предположение, что доля атомной энергии в общем энергобалансе должна значительно вырасти в тех странах и регионах, где сегодня этой доли нет вообще или она составляет крайне малую часть общего баланса. Трехкратное или шестикратное увеличение производства ядерной энергии в Северной Америке, Европе или Японии не будет сильно заметно, учитывая значительную долю ядерной энергетики в общем объеме производимой в этих странах электроэнергии.

Основным риском от атомных реакторов является крупный инцидент со значительными радиоактивными выбросами. Подобные радиоактивные выбросы сильно навредят здоровью, экосистеме, а также социальной и экономической системой (UNDP\UNICEF 2002). Большинство существующих АЭС, а в течение трех десятилетий и большая часть новых атомных энергоблоков будут представлять собой легководные реакторы, которые постепенно усовершенствуются. У всех этих реакторов есть существенные недостатки в области безопасности. (Frogatt 2005)

Даже если вероятность катастрофического инцидента достаточно мала<sup>7</sup>, увеличение производства атомной энергии в три или шесть раз в течение ближайших 50 лет приведет к огромному риску возникновения одной или нескольких катастроф. Моделирование экономических последствий крупной катастрофы на немецкой ядерной электростанции показало, что общие затраты в подобном случае могут составлять от 2000 до 5000 млрд. долларов (Ewers\Renning 1991, 1994).

Помимо легководных реакторов, несколько реакторных концепций находится на разных стадиях развития и реализации. Для всех этих «эволюционных концепций» (так называемые реакторы третьего поколения) существуют характерные риски, ведущие к различным сценариям катастроф с крупным выбросом радиоактивных материалов. В некоторых странах началось развитие «революционных реакторных концепций» (так называемые реакторы четвертого поколения), которые будут гораздо безопаснее, надежнее и экономичнее реакторов третьего поколения и в то же время будут менее подвержены рискам распространения. (NERAC 2002) Пристальное изучение технических концепций показывает, что большое количество проблем в области безопасности до сих пор остается нерешенным, а эмпирические доказательства свидетельствуют о том, что решение

---

<sup>7</sup> Sailor et al. (2000) указывает на риск происхождения аварии с выбросом огромного количества радиоактивности объемом примерно от 10<sup>-5</sup> до 10<sup>-6</sup> на каждый год работы реактора. Однако данные оценки не учитывают возможность террористических атак.

некоторых существующих проблем безопасности, неизбежно приведет к появлению новых проблем в этой области (Frogatt 2005). И последнее, но не менее важное: открытым остаётся вопрос, каким образом эти реакторные концепции позволят уравновесить достижения в сфере безопасности и необходимость снижения объема инвестиций (т.е. стоимости реактора) и эксплуатационных расходов. Также необходимо отметить, что на развитие нового поколения реакторов требуются огромные средства, а результат не может быть гарантирован. Реакторы четвертого поколения станут доступными, если вообще станут, самое раннее лет через 20-30. Вопрос, будет ли (и каким образом) дизайн новых реакторов адекватно отвечать угрозам террористических атак, включая крушение самолета, до сих пор не решен. Эти проблемы могут усугубиться вследствие распространения ядерных технологий в таких странах и регионах, где риск военных конфликтов гораздо выше, нежели там, где сейчас располагается большинство атомных энергоблоков.

Доступность ядерного топлива будет главным условием значительного вклада ядерной энергетики в уменьшение выбросов к 2050 году. На сегодняшний день ежегодный спрос на ядерное топливо составляет 70 000 тонн урана. Трёх- или шестикратное увеличение установленной мощности АЭС за относительно короткий период времени вызовет резкое увеличение потребления уранового топлива, даже при условии значительного увеличения эффективности его использования. Через несколько десятилетий останется рассчитывать лишь на неизвестные (неразведанные) запасы ресурсов (см. Kreuzsch et al 2005). Добычу урана придётся значительно расширить, на что потребуется много времени, учитывая опыт прошлых лет<sup>8</sup>. Более того, потребуются новые мощности по обогащению. В работе Ловинса (Lovins 2005) говорится, что необходимо построить 15 новых обогатительных заводов, чтобы обеспечить топливом новые АЭС, мощностью 700 ГВт.

Ротвелл и Ван дер Цван (Rothwell/van der Zwaan 2003) считают, что легководные реакторы являются неустойчивыми из-за истощения запасов урана - невозобновляемого ресурса. Более того, прогнозы для реакторов четвертого поколения четко обозначают проблему ограниченности топливных ресурсов для легководных реакторных систем (NERAC 2002). Если доступность ядерного топлива для легководных реакторов останется проблемой, то в будущем однократный топливный цикл создаст серьезный барьер на пути развития индустрии. В настоящее время однократные топливные циклы являются предпочтительным вариантом в силу меньших затрат и исключения рисков, связанных с переработкой отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). И хотя общее представление о реакторах четвертого поколения до сих пор остается теоретическим по многим аспектам, включая замыкание ядерно-топливного цикла, на повестке дня вновь стоит задача широкого внедрения бридерных реакторов и переработки ОЯТ (NERAC 2002). Если ядерный цикл окажется замкнутым с помощью бридерных реакторов и установок по переработке, значительно возрастет риск катастроф и уязвимость по отношению к террористическим атакам или во время военных конфликтов. Ловинс (2005) утверждает, что для обеспечения топливом АЭС общей мощностью 700 ГВт, потребуется около 50 новых установок по переработке ОЯТ по всему миру.

---

<sup>8</sup> Price et al. (2004) приводит обзор горнопромышленных проектов, в которых между началом проведения разработок и началом производства проходит 20-30 лет и от открытия месторождения до начала производства - от 10 до 20 лет.

После окончания Холодной войны все большее значение приобретает угроза распространения. Существующие на сегодняшний день проблемы нераспространения (Иран и Северная Корея) указывают на то, что с расширением применения ядерной энергии (даже в региональных условиях) появятся дополнительные риски (Nassauer 2005). Энергосистема на основе легководных реакторов мощностью 1000 ГВт будет ежегодно производить примерно 290 тонн плутония. В случае увеличения ядерной мощности до 2000 ГВт к 2050 г., ежегодное производство плутония достигнет 560 тонн. Нарботка такого количества расщепляющегося ядерного материала породит серьезные риски в плане нераспространения, в связи с чем потребуются создание международных защитных режимов совершенно нового качества. Если бы произошла замена однократного топливного цикла на закрытый с переработкой и выделением плутония, серьезные угрозы международной безопасности возникли бы как в связи с большим количеством плутония, находящимся в обращении, так и в связи с увеличением количества регионов, где плутоний хранится в больших количествах. Более того, было бы неправильным полагать, что риск распространения может стать нулевым или незначительным в случае с реакторами четвертого поколения.

Несмотря на то, что проведены многочисленные исследования в области создания репозитория для окончательного захоронения радиоактивных отходов (РАО), ни в одной стране пока не найдено окончательное решение по этому вопросу. Потребуется еще немало времени и ресурсов для завершения исследований по захоронению РАО, а также для того, чтобы общественность одобрила планы по строительству репозитория (Kreusch et al 2005). Если количество ядерных отходов значительно возрастет, будет увеличиваться проблема отсутствия репозитория. Ван дер Цан (2002) прогнозирует, что двукратное увеличение мощностей АЭС вызовет необходимость каждые 25 лет вводить в эксплуатацию новое хранилище размером с Юкка Майнтайн (Yucca Mountain). По данным Ловинса (2005), для обеспечения роста атомных мощностей в мире на 700 ГВт потребуется 14 репозитория типа Юкка Маунтайн.

И последнее, но не менее важное обстоятельство: экономические показатели в области производства атомной энергии окажут решающее влияние на то, как будет развиваться индустрия с учетом климатической стратегии. Без введения стоимости CO<sub>2</sub> (в виде налога или же в рамках торговли квотами на выбросы) вероятность того, что атомная энергия сможет конкурировать в рыночных условиях весьма мала (Thomas 2005). Однако постепенное введение рыночных инструментов в климатическую стратегию (т.е. введенная в Евросоюзе схема продажи квот) может изменить эту ситуацию. Уровень стоимости CO<sub>2</sub>, который может улучшить экономические показатели новых АЭС, до сих пор не определен. Сэйлор (Sailor et al 2000) приводит стоимость CO<sub>2</sub> в размере 27 US\$ на тонну, как нижний предел, необходимый для конкурентоспособности АЭС. Другие исследования демонстрируют значительно более высокий порог экономической конкурентоспособности производства ядерной энергии. С другой стороны, необходимо учитывать, что существует много прочих факторов, которые могут исказить экономическую оценку производства ядерной энергии. Отсутствие достаточных средств на вывод из эксплуатации АЭС, налоговые и другие льготы в разных странах искажают действительную стоимость ядерной электроэнергии. Если в будущем атомная энергия будет играть более значитель-

ную роль, то эти скрытые расходы окажутся на поверхности, так как размер затрат для АЭС, которые в конечном итоге должны будут нести этот груз, будет активно расти.

В результате, атомная энергия может внести определенный вклад в снижение объема выбросов на глобальном уровне. С одной стороны, это не заменит применения прочих технологий, но с другой стороны может оказать значительное влияние. Для осуществления этого вклада использование атомной энергии должно быть существенно увеличено в объемах, что приведет к серьезным последствиям. Их необходимо оценить с тем, чтобы можно было провести сравнение с другими вариантами уменьшения выбросов. Крупномасштабное увеличение использования ядерной энергии:

- значительно увеличит риски для здоровья, экосистемы, социального и экономического благополучия из-за вероятности крупных аварий (включая возможность террористических атак);
- в новых масштабах создаст проблему накопления ядерных отходов и ядерного распространения;
- потребует заменить открытый топливный цикл на более или менее закрытый с масштабной переработкой и бридерами, что приведет к излишней уязвимости и дополнительным рискам ;
- потребует масштабного развития всех элементов топливного цикла, включая добычу и обогащение урана, переработку ОЯТ, что связано с длительными подготовительными работами;
- потребует стабильной энергосистемы и другой развитой инфраструктуры;
- будет более привлекательным, если установить цену на выбросы CO<sub>2</sub> , но с другой стороны вытасчит на поверхность различные искажения и несоответствия, которые будут сильно влиять на экономические показатели производства ядерной энергии.

Эти риски и проблемы являются предметом различных политических и научных дебатов. В отношении некоторых рисков существуют различные технологические предложения, как ограничить или вовсе исключить проблему и ее последствия (см. Sailor et al 2000, van der Zwaan 2002). Однако достаточно спорным является вопрос, реальны ли подобные предложения в определенных временных рамках.

В следующих разделах будут проанализированы другие варианты, использование которых может внести вклад в сокращение выбросов, а также потенциал прочих стратегий, их ограничения, временные рамки и политические инструменты, а также будут сравниваться затраты на стратегии с использованием и без использования атомной энергии.

Если серьезно подойти к проблеме оценки рисков и проблем ядерной энергетики, которые были упомянуты ранее, важнейший вопрос будет заключаться в следующем: будут ли достигнут необходимый уровень выбросов за счет использования альтернативных вариантов. Другими словами:

- возможно ли достичь уменьшения выбросов без использования ядерной энергии в рамках потенциала и затрат,

- может ли использование одного или всех альтернативных вариантов затруднить в конечном итоге осуществление стратегии снижения выбросов,

- может ли стратегия, в которой значительный вклад дает атомная энергетика, иметь эффект обратный, нежели снижение объемов выбросов, из-за того, что не получится развить другие альтернативные варианты.

Главным критерием оценки ядерной энергетике с точки зрения борьбы с изменением климата является потенциал этой технологии и последствия ее применения.

### *Эффективное потребление энергии*

Международное энергетическое агентство (IEA 2004) предрекает рост эффективности использования энергии на 1,3-1,6 % в течение следующих трех десятилетий. Другими словами, к 2030 году энергия будет использоваться на треть эффективнее. Однако для обеспечения экономического роста этого будет недостаточно. В период с 2002 по 2030 гг., IEA оценивает фактор мирового экономического прироста примерно в 2,4 (предполагаемый прирост населения в течение этого периода - приблизительно 30 %), что означает увеличение потребления энергии на 60%. Если нынешние тенденции останутся в силе, потребление энергии окажется к 2050 г. на уровне 21 миллиона тонн нефтяного эквивалента и ежегодное выделение CO<sub>2</sub> от сгорания топлива на уровне 48 млрд. тонн CO<sub>2</sub>.

При существующем положении дел технологии энергоэффективности не будут применяться на глобальном уровне, хотя многие из них будут рентабельны. Йохем (Jochem 2000) предполагает огромный потенциал энергоэффективности (от 5 до 80 %) во всех частях мира. Межправительственная комиссия по изменению климата (IPCC 2001) уделила этому особое внимание в своих исследованиях. По мнению Комиссии основной потенциал заключается в следующих областях:

1. энергоэффективность зданий (включая электроприборы): сокращение выбросов на 1000-1100 млн. тонн по углероду (от 3667 до 4033 млн. тонн по CO<sub>2</sub>) к 2020 г.; Пакала/Соколов (2004) упоминают то же самое количество, но в период к 2050 г.;
2. промышленность, включая повышение эффективности, связанное с характеристиками материалов: сокращение на 1300-1500 млн. тонн по углероду (от 4767 до 5500 млн. тонн CO<sub>2</sub>) ежегодно к 2020 г.;
3. потребление энергии транспортом существенно из-за быстрорастущего распространения этого сектора; здесь потенциал оценивается в 300-700 млн. тонн по углероду (от 1100 до 2567 млн тонн CO<sub>2</sub>) в 2020 г.; Пакала/Соколов (2004) говорят о 2000 млн. тонн по углероду (7333 млн тонн CO<sub>2</sub>) в 2050 г.



Всесторонние меры по энергоэффективности могут привести к сокращению до 16 млрд. тонн CO<sub>2</sub> к 2050 г. Это составляет от 40 до 60% объёма, который необходимо сократить, что стабилизировать концентрацию CO<sub>2</sub> в диапазоне между 400 и 450 ppm.

Одно из главных преимуществ стратегии, сосредоточенной на энергоэффективности - множество вариантов являются рентабельными со всех точек зрения, а сокращение выбросов будет стоить немного или вообще не принесет дополнительных затрат. Однако, основная проблема стратегии энергоэффективности состоит, с одной стороны, в разнообразных препятствиях и структурных барьерах (в диапазоне от нехватки информации и мотивации до дилеммы «пользователь-инвестор»), а с другой стороны, в составе действующих лиц, их мотивации и возможностей.

Существенные усовершенствования в области энергоэффективности могут быть достигнуты на технологическом уровне. Кроме того, ресурс этого развития в течение долгого времени будет оставаться большим. Ключевая проблема политики энергоэффективности – это потребность постоянно следить за её выполнением и стимулировать её. В технологической области пошаговый процесс реализации и как можно более раннее начало этого процесса имеют крайне важное значение, даже более важное, чем технологические прорывы. Для областей деятельности, в которых инвестиции имеют долгий срок окупаемости, более раннее введение в действие мер энергоэффективности особенно важно.

### *Энергоэффективность в энергетической промышленности*

Технологические разработки особенно в энергетической промышленности в течение последних лет шли ускоренными темпами. Для наступающих десятилетий, возможен дополнительный прирост производительности за счет новых научных открытий в области эффективности. По сравнению с сегодняшней эффективностью угольных станций на уровне 30-35%, в ближайшем будущем (ЕК 2002) этот показатель может увеличиться до 50%, а в случае с газовыми электростанциями - до 65%. В более длительной перспективе КПД газовой турбины может достигнуть 70%, а для паровых турбин - 55% в течение следующих 20 лет.

Качественное улучшение может быть достигнуто за счет станций, вырабатывающих тепло и электроэнергию одновременно. Использование выделенного тепла от производства электричества для нагревания, производственных процессов или даже для охлаждения могли бы поднять эффективность таких станций до 90%. Эти станции могут существовать как в виде крупных установок мощностью по несколько сот МВт для снабжения предприятий и теплоцентралей, так и в виде небольших с мощностью в несколько КВт (Pehnt и др. 2005).

Даже не смотря на то, что усовершенствование этой технологии учтено во многих существующих проектах, потенциал комбинированного производства тепла и электроэнергии далек от исчерпания. Даже простые подсчеты показывают большой потенциал этой технологии для снижения выбросов CO<sub>2</sub>.

Если повысить эффективность комбинированного производства тепла и электроэнергии на 20% и достигнуть к 2050 году уровня производительности в 30 000 ТВт/ч, это привело бы к ежегодному сокращению выбросов CO<sub>2</sub> на 2000 млн. тонн без учета дополнительных эффектов от перехода на другое топливо.

### ***Изменение вида топлива в энергетической области***

В стратегии IEA (2004) производство энергии за счет ископаемого топлива к 2030 году будет преобладать над другими источниками. В течение периода с 2002 до 2030 гг., установленная мощность угольных электростанций вырастет с 1135 ГВт до 2156 ГВт, а газовых - с 893 до 2564 ГВт. В течение всего периода это равносильно ежегодному росту в среднем на 36 ГВт для каменного угля и на 60 ГВт для природного газа. Если мы предполагаем также, что в течение следующих трех десятилетий приблизительно половина существующих мощностей должна быть заменена новыми заводами, тогда ежегодно надо вводить в строй угольные станции общей мощностью 57 ГВт, а также газовые станции общей мощностью 76 ГВт. Если мы берем более длинный отрезок времени (2050 г.), то нужно ввести в строй угольных мощностей - 2700 ГВт, а газовых - 3600 ГВт. Строительство одной угольной станции мощностью 1 ГВт равносильно сокращению выбросов на 4,7 млн тонн CO<sub>2</sub> (средняя эффективность новых заводов 40% и фактор нагрузки 0,63) в течение всего времени работы - около 40 лет или больше. Подобная оценка для газовых станций составляет 1,3 млн тонн CO<sub>2</sub> на ГВт (принимая среднюю эффективность 55% и фактор нагрузки 0,4).

Из-за менее углеродистого топлива и значительно более высокой эффективности газовых электростанций, выработка электричества на новых газовых установках приводит к уменьшению выбросов CO<sub>2</sub> на 57% по сравнению с новой угольной станцией. Учитывая это, переход с угля на газ представляет большой потенциал с точки зрения сокращения выбросов.

Пакала/Соколов (2004) предполагают, что переход с угля на газ станций с общей мощностью 28 ГВт приведет к дополнительному существенному сокращению выбросов. Если бы в 2000 году 50% инвестиций в угольную энергетику были бы перенаправлены в газовую, то в 2050 году вместо 6300 млн. тонн CO<sub>2</sub> в атмосферу было бы выброшено 2700 млн. тонн CO<sub>2</sub>. Если бы все новые вложения в угольные станции были перенаправлены на строительство газовых, выбросов было бы вдвое меньше: 12700 млн. тонн CO<sub>2</sub> «угольных» против 5500 млн. тонн «газовых». Если бы мы вложили 50 % новых инвестиций в угольные станции, к 2050 году можно было бы достичь ежегодного уровня сокращения выбросов в размере 3600 млн. тонн CO<sub>2</sub>.

Конечно, дополнительные инвестиции в газовые электростанции будут требовать дополнительных поставок природного газа. Приблизительная оценка, упомянутая выше, включает в себя дополнительные поставки газа в размере 29 экзаджоулей (EJ) к 2030 г. и 49 EJ к 2050 г. Газовые потребности согласно плану IEA (2004) составляют 176 EJ к 2030 г. Другими словами, потребность в природном газе увеличилась бы примерно до 16% по сравнению с сегодняшней ситуацией. Дополнительная потребность в газе до 2050 г. должна оставаться примерно в этих же рамках. В структуре стратегии производства энергии, это количество природного газа нужно компенсировать за счет повышения эффективности в других областях (строительство) или в энергетической промышленности непосредственно. Ключевая технология, используемая для компенсации повышения спроса на газ комбинированное производство тепла и энергии (CHP) или тепла, энергии и охлаждения (CHPC). Если бы одна четверть новых газовых электростанций была бы основанной на таких технологиях, дополнительные потребности в газе удалось бы уменьшить примерно до 7%.

## ***Возобновляемая энергетика***

Возобновляемые источники энергии по своему потенциалу превышают как нынешний, так и предполагаемый уровень мировых потребностей (Rogner 2000). Существуют разнообразные технологии для использования возобновляемых источников, многие технологии находятся в стадии разработки. Главные факторы, сдерживающие развитие в этом секторе, таковы (Rogner 2000, WBGU 2004):

- в настоящее время существует немного конкурентоспособных технологий использования возобновляемых источников энергии, особенно по сравнению с ископаемыми источниками или атомной энергией, при учете существующей экономической структуры;
- использование возобновляемой энергии имеет несколько ограничений, таких как конфликты, связанные с использованием земли, природными условиями, а также с экологическим или социальным влиянием;
- глобальное распределение ресурсов не одинаково; потенциал возобновляемой энергетики намного меньше в Европе (не включая бывший Советский Союз) и Азии, чем в Америке или в других областях, богатых солнечными ресурсами.

Возобновляемая энергетика уже обеспечивает существенную долю мировых потребностей. Однако, в настоящее время существует много споров на эту тему, потому что основная часть возобновляемой энергетики, распространенная в мире основана на использовании биомассы и не является самостоятельной промышленной отраслью во многих странах мира. Кроме того, использование «традиционной биомассы» (дерево) не может считаться частью «устойчивой энергетики», так как связано с вырубкой леса и опустыниванием. ИЕА в 2002 году оценило долю биомассы в обеспечении энергетических потребностей в 10%. По данным того же источника, приблизительно 70% глобального использования биомассы – «традиционное», т.е. не может считаться «устойчивым». В целом использование «современной биомассы» таким образом, чтобы это могло считаться «устойчивой энергетикой» может быть увеличено в 6 раз на современном технологическом уровне (Rogner 2000, WBGU 2004).

ГЭС - второй источник возобновляемой энергии, который обеспечивает существенную часть мировых потребностей в энергии. ГЭС вырабатывают около 16% потребляемой в мире энергии и обеспечивают приблизительно 6% мировых поставок. Хотя существует технический потенциал для расширения использования гидроэнергетики (2000), он наименее велик среди всех возобновляемых источников.

В дополнение к этим источникам существует несколько других, роль которых в следующих десятилетиях может серьезно возрасти.

Прежде всего, ветроэнергетика в последние годы показывает существенные темпы роста. В период с 1990 до 2002 производство энергии от ветра увеличилось на 30 % ежегодно и в странах ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития) и в странах, не относящихся к данной группе (Turkenburg 2000, ИЕА 2005). Рогнер (2000) указывает на огромный потенциал ветроэнергетики (640 EJ), которые приблизительно в сто раз больше по сравнению с текущим уровнем использования.

Солнечная энергетика находится в очень ранней стадии развития. Хотя рост выработки энергии с использованием солнечных лучей возрос примерно на 30% ежегодно в течение последних лет (Turkenburg 2000, IEA 2005), вклад этого источника в мировое производство энергии является все еще очень небольшим. В будущем, как предполагается, он будет активно расти. Однако огромный потенциал для производства энергии за счет солнца и быстрое технологическое развитие могут привести к тому, что доля солнечной энергетика очень сильно вырастет (van der Zwaan/Rabl 2004).

Самый большой технологический потенциал в области возобновляемой энергетики связан с геотермальными источниками, которые активно используются в нескольких регионах мира. Рогнер (2000) указывает на потенциал в 500 EJ, которого можно достичь в рамках сегодняшних экономических условий в течение 10 - 20 лет, а также на потенциал в 5000 EJ, который может быть достигнут в течение 40 - 50 лет.

Последний, но не менее важный, нежели остальные, источник - океанская энергия (прилив-отлив, волна, тепло, соль) может внести огромный вклад в мировые поставки энергии на долгий срок. Рогнер (2000) оценивает технический потенциал в 7400 для различных вариантов использования океанской энергии.

**Таблица 6 Настоящие и будущие затраты на производство энергии с использованием возобновляемых источников энергии**

	UNDP (2000)		ICCEPT (2002)		Enquete-Kommission (2002)			
	actual	future	actual	beyond 2020	actual	2010	2020	2050
	¢/kWh				ct/kWh			
Hydro	2...10	2...10	2...10	2...10	5.5...15	-	-	-
Wind power onshore	5...13	3...10	3...5	2...3	4.5...9	3...6	3...6	3...5
Wind power offshore			6...10	2...5	6.3...10	4...6	3...5.5	3...4.5
Photovoltaics	25...125	5...25	50...80 <sup>a</sup> 30...50 <sup>b</sup> 20...40 <sup>c</sup>	~ 8 <sup>a</sup> ~ 5 <sup>b</sup> ~ 4 <sup>c</sup>	50...100	29...58	12.5...25	9...18
Solar thermal power plants <sup>d</sup>	12...18	4...10	12...18	4...10	8...16		5...6	~ 4
Biomass	5...15	4...10	5...15	4...10	3.5...30	-	-	-
Geothermal	2...10	1...8	2...10	1...8	-	-	-	-
Marine	8...20	5...15						

Notes: <sup>a</sup> at 1,000 kWh/m<sup>2</sup> (Central Europe). - <sup>b</sup> at 1,500 kWh/m<sup>2</sup> (Southern Europe). - <sup>c</sup> at 2,500 kWh/m<sup>2</sup> (Southern Regions). - <sup>d</sup> at locations with 2,500 kWh/m<sup>2</sup>

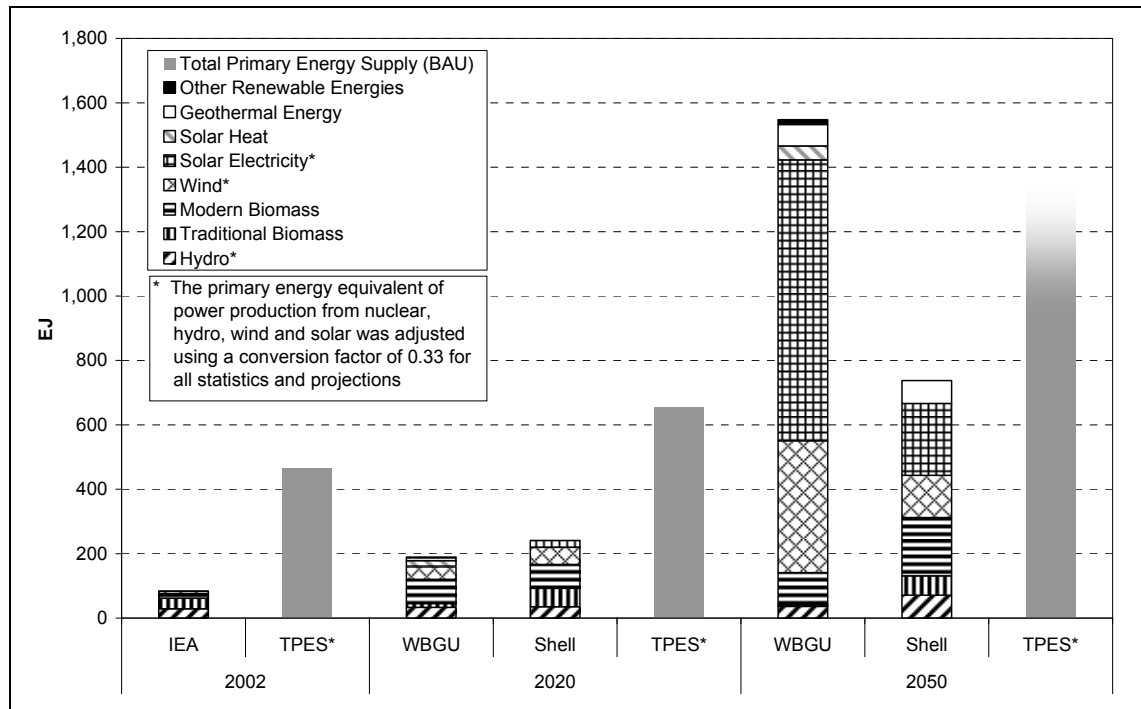
Источники: Turkenburg (2000), ICCEPT (2002), EK (2002).

Однако, хотя технический потенциал использования возобновляемой энергетики огромен, ключевой барьер для их более широкого использования - экономическая конкурентоспособность. Помимо ГЭС и некоторых вариантов использования биомассы, большинство технологий для выработки энергии на основе возобновляемых источников находится в ранней стадии развития. Если бы научные исследования шли быстрее, а развитие рынка возобновляемой энергетики продолжалось, произошло бы существенное сокращение затрат на внедрение новых технологий. Масштабный выход возобновляемой энергетики на рынок мог бы привести к «эффекту изучения», когда последующие рыночные шаги в этой области принесли бы большую пользу и стимулировали дальнейшие технологические разработки (IEA 2000).

Рисунок 6 отражает стоимость основных технологий по производству энергии от возобновляемых источников. Этот краткий обзор подчеркивает, что существ-

венное сокращение стоимости может быть достигнуто в течение следующих двух десятилетий, особенно в ветроэнергетике, использовании биомассы и геотермальных источников. В течение более длительного срока (больше чем два десятилетия) солнечная и океаническая технологии могли также подешеветь.

**Рисунок 6. Предположения относительно доли возобновляемой энергетики по отношению к общемировым поставкам энергии, 2002-2050 гг.**



Источники: WBGU (2004), Shell (2002), IEA (2004).

Рисунок 6 дает краткий обзор двух различных методов проектирования в отношении роста возобновляемой энергетики<sup>9</sup>. Оба плана действий предполагают, что возобновляемая энергетика получит политическую поддержку, как мера по развитию «устойчивой энергетике» в глобальном масштабе. Базируясь на этих расчетах, можно предположить, что доля возобновляемой энергетики в будущем обеспечит от 50% до 100% энергетических потребностей. Однако, сравнение также указывает на разницу в оценках разных исследователей. Шелл (2002) предполагает аналогичный рост для биомассы, ветра и солнечной энергии в рамках существующего положения дел, а WBGU (2004) считает, что рост будет происходить более интенсивно и предполагает технологические прорывы в области солнечной и ветровой энергетике. В обоих проектах геотермальные источники играют значительную роль.

<sup>9</sup> В этой статье данные из различных источников были собраны для общей методологии. Широко используемые статистические данные энергии IEA принимают во внимание содержание энергии электричества (3,6 МДж/кВтч) от ГЭС и солнечной для преобразования в первичную энергию. Для производства ядерной энергии конверсионная эффективность 33% принята IEA. В отличие от этого определения, проекты IPCC (2000) не используют это преобразование для ядерной энергии. Вместо этого они используют содержание энергии электричества. Для этой цели в этой статье электричество, производимое ядерной, энергией воды, ветра и солнечной энергии был преобразован в первичную энергию с конверсионным фактором 33%, чтобы сделать сравнение для вклада окаменелости, ядерное и возобновляемое производство власти к первичной поставке энергии.

В итоге, возобновляемая энергетика может полностью, или в большой степени, покрыть будущие потребности в энергии за счет технологических достижений. Однако, многие технологии находятся в ранней стадии развития. ICSEPT (2002) указывает на следующие технологии:

- существующие технологии для использования биомассы (смешанное сжигание), больших и малых ГЭС, приливно-отливных станций, солнечных панелей (для выработки электроэнергии за пределами энергосетей);
- новые технологии в областях, где уже отмечен прогресс: береговые ветровые электростанции, солнечные панели для зданий, биомасса (более эффективное сжигание);
- новые технологии для использования энергии ветра, дующего в сторону от берега, биомассы (газификация);
- концептуальные технологии для развития в новых областях: солнечные панели с повышенной эффективностью, волновой и приливно-отливной поток, биомасса (гидролиз), геотермальные источники;
- концептуальные технологии: фотосинтетический водород.

Этот длинный список технологий предполагает большую гибкость в реализации различных стратегий развития возобновляемых источников энергии. Основной вклад в это развитие может быть сделан с помощью технологий, связанных с биомассой, ветром и ГЭС к 2020 г. Промежуток времени после 2020 г. станет ключевым в понимании того, смогут ли солнечные технологии продвинуться вперед также, как ветровые, геотермальные и океанские.

Но главное – это необходимость сделать различные технологии более экономичными, чтобы достигнуть дальнейшего технологического развития и создать инфраструктуру. Основные проблемы с точки зрения создания инфраструктуры - неустойчивость выработки солнечной и ветровой энергии. Нерегулярная поставка электричества в энергосистему создает новые требования для этой системы и регулярности выработки с других источников, подсоединенных к ней. В последние годы прогресс достиг (прогнозируемые модели, развитие высоко эффективных и гибких технологий производственной энергии, основанных на газе, и т.д.) того, что интеграция прерывающихся источников в энергосистему рассматривается больше как амбициозная техническая задача, а не как барьер на пути реализации потенциала возобновляемой энергетике. Однако экологические и социальные ограничения также должны быть приняты во внимание. В некоторых областях мира, где есть потенциал возобновляемой энергетике, могут возникнуть негативные экологические и социальные аспекты при реализации этого потенциала.

Вместе с этим технологические усовершенствования в области развития возобновляемых источников спровоцируют огромный рост производства энергии в сравнительно короткий период времени. Если меры по сокращению затрат на реализацию технологий, связанных с солнцем, ветром и биомассой будут успешно выполнены, а инфраструктура доступна, это быстро изменит энергетическую систему. Другими словами, вклад возобновляемой энергетике в глобальное снабжение или будет оставаться на низком уровне или станет доминирующим начиная с середины этого столетия. Середину между этими вариантами трудно представить.

### ***Поглощение и хранение углерода***

Одна из технологий для снижения выбросов парниковых газов в атмосферу – поглощение и хранение углерода (CCS). CCS является набором технологий для сбора CO<sub>2</sub> из различных источников, его транспортировки в хранилище. Этот подход может быть применим как в случае сгорания ископаемого топлива, так и в случае с биомассой. В долгосрочной перспективе CCS может сыграть большую роль в ограничении выбросов.

Хотя некоторые части технологической цепи CCS уже существуют, необходима дальнейшая разработка технических решений. Важно обеспечить полную интеграцию отдельных частей и надежность этой технологии, как в техническом, так и в экономическом плане. Немаловажно добиться общественного одобрения CCS. На данный момент этот подход всесторонне анализируется в рамках различных научных исследований (см. 2005 IPCC, IEA 2004b+2005b).

С экономической точки зрения, поглощение CO<sub>2</sub> – главный аргумент в пользу использования CCS. Главной проблемой остается то, что поглощение CO<sub>2</sub> требует существенного количества энергии, что значительно снижает эффективность электростанций. Поглощение CO<sub>2</sub> может снизить эффективность на 10% и это сведет на нет большую технологическую прогресс, который был достигнут в течение прошлых двух десятилетий. Кроме того, применение этой технологии не гарантирует полного поглощения углекислого газа – улавливается только 80-90% (IPCC 2005). CSS может быть основана на различных технологиях:

- поглощение после сгорания топлива;
- поглощение перед сгоранием топлива;
- поглощение с помощью кислородной технологии (сжигание с чистым кислородом);
- поглощение в течение производственных процессов (например при производстве стали или аммиака).

Варианты поглощения до или после сжигания, а также с применением чистого кислорода должны подвергнуться фундаментальной проработке. Хотя эти технологии запланированы или уже применяются на демонстрационных установках (IGCC – интегрированный газовый комбинированный цикл), пока не существует подтверждений того, что их эффективность находится на приемлемом уровне. Например, технология IGCC уступает паровым турбинам. Некоторые виды угольных электростанции с обычными паровыми турбинами гораздо лучше соответствуют современным экономическим реалиям, чем более инновационная и эффективная технология IGCC.

Транспортировка CO<sub>2</sub> может быть осуществлена с использованием существующих технологий (трубопроводы, перевозка груза морем) и будет более дешевой, если расстояние составляет 200-300 км. Если между источником CO<sub>2</sub> и хранилищем более длинное расстояние – стоимость существенно возрастет.

Для хранения CO<sub>2</sub> существуют три основных варианта. Поглощенный CO<sub>2</sub> может закачиваться в геологические формации или в океан на глубине более 1000 м. Кроме того, его можно минерализовать и хранить в виде минерала. Из трех вариантов только хранение в геологических формациях может быть реализовано на основе имеющихся технологических знаний. Существуют свидетельства того, что закачивание большого количества CO<sub>2</sub> в океанские глубины может по-

вредить локальной экосистеме. Эффекты для экосистем на больших глубинах до сих пор не изучены. Минеральный вариант вызвал бы необходимость больших хранилищ, а также серьезные экологические проблемы. Например, процесс минерализации требует от 1,6 до 3,7 тонн силикатов на 1 тонну  $\text{CO}_2$  и приводит к образованию от 2,6 до 4,7 тонн материала для утилизации. Создание инфраструктуры для сопутствующих процессов (дробление, размалывание, транспортировки) привело бы к росту экономических издержек.

В результате оказывается, что хранение в геологических формациях (исчерпанные месторождения нефти и газа, угольные шахты, солевые месторождения) наиболее осуществимый вариант в рамках CCS в обозримом будущем. IPCC (2005) указывает, что с помощью CCS можно захоронить от 200 до 2000 миллиардов тонн  $\text{CO}_2$  в течение следующего столетия. Нижняя граница достижима на 99% или больше, а высший предел вероятен на 66-90%. Таким образом, CCS может обеспечить существенный вклад в долгосрочное сокращение выбросов. Однако это исчерпаемый ресурс и нужно отдавать себе отчет, что дополнительных хранилищ не будет.

Таблица 7 демонстрирует диапазон стоимости различных компонентов системы CCS. Хранение в геологических формациях поглощенного  $\text{CO}_2$  составляет самую существенную часть затрат. Длинные расстояния для транспортировки  $\text{CO}_2$  увеличат затраты на создание системы CCS, однако если использовать поглощенный  $\text{CO}_2$  для расширенного нефтяного восстановления (EOR) или улучшенного восстановления метана в угольном пласте (ECBM) – экономические показатели CCS существенно улучшатся. Однако, в рамках стратегии по сокращению выбросов повышение экономического эффекта этой технологии ограничено. Стоимость сокращения выбросов с помощью этого подхода составляет от 15 до 90\$ за тонну  $\text{CO}_2$ , что сопоставимо с возобновляемыми источниками энергии.



**Таблица 7. Диапазон цен для компонентов системы CCS крупномасштабных, новых сооружений**

CCS system components		Cost range	Remarks
Capture	Capture from a coal- or gas-fired power plant	15...75 US\$/tCO <sub>2</sub> net captured	Net costs of captured CO <sub>2</sub> compared to the same plant without capture.
	Capture from hydrogen and ammonia production or gas processing	5...55 US\$/tCO <sub>2</sub> net captured	Applies to high-purity sources requiring simple drying and compression.
	Capture from other industrial sources	25...115 US\$/tCO <sub>2</sub> net captured	Range reflects use of a number of different technologies and fuels.
Transport		1...8 US\$/tCO <sub>2</sub> transported	Per 250 km pipeline or shipping for mass flow rates of 5 (high end) to 40 (low end) Mt CO <sub>2</sub> /yr.
Storage	Geological storage <sup>a</sup>	0.5...8 US\$/tCO <sub>2</sub> net injected	Excluding potential revenues from EOR or ECBM.
	Geological storage: monitoring and verification	0.1...0.3 US\$/tCO <sub>2</sub> injected	This covers pre-injection, injection, and post-injection monitoring, and depends on the regulatory requirements
	Ocean storage	5...30 US\$/tCO <sub>2</sub> net injected	Including offshore transportation of 100-500 km, excluding monitoring and verification
	Mineral carbonation	50...100 US\$/tCO <sub>2</sub> net mineralized	Range for the best case studied. Includes additional energy use for carbonation
Note: <sup>a</sup> Over the long term, there may be additional costs for remediation and liabilities.			

Источник: IPCC (2005).

Применение CCS имеет в себе ряд недостатков. Например, потенциальная утечка CO<sub>2</sub> в атмосферу. Такая утечка могла бы внести серьезный вклад в глобальное потепление. Поэтому необходимо гарантировать на технологическом уровне надежное хранение CO<sub>2</sub> на срок 100-1000 лет. Внезапная утечка CO<sub>2</sub> (например из-за отказа оборудования) может подвергнуть опасности человеческую жизнь и здоровье. Также утечки могут затронуть грунтовую воду и экосистемы, вызвать окисление почвы. Многие из этих недостатков могут быть нейтрализованы правильным выбором участка хранения и всесторонним контролем. Упомянутые выше риски нельзя недооценивать, поэтому под рукой всегда должны быть несколько инструментов для быстрого реагирования на опасность.

Необходимо решить многие проблемы прежде, чем CCS будет признан эффективным выбором для сокращения выбросов. Среди них связанные с технологией, экономикой и безопасностью, а также вопросы собственности, правового регулирования, контроля за осуществлением программ. CCS нельзя рассматривать как подходящий выбор до решения всех этих проблем.

Оценки вклада CCS в глобальное сокращение эмиссии углерода отличаются широким диапазоном временных периодов. IPCC (2005) отмечает, что основное использование CCS произойдет во второй половине этого столетия. Напротив, WBGU (2004) предполагает существенный ежегодный вклад CCS в сокращение выбросов (> 15 Гт CO<sub>2</sub>) уже в 2050 г. Пакала/Соколов (2004) предполагают сокращение выбросов на 3,7 Гт CO<sub>2</sub> в расчете на угольную станцию мощностью 800 МВт и газовую станцию мощностью 1600 МВт, оборудованные CCS в течение середины этого столетия.

Если технологическое развитие шагнёт вперёд и основные проблемы (надёжность инфраструктуры, юридические проблемы, и т.д.) будут решены, включая общественную приемлемость CCS, то эта технология могла бы сократить выбросы углекислого газа к 2050 году на несколько миллиардов тонн. На первой стадии развёртывание CCS произойдёт в промышленных странах; последующее международное распространение будет зависеть от дополнительных факторов (инфраструктура, установленные мощности и т.д.). Однако нужно сказать, что

CCS пока находится в стадии разработки, хотя некоторые шаги в плане реализации уже сделаны.

### *Предварительное заключение*

Проблему изменения климата не удастся решить лишь с помощью какой-то одной технологии. Тем не менее, вопрос об исключении из рассматриваемых вариантов таких, в которых доминирует лишь одна технология - вызывает споры.

Если мы предполагаем, что разница между сегодняшним уровнем выбросов и тем, который нужно будет достичь в 2050 г. составляет 25-40 Гт, то можно представить себе следующую картину:

- приблизительно 5 Гт CO<sub>2</sub> от увеличения производства ядерной энергии втрое от текущих мощностей;
- приблизительно 4 Гт CO<sub>2</sub> от увеличения энергетической эффективности для зданий;
- приблизительно 5 Гт CO<sub>2</sub> от увеличения энергоэффективности в промышленности;
- приблизительно 7 Гт CO<sub>2</sub> от увеличения энергоэффективности в транспортном секторе;
- приблизительно 2 Гт CO<sub>2</sub> от увеличения энергоэффективности в энергетическом секторе (кроме варианта смены вида топлива);
- приблизительно 3,6 Гт CO<sub>2</sub> от перехода с угля на газ в энергетическом секторе;
- приблизительно 15 Гт CO<sub>2</sub> (или больше) от возобновляемой энергетики (электричество и тепло);
- между 4 и 10 Гт CO<sub>2</sub> от CCS.

Таким образом, при комбинировании вышеперечисленных технологий к 2050 году удалось бы сократить выбросы на 45-55 Гт CO<sub>2</sub>. В этой структуре, вклад ядерной энергетики не должен рассматриваться как обязательный даже для очень интенсивного сценария. Однако, сомнения и риски останутся в любом случае.

- Глобальное потепление и ядерная энергетика представляют из себя риски разного вида, однако они сравнимы. Хотя некоторая опасность для здоровья и экосистем может возникнуть и от варианта снижения выбросов за счет только одной технологии (от возобновляемых источников до CCS), ни одна другая технология не представляет из себя такой опасности для здоровья, окружающей среды и социально-экономической обстановки, как атомная энергетика.
- В отличие от возобновляемой энергетики и CCS, ядерная энергетика сильно привязана к энергосети, по крайней мере в обозримом будущем такая ситуация будет сохраняться. Возобновляемая энергетика и CCS требуют фундаментальных изменений в существующей энергетической системе. Но если ядерная энергия будет вносить серьезный вклад в сокращение выбросов, то в следующие 20-30 лет также потребуются существенные технологические изменения – развитие бриддерных технологий, переработка ОЯТ. Неясно, выполнимо ли это.

- Применение ядерной энергии для снижения уровня выбросов потребует масштабного развития всех элементов ядерно-топливного цикла (от горной промышленности до захоронения отходов). Здесь также остается много неясностей.
- Условия внедрения технологий возобновляемой энергетики входят в противоречие с условиями, необходимыми для масштабного развития атомной энергетики. Если для первого варианта нужны гибкость и децентрализация энергосистем, возможность поставлять энергию с интервалами, то для второго - централизованная структура энергосистемы, низкая гибкость и как можно более мощные единицы производства энергии.
- Единственный адаптированный к сегодняшней энергосистеме сценарий включает в себя переход с угля на газ и повышение эффективности электростанций, включая комбинированное производство тепла и энергии. Хотя вклад этих технологий ограничен, эти два варианта будут играть ключевую роль в ближайшее время.
- Самые эффективные сценарии снижения выбросов требуют политической поддержки из-за существующих барьеров. Установление адекватных цен на выбросы CO<sub>2</sub> могло бы помочь преодолеть эти барьеры.
- Ключевые варианты уменьшения выбросов в среднесрочной перспективе (возобновляемая энергия, CCS) неконкурентоспособны по сравнению с ядерной энергией, если в ее цену по-прежнему не будут включены расходы на утилизацию радиоактивных отходов, демонтаж старых установок и др. Если ядерная энергетика не будет развиваться, то изменение топливного цикла (бридеры, переработка ОЯТ) через некоторое время потребует огромных финансовых вливаний, масштаб которых трудно представить. Вследствие этой перспективы ядерный сценарий может оказаться неверным.
- Ядерная технология имеет самый высокий потенциал мобилизации. Если произойдут одна или несколько крупных аварий, то общественность перестанет считать ядерную энергетiku приемлемой. В случае, если при сокращении выбросов делается ставка на эту технологию, для борьбы с изменением климата такой поворот был бы катастрофой.

Необходимо выработать наиболее безопасный подход к сокращению выбросов с учетом всех этих обстоятельств на короткий, средний и долгосрочный периоды. Если ядерную энергетiku не рассматривать как необходимого участника усилий по сокращению выбросов в ближайшей перспективе, в течение 20-30 лет необходимо перейти с угля на газ и повысить энергоэффективность, в том числе и в энергетической промышленности. Это может дать необходимый эффект на тот период времени, пока не упадет цена на возобновляемую энергию и не будут закончены исследования в области CCS.

## ***6 Основные стратегии: социологическое исследование в Германии***

Чтобы оценить разнообразие вариантов сокращения выбросов в условиях высоко развитой страны, Комиссия Бундестага «Энергетика в период глобализации и либерализации» осуществила работу по моделированию стратегии, направленной на 80% сокращение выбросов CO<sub>2</sub> (по сравнению с 1990 г.) к 2050 году (ЕК 2002).

Главная цель моделирования состояла в том, чтобы определить структуру поставок энергии в рамках стратегии по сокращению выбросов. При моделировании были созданы четыре различных сценария:

- В обычном сценарии существующая политика сохранялась и никаких мер не предпринималось до 2012 г.
- В сценарии «Возобновляемые источники и энергоэффективность» было предусмотрено 80% сокращение эмиссии CO<sub>2</sub> без задействования технологий поглощения углерода и атомной энергетики (учитывая текущую стратегию постепенного отказа от атомной энергии в Германии).
- В сценарии «Энергетический сектор» фигурировало поглощение углерода вдобавок к мерам предыдущего сценария .
- В сценарии «Смесь ископаемого топлива и атомной энергетики» предыдущие варианты были дополнены ядерной энергией.

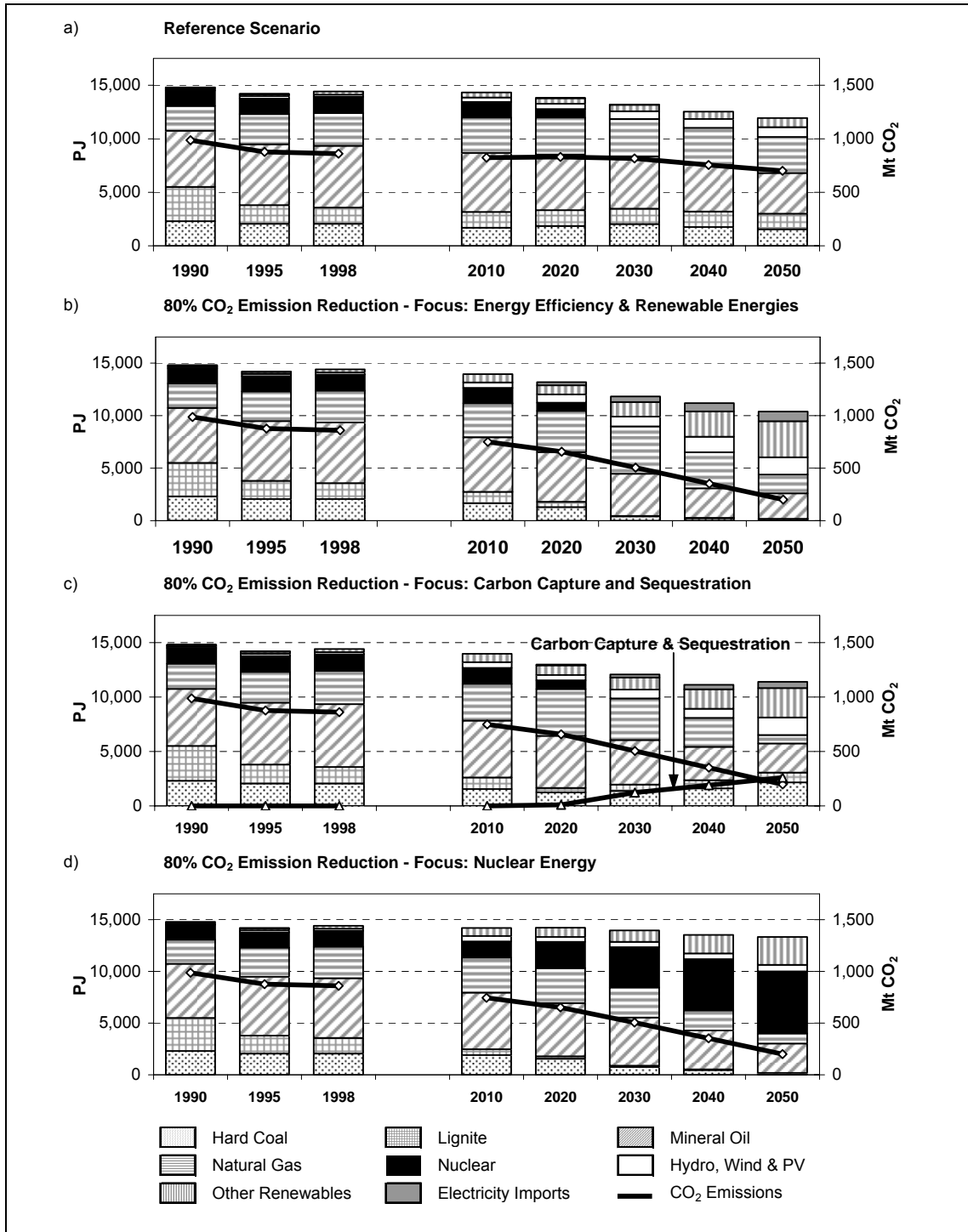
Моделирование было выполнено с различными вариантами симуляции и оптимизации, чтобы гарантировать обоснованные результаты.

Рисунок 7 дает краткий обзор результатов моделирования.

В случае сохранения сегодняшней ситуации можно заметить небольшое уменьшение в уровне снабжения энергией, и эмиссия CO<sub>2</sub> уменьшилась на 29% по сравнению с 1990 г. Если сравнивать с 1998 г., то это еще на 10% меньше. Структура первичного снабжения электроэнергией сохраняется при небольшом снижении потребления нефти и увеличении доли возобновляемой энергетики. Эти тенденции развития следуют из демографических особенностей и автономных усилий по энергоэффективности в сельском хозяйстве.

Если бы сокращение эмиссии достигло 80% (по сравнению с 1990 г.) за счет энергоэффективности и увеличения доли возобновляемых источников энергии, то снабжение энергией снизилось бы. По сравнению с первым сценарием, энергоэффективность обеспечила бы около 13% электроэнергии. Приблизительно 48% от уровня энергоснабжения могло быть покрыто за счет возобновляемой энергетики. Основная роль в этом принадлежала бы биомассе и ветру. Если использование угля (каменный уголь и линит) прекращается к 2030 г., то использование природного газа и нефти также значительно снижается. Однако, природный газ и нефть в этом случае все еще обеспечивают 40% энергоснабжения в 2050 г. Стоит упомянуть, что из-за географического положения Германии, импорт электричества из областей с более привлекательным потенциалом по возобновляемой энергетике обеспечил бы 9% энергоснабжения.

**Рисунок 7**                      **Снабжение энергией и выбросы углекислого газа, сценарии социальных исследований в Германии**



Источник: ЕК (2002).

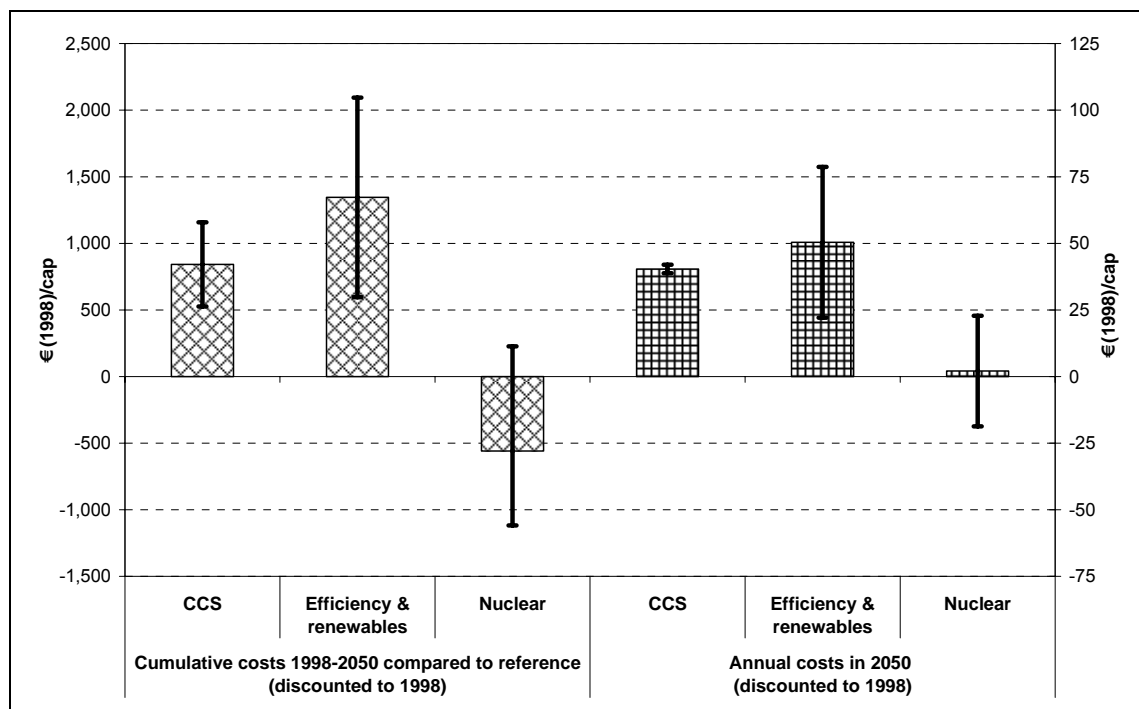
Если CCS активно участвует в сценарии, структура энергоснабжения значительно отличается. Хотя уровень энергоэффективности повышается, уровень энергоснабжения только на 4,5 ниже, чем в первом сценарии. Это происходит главным образом из-за дополнительных потребностей в энергии, возникающих вследствие применения CCS начиная с 2030 г., что поможет сократить выбросы на 260 млн. т CO<sub>2</sub> в 2050 г. Однако, доля возобновляемой энергии растет и в этом сценарии и достигает 38 % к 2050 г. Доминирование CCS делает использование уг-

ля для выработки энергии привлекательным. Доля природного газа в энерго-снабжении компенсируется энергоэффективностью и возобновляемой энергией.

Если стратегия сокращения выбросов сосредоточится главным образом на ядер-ной энергии – к 2050 году этот источник станет доминирующим. Ядерная энер-гия полностью заменила бы использование угля и сделала CCS неконкуренто-способной. При этом имеет смысл некоторое развитие возобновляемой энергетике, которая может обеспечить около 23% потребностей. Уровень энер-госнабжения здесь выше, чем в первом сценарии. Это происходит главным об-разом потому, что электроэнергия преобразуется в первичную энергию с низким конверсионным фактором в 33% (другими словами, статистическая подделка), но также и потому что не предусмотрены никакие дальнейшие (политические) усилия для повышения энергоэффективности. Нефть и природный газ играют только незначительную роль в этом сценарии; а транспортный сектор более или менее полностью переведен на водород, произведенный атомными электростан-циями.

Как было продемонстрировано в этом анализе, стратегия сокращения выбросов по мере уменьшения совсем не зависит от потенциалов различных групп. Кроме ядерного сценария (где серьезный вопрос состоит в том, выполнимо или нет) разнообразие вариантов сокращения выбросов позволяет использовать различ-ные стратегии. Другими словами, набор вариантов уменьшения выбросов шире, чем просто позволяющий достичь 80% сокращения к 2050 г.

**Рисунок 8. Совокупные ежегодные затраты на душу населения для различных сценариев**



Источник: ЕК (2002).

В рамках различных сценариев (Рисунок 8) в отношении затрат были выявлены два наиболее важных результата. Во-первых, в сценариях существуют неясности. Из-за разнообразия технологий, используемых в сценарии, включающем

энергоэффективность и возобновляемую энергию, диапазон затрат более широк, чем для сценариев, в которых доминирует одна технология. Во-вторых, по сравнению с системными затратами, стоимость сокращения выбросов все еще находится на приемлемом уровне. По сравнению с валовым внутренним продуктом (ВВП), затраты к 2050 г. составят 2%. Оценка ядерного сценария зависит в значительной степени от предположений о будущих затратах на ядерные технологии. Если анализ основан на «оптимистическом» предположении, использование ядерного сценария выглядит привлекательно. Если стоимость оценена «пессимистически», затраты будут сопоставимы с другими сценариями. Если учитывать все затраты, связанные с ядерной энергией (где существует широкий диапазон предположений, но нет единого мнения), неядерные сценарии выглядят более предпочтительными экономически.

Хотя не все результаты моделирования в Германии могут быть применены к другим странам, есть несколько универсальных выводов:

- Существует множество вариантов составления стратегий для сокращения выбросов. Энергоэффективность и возобновляемая энергетика будут играть роль в каждой стратегии, однако нет причин к тому, чтобы атомная энергетика являлась бы настолько же необходимой.
- Затраты на сокращение выбросов существенны, но не превысят 2 % ВВП к 2050 г. – это уровень должен быть приемлем, если учитывать потенциальный ущерб от глобального потепления.
- Помимо глобального потепления и затрат на уменьшение выбросов, необходимо учитывать и другие риски. В разрабатываемых стратегиях вполне может быть предусмотрено снижение всех известных рисков.

Продолжающиеся дебаты о стоимости ядерной энергии и затратах на борьбу с глобальным потеплением демонстрируют, что корень проблемы - в определении ценностей. Это должно относиться не только к проблеме глобального потепления. Минимизирующая риск стратегия сокращения выбросов с постепенным уменьшением доли атомной энергии вполне реальна как с технической, так и с экономической точки зрения. Включение ядерной энергии сделает любую стратегию по сокращению выбросов намного более уязвимой.

## *Заключение*

Глобальное потепление - вероятно самый серьезный вызов XXI столетия. Потенциальный ущерб и временной промежуток, на протяжении которого будут ощущаться последствия, позволяют отнести этот риск к типу «Кассандра». Однако изменение климата представляет опасность не только для здоровья людей и состояния окружающей среды, но и для социально-экономического благополучия. Потенциальные последствия от использования ядерной энергии (аварии, утилизация отходов, их быстрое увеличение) относятся к классу рисков «Дамокл», что требует крайне серьезного отношения. Очевидно, что для достижения целей по сокращению выбросов с учетом сегодняшних знаний о климате недостаточно выбрать одну технологию. Вопрос о том, нужно ли отказаться от рассмотрения атомной энергии в качестве инструмента стратегии по сокращению эмиссии парниковых газов – остается крайне спорным. Анализ различных вариантов доказывает, что использование атомной энергии необязательно в рамках усилий по сокращению выбросов, а также может привести к новым барьерам на пути климатических стратегий. Необходимо отметить, что:

- Существуют прямо противоположные и несовместимые требования для развития атомной энергетики и развития возобновляемых источников вместе с технологией CCS.
- В среднесрочной перспективе развитие ядерной индустрии с изменением топливного цикла потребует огромных затрат в то время, как стоимость возобновляемой энергетики и CCS скорее всего уменьшится.
- Наиболее значительный вклад в сокращение выбросов CO<sub>2</sub> может быть обеспечен за счет повышения эффективности использования энергии конечными пользователями, а также в энергетическом секторе. Из-за разнообразных препятствий и барьеров необходимы большие политические усилия, чтобы использовать этот потенциал. Споры вокруг использования атомной энергии нередко отвлекают внимание от этой проблемы.

Необходимо создать безопасную стратегию с учетом вышеперечисленного на короткий, средний и долгосрочный периоды. Если ядерная энергия в краткосрочной перспективе не считается обязательным инструментом борьбы с выбросами CO<sub>2</sub>, то переход с угля на газ необходимо осуществить в ближайшие 20-30 лет, вместе с повышением эффективности использования энергии конечными потребителями и энергетическим сектором. Этот шаг позволит дожидаться уменьшения стоимости возобновляемой энергетики и повышения эффективности технологии CCS. Анализ, представленный в этой работе, указывает на то, что эффективная стратегия минимизации риска абсолютно реальна. Сокращение выбросов может быть достигнуто с использованием или без использования атомной энергии в рамках экономической приемлемости сегодняшнего дня. При учете необходимости фундаментального преобразования глобальной энергетической системы, климатическая стратегия без включения атомной энергии представляется более здоровой и технологически продвинутой.



## ***Ссылки***

- Blasing, T.J., Jon, S. (2005): Current Greenhouse Gas Concentrations. Updated February 2005. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory ([http://cdiac.esd.ornl.gov/pns/current\\_ghg.html](http://cdiac.esd.ornl.gov/pns/current_ghg.html))
- Ecofys (2004): Options for the second commitment period of the Kyoto Protocol. Report for the German Federal Environmental Agency. Cologne, November 2004.
- EK (Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung des 14. Deutschen Bundestages) (2002): Bericht der Enquete-Kommission. Bundestags-Drucksache 14/9400.
- Ewers, H.-J.; Rennings, K. (1991): Die volkswirtschaftlichen Kosten eines Super-GAUS' in *Biblis. Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, 4/1991, 379-396.
- Ewers, H.-J.; Rennings, K. (1994): Economics of Nuclear Risks – A German Study. In: Hohmeyer/Ottinger: *Social Costs of Energy – Present Status and Future Trends. Proceedings of an international Conference*, Racine, Wisconsin, September 8-11, 1992.
- Frogatt, A. (2005): Nuclear Reactor Hazards. Nuclear Issues Paper No. 2. Berlin: Heinrich Böll Foundation.
- Hare, B., Meinshausen, M. (2004): How much warming are we committed to and how much can be avoided? PIK Report Nr. 93. Potsdam: PIK.
- ICCEPT (Imperial College Centre for Energy Policy and Technology) (2002): Assessment of Technological Options to Address Climate Change. A Report for the Prime Minister's Strategy Unit. London, December 20, 2002.
- IEA (International Energy Agency) (2000): Experience Curves for Energy Technology Policy. Paris: OECD/IEA.
- IEA (International Energy Agency) (2004a): World Energy Outlook 2004. Paris: OECD/IEA.
- IEA (International Energy Agency) (2004b): Prospects for CO<sub>2</sub> Capture and Storage. Paris: OECD/IEA.
- IEA (International Energy Agency) (2005a): Electricity Information 2005. Paris: OECD/IEA.
- IEA (International Energy Agency) (2005b): Legal Aspects of Storing CO<sub>2</sub>. Paris: OECD/IEA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): Special Report Emissions Scenarios. Cambridge: Cambridge University Press.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Climate Change 2001: Mitigation. A Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2005): IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage.
- Jochem, E. (2000): Energy End-Use Efficiency. In: UNDP/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: UNDP, 173-217.
- Kreusch, J., Neumann, W., Appel, D., Diehl, P. (2005): The nuclear fuel cycle. Nuclear Issues Paper No. 3. Berlin: Heinrich Böll Foundation.
- Lovins, A.B. (2005): Nuclear power: economics and climate-protection potential. Rocky Mountain Institute ([www.rmi.org/sitepages/pid171.php@E05-08](http://www.rmi.org/sitepages/pid171.php@E05-08))
- Marland, G., Boden, T.A., Andres, and R. J. (2005): Global, Regional, and National CO<sub>2</sub> Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- Meinshausen, M. (2005): On the risk of overshooting 2°C. Scientific Symposium “Avoiding Dangerous Climate Change” Exeter, Met Office, UK, 2 February 2005.
- Meinshausen, M., Hare, B., Wigley, T.M.L., van Vuuren, D., den Elzen, M.G.J., Swart, R. (2005): Multi-gas emissions pathways to meet climate targets. Climatic Change, forthcoming.
- Nassauer, O. (2005): Nuclear energy and proliferation. Nuclear Issues Paper No. 4. Berlin: Heinrich Böll Foundation.
- NERAC (Nuclear Energy Research Advisory Committee) (2002): A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. Washington, D.C.: US DOE NERAC.
- Pacala, S., Socolow, R. (2004): Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. Science 305 (2004) 968-972.
- Pehnt, M., Cames, M., Fischer, C., Praetorius, B., Schneider, L., Schumacher, K., Voß, J.-P. (2005): Micro Cogeneration. Towards decentralized energy systems. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Price, R.R., Blaise, J.R., Vance, R.E. (2004): Uranium production and demand. Timely mining decisions will be needed. NEA News 2004 – No. 22.1.
- Rogner, H.-H. (2000): Energy Resources. In: UNDP/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: UNDP, 135-171.

- Rothwell, G., van der Zwaan, B. (2003): Are light-water reactor energy systems sustainable? *The Journal of Energy and Development* 29 (2003) No. 1, 65-79.
- Sailor, W.C., Bodansky, D., Braun, C., Fretter, S., van der Zwaan, B. (2000): A Nuclear Solution to Climate Change?. *Science* 288 (2000) 1177-1178.
- Schrattenholzer, L., Miketa, A., Riahi, K., Roehrl, R.A. (2004): Achieving a Sustainable Global Energy System. Identifying possibilities using long-term Energy Scenarios. *ESRI Studies on the Environment*, Cheltenham: Edgar Elgar.
- Shell (2002): Energy Needs, Choices and Possibilities Scenarios to 2050. Scenarios to 2050. Shell International.
- Thomas, S. (2005): The economics of nuclear power. Nuclear Issues Paper No. 5. Berlin: Heinrich Böll Foundation.
- Turkenburg, W.C. (2000): Renewable Energy Technologies. In: UNDP/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: UNDP, 219-272.
- UNDP (United Nations Development Programme)/UNICEF (United Nations Children's Fund) (2002): The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident. A Strategy for Recovery. A Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO. New York: UNDP.
- Van der Zwaan, B., Rabl, A. (2004): The learning potential of photovoltaics: implications for energy policy. *Energy Policy* 32 (2004) 1545-1554.
- Van der Zwaan, B.C.C. (2002): Nuclear energy: Tenfold expansion or phase-out? *Technological Forecasting & Social Change* 69 (2002) 287-307.
- WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2000): Strategies for Managing Global Environmental Risks. Berlin/Heidelberg: Springer.
- WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2003): Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and beyond. Special Report. Berlin: WBGU.
- WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2004): Towards Sustainable Energy Systems. London: Earthscan.

## *Расшифровка аббревиатур*

BAU	обычное состояние
Cap	на душу населения
CCS	поглощение и хранение углерода
CO <sub>2</sub>	углекислый газ
ECBM	расширенное восстановление метана угольного пласта
Exajoule	экзаджоуль
EOR	расширенное нефтяное восстановление
GDP	валовой внутренний продукт (ВВП)
Gt	миллиард тонн
GWP	потенциал глобального потепления
IEA	Международное энергетическое агентство
IGCC	интегрированный газовый объединяющий цикл
IPCC	Межправительственная комиссия по изменению климата
км	километр
m <sup>2</sup>	квадратный метр
Mt	миллион тонн
OECD	Организация экономического сотрудничества и развития
ppm	частицы в миллионе
ppt	частицы в триллионе
R&D	исследование и развитие
SO <sub>2</sub>	диоксид серы
t	метрические тонны
TWh	миллиард киловаттчасов
UNFCCC	Рамочная конвенция ООН по изменению климата
yr	год
W	ватт

## **Фонд имени Генриха Бёлля**

Фонд Генриха Бёлля является политическим фондом, близким к партии «Союз 90/Зелёные» (Германия), располагающимся на Hackesche Hoefe в сердце Берлина. Фонд обладает самостоятельным юридическим статусом и в своем нынешнем виде существует с 1997 г..

Приоритетной задачей Фонда является политическое просвещение в пределах Германии и за границей, содействие расширению участия граждан в общественной и политической жизни, углублению взаимопонимания между народами.

Фонд поддерживает деятельность в области искусства и культуры, науки и исследований, а также международного сотрудничества. Его деятельность нацелена на достижение справедливого миропорядка. Фонд пропагандирует фундаментальные политические ценности, такие как экология, демократия, гендерное равенство, солидарность и отказ от насилия.

Посредством международного сотрудничества и взаимодействия с партнерами – в настоящее время осуществляется около 100 проектов в почти 60 странах – Фонд стремится усиливать экологическую и гражданскую активность на глобальном уровне, способствовать обмену идеями, всегда быть наготове.

Сотрудничество Фонда Генриха Бёлля с партнерами в области общественно-политических образовательных программ носит долгосрочный характер. Важную роль здесь играют программы обменов и программы обучения для активистов, которые увеличивают обмен опытом и улучшают политическое взаимодействие.

Фонд Генриха Бёлля имеет приблизительно 180 постоянных сотрудников и приблизительно 320 членов, которые обеспечивают финансовую и нематериальную помощь.

Ральф Фукс и Барбара Унмусиг входят в управляющий совет. Доктор Биргит Лобак – генеральный директор Фонда.

Два дополнительных органа образовательной работы Фонда: «Зелёная Академия» и «Феминистский Институт».

В настоящее время Фонд имеет представительства в США и на арабском Ближнем Востоке, в Афганистане, Боснии и Герцеговине, Бразилии, Камбодже, Хорватии, Чешской Республике, Сальвадоре, Грузии, Индии, Израиле, Кении, Ливане, Мексике, Нигерии, Пакистане, Польше, России, Южной Африке, Сербии, Таиланде, Турции, и офисе для ЕС в Брюсселе.

В 2005 г. Фонд имел в своём распоряжении почти 36 миллионов €.

Heinrich Böll Stiftung, Hackesche Höfe, Rosenthaler Str. 40/41, D-10178 Berlin, Germany,

Tel: +49-30 285 340, Fax: +49-03 285 31 09, [info@boell.de](mailto:info@boell.de); [www.boell.de](http://www.boell.de)

**Ядерная энергия: миф и реальность** – является одной из шести публикаций Фонда Генриха Белля, посвященных проблемам атомной энергетики. Публикации приурочены к 20-летней годовщине аварии на Чернобыльской АЭС. Издание дает современный обзор происходящих в настоящий момент дебатов относительно использования атомной энергии в мире. Целью издания является предоставление исследовательской информации специалистам, журналистам, активистам, общественности.

Серия публикаций, посвященных ядерным проблемам

Редактор: Феликс Кристиан Маттес

Ядерная энергия: мифы и легенды. Автор: Г. Розенкранц

Ядерный реактор как источник опасности. Автор: А. Фроггатт

Ядерный топливный цикл. Авторы: Кройш, В. Ньюманн, Д. Аппель, П. Диль

Ядерная энергия и проблема ядерного распространения. Автор: О. Нассауэр

Экономические аспекты ядерной энергетики. Автор: С. Томас

Ядерная энергия и климатические изменения. Автор: Ф. Кр. Маттес



В соавторстве с

Публикации по проблемам ядерной энергетики на [www.boell.de/nuclear](http://www.boell.de/nuclear)