



ЯДЕРНАЯ
ЭНЕРГЕТИКА
НЕ РЕШЕНИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА



Резюме

1. Ядерная энергия – не волшебная палочка

Ядерная энергия способна, в лучшем случае, внести скромный вклад в смягчение изменения климата. Основным ограничением является то, что ядерная энергия используется почти исключительно для производства электричества, на долю которого приходится менее 25% глобальных выбросов парниковых газов. Даже троекратное увеличение ядерной генерации сократило бы выбросы меньше чем на 10% – и только в том случае, если она заменит уголь.

2. Углеродные выбросы ядерного топливного цикла

Утверждения, что ядерная энергетика не производит парниковых газов, ошибочны. Ядерная энергия создает больший парниковый эффект, чем большинство возобновляемых источников энергии и мер по энергоэффективности. Выбросы парниковых газов, связанные с жизненным циклом ядерной энергетики, будут расти по мере выработки относительно высококачественной урановой руды.

3. Ядерная энергия – медленная реакция на срочную проблему

В результате 20-летней стагнации ядерная индустрия не способна быстро расширить энергогенерирующие мощности. Ограничивающими факторами служат «узкие места» в секторе изготовления реакторов, сокращение и старение рабочей силы, а также значительное время, необходимое на то, чтобы построить энергоблок и вернуть средства, потраченные на его строительство.

4. Ядерная энергия и изменение климата

Страны и регионы с высокой зависимостью от ядерной энергии также имеют тенденцию к высоким объемам выбросов парниковых газов.

Некоторые страны планируют заменить станции на ископаемых источниках атомными для того, чтобы увеличить экспорт ископаемого топлива, – в таких случаях любое потенциальное преимущество ядерной энергии для смягчения изменения климата исчезает.

5. Изменения климата и ядерные риски

Атомные станции уязвимы к рискам, которые обостряются из-за изменения климата. Среди них истощение и потепление водных ресурсов, рост уровня океана, штормовые разрушения, засухи и нашествия медуз.

«Водные войны» – в частности, разногласия по поводу распределения все более дефицитных водных ресурсов между производством энергии и сельским хозяйством – учащаются и обостряются в связи с изменением климата.

6. Распространение ядерного оружия и ядерная зима

Гражданские ядерные программы служат ширмой для множества секретных военных программ, и развитие ядерной энергетики будет усугублять эту проблему.

Ядерное столкновение – даже локализованная ядерная война с применением малой толики глобального арсенала – потенциально способно вызвать катастрофическое изменение климата.

7. Возобновляемые источники энергии и энергоэффективность

С 2004 по 2014 год количество возобновляемых энергетических мощностей в мире удвоилось (а без учета гидроэнергетики – выросло в 8 раз). В ядерной энергетике за этот же период и предыдущее десятилетие наблюдался застой.

Установленные возобновляемые (включая гидроэнергетику) мощности в мире превышают ядерные в 4,6 раза, и с помощью возобновляемых источников производится вдвое больше электричества, чем на атомных реакторах. Все большее количество исследований подтверждает, что потенциал возобновляемой энергетики позволяет почти полностью повсеместно заменить ископаемое топливо.

Энергоэффективность и возобновляемые – вот два столпа чистой энергии будущего. Согласно исследованию Кембриджского университета, потребление энергии в мире можно сократить на 73% с помощью мер энергоэффективности и энергосбережения – и тем самым приблизить низкоуглеродное, безъядерное будущее.

По вопросам, связанным с изданием на русском языке, обращайтесь:
«Экозащита!»
Тел. +7 903 29 97 584
e-mail: ecodefense@gmail.com
www.ecodefense.ru

По вопросам, связанным с изданием на английском языке, обращайтесь:
WISE International
Phone: +31 20 61 26 368
e-mail: info@wiseinternational.org
www.wiseinternational.org

Перевод с английского: Галина Рагузина
Оригинальная публикация на английском:
Nuclear Monitor 806, Июнь 2015 (ISSN: 1570-4629)

При поддержке Фонда им. Генриха Белля.
При перепечатке ссылка обязательна.



1. Ядерная энергия – не волшебная палочка

«Утверждение, что ядерная энергетика сама по себе может решить проблему изменения климата, это откровенное преувеличение» – старший аналитик по энергетике Международного агентства по атомной энергии Алан Макдональд (Alan McDonald), 2004.¹

Ядерная энергия способна, в лучшем случае, внести скромный вклад в смягчение изменения климата. Основным ограничением является то, что ядерная энергия используется почти исключительно для производства электричества, на долю которого приходится менее 25% глобальных (антропогенных) выбросов парниковых газов.²

Увеличение производства ядерной энергии вдвое могло бы сократить объем выбросов парниковых газов примерно на 6%, при условии, что ядерные мощности заменят собой угольные³ – или ни на йоту, при условии, что ядерные мощности заменяют собой возобновляемые или меры энергоэффективности. Увеличение ядерного энергопроизводства вдвое потребовало бы строительства 437 новых реакторов в дополнение к существующим 437-и (380 ГВт), а также новых реакторов на замену закрывающимся: по данным МАГАТЭ, к 2040 почти 200 реакторов будут остановлены.⁴

В докладе Международной комиссии по делящимся материалам (IPFM) от 2007 года говорится, что если ядерная генерация вырастет примерно втройку и в 2050 году достигнет 1000 ГВт, рост выбросов парниковых газов, предусмотренный сценарием «обычный ход дел», может быть сокращен на 10–20%, при условии, что ядерные мощности заменяют собой угольные.⁵ Этот сценарий (который IPFM не поддерживает) допускает увеличение объема выбросов вдвое к 2050 году, а благодаря строительству 700 новых реакторов объем выбросов сокращается с 14 млрд тонн до 13 млрд тонн. Следовательно, увеличение объема выбросов сократилось бы на 1/7 или 14%, а общий объем выбросов сократился бы на 1/14 или 7%, при условии, что ядерные мощности заменяют собой угольные.

Согласно статье, опубликованной в журнале «Прогресс в ядерной энергетике» в 2007 году, десятикратное увеличение ядерной генерации к концу столетия могло бы сократить выбросы парниковых газов на 15%.⁶

Очевидно, что ядерная энергия – это не волшебная палочка.

2. Углеродные выбросы ядерного топливного цикла

Утверждения, что ядерная энергия не производит парниковых газов, ошибочны. Ядерная энергия создает больший парниковый эффект, чем большинство возобновляемых источников энергии и мер по энергоэффективности. Выбросы парниковых газов, связанные с жизненным циклом ядерной энергетики, будут расти по мере выработки относительно высококачественной урановой руды.

Выбросы парниковых газов связаны с разными этапами ядерного топливного цикла: добычей, извлечением и обогащением урана; строительством, модернизацией и выводом из эксплуатации реакторов; управлением с отходами (в том числе переработкой и/или остекловыванием и бетонированием); транспортировкой урана, отработавшего топлива и т. д.

Профессор Бенджамин Совакул (Benjamin Sovacool) написал в 2008 году: «Чтобы составить хотя бы приблизительный расчет количества эквивалента углекислого газа, которое атомные станции производят в течение срока своей эксплуатации, возьмем реактор мощностью 1000 МВт. Работая с производительностью 90%, он будет выбрасывать 1427 тонн эквивалента углекислого газа в день, или 522323 тонны в год. В 2005 году на долю ядерных установок приходилось около

183 млн тонн эквивалента углекислого газа. При углеродном налоге 24 доллара за тонну – что совсем не много – за выбросы этого 1000-мегаваттного реактора нужно будет платить почти 12,6 млн долларов в год. Для мировой ядерной индустрии это означает выплату 4,4 млрд долларов углеродного налога в год».⁷

В своей революционной работе Совакул изучил 103 исследования выбросов, возникающих в ходе ядерного топливного цикла, и выбрал самые актуальные и прозрачные.⁸ Он выяснил, что в этих исследованиях среднее значение таких выбросов составляет 66 граммов эквивалента углекислого газа на киловатт-час ($\text{гCO}_2\text{э/к Вт}\cdot\text{ч}$).

Совакул утверждает: «Береговая ветроэнергия производит менее одной седьмой выбросов атомных станций; крупная ветроэнергия, наземная ветровая, биогаз – около одной шестой, малая гидроэнергия и гелиотермика – одну пятую. Таким образом, в пересчете на киловатт-часы эти возобновляемые источники в семь, шесть и пять раз эффективнее в борьбе с изменением климата. Со стороны тех, кто принимает решения, было бы мудро воспользоваться этими более экологичными технологиями, если они действительно хотят производить электричество и бороться с изменением климата».⁹



Труд Совакула предлагает следующие цифры (гCO₂э/к Вт·ч):

ветер 9–10
гидроэнергетика 10–13
биогаз 11
гелиотермика 13
биомасса 14–31
солнце (фотоэлектричество) 32

геотермика 38
атом 66
природный газ 443
дизель 778
сырая нефть 778
уголь 960–1050

В работе, подготовленной в 2009 году для Австралийской урановой ассоциации, профессор Манфред Ленцен (Manfred Lenzen) пришел к выводу, что выбросы парниковых газов, связанные с жизненным циклом ядерной энергетики, варьируются от 10 до 130 гCO₂э/кВт·ч, где вариативность в большей степени зависит от качества руды, технологии обогащения, частоты выгорания топлива и перезагрузки реактора и в меньшей – от степени обогащения, срока эксплуатации станции, коэффициента нагрузки и количества остаточного урана в «хвостах» (отходах обогащения урановой руды). Ленцен считал «худший вариант»: при степени обогащения руды 0,01%, только диффузном способе обогащения, коэффициенте нагрузки реактора 75% и сроке эксплуатации 25 лет на фоне общей углеродоемкой экономики выбросы составят 248 гCO₂э/кВт·ч.¹⁰

Другие варианты расчетов, с учетом, например, энерго- и углеродоемкого захоронения больших объемов низкокачественной руды, пустой породы и «хвостов», тоже дают высокие показатели. Выбросы парниковых газов, связанные с жизнен-

ным циклом ядерной энергетики, будут расти по мере того, как запасы относительно богатой урановой руды будут вырабатываться. В 2009 году консалтинговая фирма CRU Group рассчитала, что качество руды в уранодобывающих проектах, находящихся на стадии подготовки технико-экономического обоснования, в мире было на 35% ниже, чем качество руды на уже разрабатываемых рудниках, а в проектах по разведке месторождений – в среднем на 60% ниже, чем на разрабатываемых месторождениях.¹¹

Пределы роста углеродоемкости добычи урана являются источником споров и значительной неопределенности. Они зависят не только от снижения качества руды, но и от других переменных, например таких, как выбор способа управления «хвостами» на урановых рудниках.

В 2012 году в «Журнале о промышленной экологии» Уорнер и Хелс (Warner and Heath) писали, что выбросы ядерного топливного цикла могут вырасти на 55–220% по мере снижения качества урановой руды.¹²

Доктор Марк Дизендорф (Mark Diesendorf) утверждает: «При условии использования богатой руды, выбросы CO₂ от ядерного топливного цикла значительно ниже, чем от газовой станции. Но мировые запасы богатой руды очень ограничены, их хватит только на несколько десятилетий. Мировые запасы урана в подавляющем своем большинстве – низкого качества. Выбросы CO₂ от добычи, извлечения и обогащения низкокачественного урана весьма значительны, и таким образом общее количество выбросов CO₂ ядерного топливного цикла уравнивается с выбросами газовой станции или превышает их».¹³

Кейт Барнхэм (Keith Barnham), заслуженный профессор физики в отставке Имперского колледжа Лондона, утверждает, что при использовании руды с содержанием урана около 0,01% углеродный след ядерного электричества равен углеродному следу газового электричества.¹⁴

В отчете немецкого министерства экологии за 2006 год говорится, что современная газовая станция, производящая совместно электричество и тепло (теплофикация, или когенерация), может быть менее углеродоемкой, чем атомная станция.¹⁵

Некоторые ядерные лоббисты заявляют, что реакторы на быстрых нейтронах 4-го поколения могут сократить выбросы, связанные с ядерным топливным циклом, за счет использования в качестве топлива отходов (особенно обедненного урана и отработавшего топлива) вместо добываемого урана. Один из спорных моментов в этих аргументах состоит в том, что до реакторов 4-го поколения еще – и всегда было – несколько десятилетий:

• Международный форум реакторов 4-го поколения утверждает: «В зависимости от степени их соот-

ветствующей технической завершенности, коммерческое применение первых систем 4-го поколения ожидается около 2030–2040 годов».¹⁶

• МАГАТЭ утверждает: «Эксперты ожидают, что первые демонстрационные и опытные образцы быстрых реакторов 4-го поколения начнут действовать между 2030 и 2040 годами».¹⁷

• Отчет Института радиологической защиты и ядерной безопасности при французском правительстве за 2005 год утверждает: «До сих пор требуется еще множество научно-исследовательских и конструкторских изысканий для разработки как атомного реактора 4-го поколения, так и топливного цикла и системы управления отходами, соответствующих выбранной технологии».¹⁸

• Всемирная ядерная ассоциация в 2009 году отмечала, что «прогресс оценивается как медленный, и несколько потенциальных разработок в течение многих лет подвергаются теоретической оценке».¹⁹

Что касается практического опыта эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах, то по большей части они по всем аспектам, включая углеродоемкость, провальны. Ядерные гиганты японский Монжу и французский Суперфеникс произвели так мало электричества, что их углеродоемкость должна быть очень высокой. Реактор Монжу проработал 205 дней после подключения к сети в августе 1995 года и еще 45 дней в 2010 году; все остальное время он был отключен из-за утечки натрия и пожара в 1996 году и аварии 2010 года, когда 3,3-тонный механизм перезагрузки топлива провалился в корпус реактора.²⁰ Коэффициент использования мощности реактора Суперфеникс составлял всего 7%, что делает его одним из самых непроизводительных реакторов в истории.²¹

3. Ядерная энергия – медленная реакция на срочную проблему

В качестве меры срочного реагирования на необходимость быстро сократить выбросы парниковых газов развитие ядерной энергетики неосуществимо. В результате 20-летней стагнации ядерная индустрия не способна быстро расширить энергогенерирующие мощности. Ограничивающими факторами служат «узкие места» в секторе изготовления реакторов, сокращение и старение рабочей силы, а также значительное время, необходимое на то, чтобы построить энергоблок и вернуть средства, потраченные на его строительство.

Одним из ограничений является значительное время, необходимое для строительства реактора. В «Отчете о состоянии мировой ядерной индустрии» за 2014 год отмечается, что средняя продолжительность строительства последних 37 реакторов составляет 10 лет и что по крайней мере 49 реакторов

из 67, значащихся в списке строящихся, сталкиваются с задержками строительства.²²

Разработка новых типов реакторов – даже тех, которые представляют собой лишь модифицированные версии старых технологий, – еще больше задерживает строительство и применение ядерных энергоустановок. Например, строительство реактора типа EPR в Финляндии отстает от графика на 7–9 лет, строительство такого же реактора во Франции – на 5 (и продолжает отставать).²³

В странах, строящих свой первый реактор, ядерная энергетика еще медленнее. МАГАТЭ предлагает поэтапный подход к созданию ядерной инфраструктуры в новых странах, рассчитанный на 11–20 лет: предпроектный этап (1–3 года), этап принятия решений (3–7 лет) и этап строительства (7–10 лет).²⁴

Французское управление по ядерной безопасности (ASN) утверждает, что начальное развитие ядерной энергетики требует как минимум 10-15 лет на то, чтобы развить навыки безопасности и контроля и создать законодательную базу, - и эти 10-15 лет предшествуют началу строительства реактора. Даже при стремительном прогрессе, по подсчетам ASN, требуется как минимум 15-летний период освоения, прежде чем новая атомная станция может появиться в стране, где еще нет необходимой инфраструктуры.²⁴

В дополнение ко времени строительства реактора, пройдет еще несколько лет, прежде чем реактор выработает столько энергии, сколько было затрачено на его строительство. «Время энергетической окупаемости ядерной энергии составляет около 68 лет для реакторов легкой воды и 7 лет для реакторов тяжелой воды, а точнее в пределах 5,6–14,1 и 6,4–12,4 лет соответственно», – говорится в одном из исследований.²⁵

Для сравнения: время строительства установок, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), обычно составляет месяцы, а не годы, так же как и время их энергетической окупаемости.

Другим препятствием являются «узкие места» в секторе по производству реакторов. Шэрон Скуассони (Sharon Squassoni) в своей работе 2009 года писала:

«Значительное развитие сузит «узкие места» в глобальной цепочке поставок, которая сегодня

включает сверхтяжелую ковку, промышленное производство крупных компонентов, проектирование и машиностроение, профессиональных и опытных строителей. Все эти ограничения усугубляются недостатком свежего опыта строительства и старением рабочей силы. И хотя это может не составлять проблемы для умеренного развития, это определенно создаст трудности для увеличения ядерных мощностей вдвое или втрое».²⁶

Еще одно ограничивающая тенденция – старение рабочей силы ядерной промышленности.²⁷ В Великобритании, например, как показывает недавний правительственный доклад, коэффициент сокращения стареющего персонала ядерного сектора за счет выхода на пенсию настолько «высок и растет», что в течение следующих шести лет потребуется более 8000 новых сотрудников в год, если страна захочет реализовать свой амбициозный план строительства новых реакторов.²⁸ Кроме того, сократилось число исследовательских институтов и обучающих программ.

Значительное развитие ядерной энергетики теоретически возможно с средне- или долгосрочной перспективе. Однако препятствием может стать истощение запасов урана. По данным Всемирной ядерной ассоциации, разведанных запасов урана в мире (5,9 миллионов тонн) хватит примерно на 90 лет при нынешнем уровне потребления 66 тысяч урана в год.²⁹

4. Ядерная энергия и изменение климата

Страны и регионы с высокой зависимостью от ядерной энергии также имеют тенденцию к высоким объемам выбросов парниковых газов. Например, В США действуют 99 реакторов общей мощностью 98,8 ГВт (26% ядерных мощностей в мире), которые производят более 19% электричества в стране. При этом США – один из крупнейших эмиттеров парниковых газов в мире как на душу населения, так и по общему объему.

Некоторые страны планируют заменить станции на ископаемых источниках атомными для того,

чтобы увеличить экспорт ископаемого топлива. В таких случаях любое потенциальное преимущество ядерной энергии для смягчения изменения климата исчезает. В 2010 году «Всемирные ядерные новости» писали, что Венесуэла, Россия и некоторые страны Среднего востока, такие как ОАЭ и Иран, предпочли бы экспортовать нефть и газ, нежели использовать их для местной энергогенерации.³⁰ Саудовская Аравия пополнила список стран, планирующих строить атомные станции для увеличения экспорта ископаемого топлива.³¹

5. Изменение климата и ядерные риски

Атомные станции уязвимы к рискам, которые обостряются из-за изменения климата, что подробно рассматривается в выпуске «Ядерного монитора» №770.³²

В отчете Департамента энергетики США 2013 года упоминается ряд взаимосвязей между изменением климата и энергетикой.³³ Они включают:

- Увеличение риска отключений на теплоэнергетических станциях (угольных, газовых, атомных)

из-за сокращения доступных запасов воды, необходимых для охлаждения;

- Повышение риска для объектов энергетической инфраструктуры, расположенных в прибрежной зоне, из-за повышения уровня моря, интенсивности штормов и наводнений;

- Перебои в поставках топлива во время сильных штормов;



- Нарушения в работе энергетических станций из-за засух;

- Рост риска физического повреждения линий энергопередач, трансформаторов и систем распределения энергии от учащающихся и усиливающихся ураганов, бурь и пожаров.

В нижней части спектра рисков – множество примеров атомных станций, которые работают не в полную мощность или временно останавливаются из-за нехватки воды или повышенной температуры воды (что может повредить систему охлаждения реактора и/или повлечь гибель рыбы и другие проблемы из-за сброса тепла в водные источники). В некоторых странах реакторы вынужденно останавливаются во время тепловых волн, когда они особенно нужны. Например, Франция в 2009 году, когда ей пришлось снизить производительность своих ядерных мощностей почти на треть, чтобы избежать превышения ограничений по тепловым выбросам, была вынуждена покупать энергию у Великобритании.³⁴

В верхней части спектра рисков серьезную опасность представляют угрозы, связанные с изменением климата, такие как ураганы и бури, из-за которых отключаются энергосети и системы охлаждения реакторов остаются в зависимости от генераторов. Примером такого вида риска является авария, произошедшая в 2004 году в Германии. Оба энергоблока станции Библис (А и В) работали, когда сильная буря вывела из строя линии электропередачи. Из-за не-

правильно установленного электрического выключателя и неисправного датчика давления, мощность турбина энергоблока В не снизилась, как положено, с 1300 до 60 мегаватт. Вместо этого произошла быстрая остановка реактора. Быстрое выключение реактора, который уже не получал энергию из отключившейся электросети, привело к запуску четырех аварийных дизельных генераторов. Также включился еще один аварийный источник энергии, но, из-за неисправности с выключателем, одна из линий не работала. Эти линии должны были обеспечивать подачу энергии с Библиса-В на Библис-А в том случае, если последний тоже останется без энергообеспечения. Результатом стала частичная блокировка аварийной передачи энергии с блока В на блок А в течение двух часов.³⁵

«Водные войны» – в частности, разногласия по поводу распределения все более дефицитных водных ресурсов между производством энергии и сельским хозяйством – учащаются и обостряются в связи с изменением климата. Ядерные реакторы потребляют огромное количество воды – обычно от 36,3 до 65,4 миллионов литров на реактор в день – в первую очередь на охлаждение реактора.³⁶

На многих АЭС в разных странах создают проблемы нашествия медуз.³⁷ Вылов питающихся медузами хищных видов рыб и глобальное изменение климата способствуют росту популяций медуз. Монти Грэхэм (Monty Graham), соавтор исследования по сверхраз-

множению медуз, опубликованном в сборнике трудов национальной академии наук США (PNAS), возлагает вину на изменение климата, чрезмерный вылов рыбы и нитрификацию океанов сельскохозяйственными стоками.³⁸

Союз обеспокоенных ученых в отчете 2013 года утверждает: «Низкоуглеродная энергетика не обязательно характеризуется разумным водопользованием. Структура производства электричества, которая зависит от угольных станций с улавливанием и хранением углерода, ядерной энергии и даже водоохлаждаемых станций на ВИЭ: биомассе, геотермальных, концентрирующих солнечных, может скорее ухудшить, чем улучшить влияние сектора на водные ресурсы. А вот ВИЭ плюс энергоэффективность могут быть выигрышной комбинацией. Этот сценарий может быть наиболее эффективным для снижения углеродных выбросов, нагрузки на водные ресурсы и стоимости электричества. Усилия по повышению энергоэффективности способны перекрыть прирост спроса на электричество в США, а возобновляемая энергия могла бы обеспечивать 80% остающихся потребностей».³⁹

В Отчете REN21 о состоянии ВИЭ в 2015 году говорится: «Все энергетические системы восприимчивы к климатическим изменениям и крайностям. Например, снижение уровня воды и засухи могут приводить к отключению атомных теплоэлектростанций, которые зависят от водяных систем охлаждения. Периоды засухи, перемежающиеся с наводнениями, могут изменить характер размываний и отложений, что скажется на скорости роста биомассы и качестве и количестве потенциально выпускаемого топлива. Таяние айсбергов, в том числе в связи с ростом температуры, может оказать негативное воздействие на гидроэнергетические системы, вызывая повреждения инфраструктуры из-за наводнений и залияния, а также влияя на производи-

тельность. Эффективность солнечных фотоэлектрических панелей уменьшается при высоких температурах и скоплении пыли, и большинство нынешних ветровых турбин отключаются при скорости ветра выше 100-120 км в час».

«Типичные меры по уменьшению уязвимости системы включают укрепление существующей инфраструктуры (в частности, опор и линий электропередачи), резервирование критических систем, строительство дамб вокруг электростанций, сокращение потребности станций в воде для охлаждения, хранение больших запасов топлива при станциях. Более инновационные стратегии предусматривают местную генерацию и хранение энергии, диверсификацию энергетических источников, использование комбинации «умных» сетей и технологий, повышение возможностей центральной энергосети соединять и разъединять индивидуальные системы во время чрезвычайных ситуаций».

«Хотя энергетические системы на возобновляемых источниках также уязвимы к изменениям климата, у них есть уникальные качества, которые делают их пригодными как для укрепления гибкости более широкой энергетической инфраструктуры, так и для обеспечения энергоснабжения при изменяющихся климатических условиях. Модульность системы, распределенное размещение, доступность и разнообразие местных источников энергии – центральные компоненты устойчивой энергетической системы – это ключевые характеристики большинства энергосистем на возобновляемых источниках. В конечном счете, системы на возобновляемых источниках улучшают устойчивость обычных энергосистем, как индивидуально, так и благодаря их коллективному вкладу в более разнообразный и распределенный спектр источников».⁴⁰

6. Распространение ядерного оружия и ядерная зима

Гражданские ядерные программы служат ширмой для множества секретных военных программ, и рост ядерной энергетики будет усугублять эту проблему. Ядерное столкновение – даже локализованная ядерная война с применением малой толики глобального арсенала – потенциально способно вызвать катастрофическое изменение климата.

Глобальное развитие ядерной энергетики неизбежно вызовет к накоплению и распространению делящихся материалов, пригодных для создания оружия, и предприятий для их производства (обогатительных заводов для высокообогащенного урана, реакторов и перерабатывающих заводов – для плутония). Глобальное распространение ядерной энергетики приведет к расширению списка стран,

которые способны к быстрому созданию оружия с привлечением экспертов, предприятий и материалов своих «гражданских» ядерных программ.

Бывший вице-президент США Эль Гор точно сформулировал проблему: «На протяжении восьми лет в Белом доме каждый случай распространения ядерного оружия, с которым нам приходилось сталкиваться, был связан с гражданской ядерной программой. И если бы нам когда-нибудь пришло в голову использовать ядерные реакторы, чтобы отказаться от угля, [...] нам бы пришлось разместить их в таком количестве мест, что мы вывели бы этот риск распространения [ядерного оружия] далеко за пределы допустимого».⁴¹

Вывод риск распространения ядерного оружия за



пределы допустимого возвращает нас к изменению климата – эту связь объясняет Аллан Робок (Alan Robock) в «Бюллетене ученых-атомщиков»:

«Согласно недавнему исследованию, теперь мы понимаем, что влияние ядерной войны на атмосферу будет длиться как минимум десять лет, и это с лихвой доказывает правильность теории 1980-х о ядерной зиме. По нашим расчетам, региональная ядерная война между Индией и Пакистаном при использовании менее 0,3% нынешнего мирового арсенала произведет беспрецедентное в известной человеческой истории изменение климата и уменьшение озонового слоя, равное по размеру существующей сейчас озоновой дыре, только распределенное повсеместно».⁴²

Распространение ядерной энергетики также увеличит вероятность наличия ядерных материалов для создания радиоактивной «грязной бомбы». А это увеличит число потенциальных объектов террористических атак или военных конфликтов между государствами-национациями (таких как повторяющиеся вооруженные столкновения и попытки ударов по ядерным объектам на Среднем востоке).

В докладе Национального разведывательного совета США за 2008 год утверждается, что «распространение ядерных технологий и знаний вызывает опасения в связи с потенциальным появлением новых государств, обладающих ядерным оружием, и приобретением ядерных материалов террористическими группами».⁴³

Еще в 1946 году изданный государственным департаментом США доклад Ачесона-Лилиенталя обозначил неустранимые проблемы:

«Мы пришли к единодушному выводу, что нет никаких шансов на гарантию от атомной войны в системе международных договоров, запрещающих такое оружие, которая контролируется системой, опирающейся на инспектирование и сходные полицейские методы. Основаниями для такого вывода являются не только технические, но в первую очередь неотделимые политические, социальные и организационные проблемы, связанные с заключением обязательных договоренностей между государствами, каждое из которых свободно развивать атомную энергию и только обещает не использовать ее для бомб. Соперничество государств в развитии атомной энергетики, без труда приспособляемой под разрушительные цели составляет суть проблемы».⁴⁴

Делящиеся материалы

Отчет, подготовленный в мае 2015 года для Международной комиссии по делящимся материалам Зией Мианом (Zia Mian) и Александром Глэйзером (Alexander Glaser), представляет данные по запасам делящихся материалов. В конце 2013 года запасы гражданского назначения содержали 57070 эквивалента боеголовок: 61 тонну высокообогащенного урана (4070 боеголовок) и 267 тонн (выделенного) плутония (53 тысячи боеголовок).⁴⁵ Цифры будут гораздо большими, если учитывать плутоний, содержащийся в отработавшем топливе.

Харольд Фейвисон (Harold Feiveson) подсчитал, что с увеличением ядерных мощностей до 3500 ГВт (относительно 380 ГВт на июнь 2015 года) ежегодно

будет производиться около 700 тонн плутония.⁴⁶ Этого количества плутония хватит для создания 70 тысяч ядерных боеголовок, а при среднем сроке эксплуатации реактора равном 40 годам накопленного плутония хватит для создания 2,8 миллионов боеголовок.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата также представила сценарий, где ядерные мощности увеличиваются до примерно 3300 ГВт в 2100 году и запасы накопленного плутония вырастают до 50-100 тысяч тонн (МГЭИК, 1995). Этого количества плутония хватит для создания 5-10 миллионов ядерных боеголовок.⁴⁷

Проблема еще серьезнее благодаря практике накопления плутония. Накопление плутония Японией, например, очевидно усугубляет риски и напряженность в Северо-восточной Азии. В дипломатических сообщениях 1993 и 1994 годов от американских послов в Токио подвергается сомнению разумное объяснение накопления такого большого количества плутония. Сообщение от 1993 года содержит такие вопросы: «Может ли Япония ожидать, что, если она приступит к реализации программы по массовой переработке плутония, Корея и другие страны не

начнут срочно развивать программы по переработке? Не создаст ли ощущение, что Япония по уши в плутонии и владеет передовой ракетной техникой, беспокойства в регионе?»⁴⁸

В отчете Международной комиссии по делящимся материалам (IPFM) 2007 года говорится:

«Даже умеренное распространение ядерной энергетики сопровождалось бы значительным увеличением ряда стран, владеющих атомными реакторами. Некоторые из этих стран хотели бы также иметь предприятия по обогащению урана центрифугированием. Такие заводы могут быть быстро конверсированы под производство высокообогащенного оружейного урана. Таким образом, необходимо найти международные альтернативы распространению национальных обогатительных заводов».

«Если бы крупномасштабное распространение ядерной энергетики сопровождалось переходом на переработку и повторное использование плутония в быстрых реакторах на легкой воде, это привело бы к ежегодному движению тысяч тонн выделенного плутония – достаточно для производства 100 тысяч атомных бомб».⁴⁹

7. Возобновляемые источники энергии и энергоэффективность

Отчет REN21 о состоянии ВИЭ в 2015 году подробно рассматривает выдающийся рост возобновляемой энергетики в течение последнего десятилетия.⁵⁰ Возобновляемая энергетика обеспечивала 19,1% потребления конечной энергии в мире в 2013 году, и рост мощностей и производства продолжился в 2014. Стабильно росло производство тепловой энергии, увеличилось производство биотоплива для транспорта. Самый стремительный рост, и наибольшее увеличение мощности, произошел в секторе производства электричества, в первую очередь за счет ветро-, гидроэнергетики и солнечного фотоэлектричества. На долю возобновляемых источников энергии в 2014 году приходилось примерно 59% всех добавленных энергомощностей в мире, причем значительный рост отмечался во всех регионах мира.

Возобновляемые мощности в мире – не считая гидроэнергии – выросли в 8 раз с 85 ГВт в 2004 году до 657 ГВт в 2014. Солнечные электрические мощности растут с феноменальной скоростью, с 2,6 ГВт в 2004 до 177 ГВт в 2014 году. Ветровые мощности за этот же период времени возросли с 48 ГВт до 370 ГВт. Возобновляемые энергомощности в мире – с учетом гидроэнергии – выросли более чем вдвое с 800 ГВт в 2004 до 1712 ГВт в 2014 году (составляя 27,7% генерирующих мощностей в мире в 2014 году).

В 2014 году общие установленные возобновляемые мощности (включая гидроэнергию) выросли

на 8,5%, а ядерные – на 0,6%. Гидроэнергетические мощности увеличились на 3,6%, в то время как все остальные виды возобновляемой энергии вместе – почти на 18%.

Ядерная энергия, в отличие от возобновляемой, на протяжении последних двух десятилетий находится в состоянии застоя. Ядерные мощности составляли 365 ГВт в 2004 и 376 ГВт в 2014 году, а количество реакторов за этот период сократилось с 443 до 439.⁵¹

1712 ГВт возобновляемых мощностей (включая гидро-) в 4,6 раза превосходят 376 ГВт ядерных мощностей. Правда, коэффициент мощности некоторых видов ВИЭ (например, фотоэлектричества и ветра) ниже, чем у ядерных установок, так как же выглядит в цифрах сравнение в производстве электричества? Согласно отчету REN21, на конец 2014 года ВИЭ (включая гидро-) обеспечивали 22,8% электричества в мире (гидроэнергия – 16,6% и остальные ВИЭ – 6,2%). Доля ядерной энергии составляла 10,8%⁵² – меньше половины электричества, произведенного за счет ВИЭ, и эта разрыв увеличивается.

Количество рабочих мест в сфере ВИЭ также стремительно растет, и сейчас по всему миру в секторе занято 7,7 миллионов человек.

В докладе REN21 отмечается, что ростом ВИЭ движет снижение стоимости и что «во многих

странах ВИЭ составляют заметную конкуренцию традиционным источникам энергии». Далее, «рост возобновляемой энергетики (и улучшение энергоэффективности) по-прежнему ограничивается субсидированием ископаемого топлива и ядерной энергии, особенно в развивающихся странах».

Заслуживает упоминания один из заключительных выводов доклада REN21: «Несмотря на рост потребления энергии, впервые за 40 лет выбросы парниковых газов, связанные с потреблением энергии, в 2014 году остались на прежнем уровне на фоне роста глобальной экономики; эта стабилизация объясняется распространением возобновляемой энергетики и повышением энергоэффективности».

Резкое сокращение

ВИЭ оставляют ядерную энергию позади. Но соответствует ли траектория роста ВИЭ резкому сокращению выбросов парниковых газов, необходимому для предотвращения катастрофических изменений климата? Краткий ответ: нет.

Могли бы ВИЭ заменить основную часть ископаемого топлива при наличии политической воли для своршения такой трансформации? Или необходимо участие в этом также и ядерной энергии? Все большее количество исследований изучает потенциал ВИЭ полностью или в значительной степени

заместить ископаемые источники для производства энергии во всем мире.⁵³

В частности, интерес представляют:

- страны с большим количеством реакторов – более 50 реакторов есть только во Франции (58) и США (99);
- страны с высокой зависимостью от ядерной энергии (например, ядерная энергия обеспечивает около 75% электричества во Франции);
- страны с очень большим или растущим населением и растущим потреблением энергии (например Китай и Индия).

США: Служба информации и ресурсов по ядерной энергетике (NIRS) ведет список докладов, в которых представлен потенциал производства электричества за счет ВИЭ для США (и Европы).⁵⁴

Франция: Согласно недавнему отчету ADEME, французского правительственно агентства при министерствах экологии и образования, обеспечение 100% электричества за счет ВИЭ во Франции к 2050 году экономически осуществимо и доступно.⁵⁵ Предложенный докладом идеальный 100%-возобновляемый энергетический баланс составляет: 63% от ветра, 17% от солнца, 13% от гидро- и 7% от возобновляемых термальных источников (включая геотермальные). Согласно представленным в отчете





расчетам, стоимость производства электричества (сейчас в среднем составляющая 91 евро за МВт·ч) составит 119 евро за МВт·ч при полностью возобновляемом сценарии и очень близкие 117 евро за МВт·ч при 50% от ядерной энергии, 40% от ВИЭ и 10% от ископаемых источников.

Китай: Согласно отчету китайского Национального центра возобновляемой энергии 2015 года, Китай мог бы к 2050 году производить 85% электричества и 60% всей энергии с помощью ВИЭ.⁵⁶

Индия: Подробный отчет, подготовленный в 2013 году WWF-Индия и Институтом энергетики и ресурсов, показывает, как Индия могла бы к 2050 году производить все 90% всей первичной энергии от ВИЭ.⁵⁷ В исследовании предлагается и оценивается возможный путь развития, предусматривающий широкое применение ВИЭ – особенно солнечных, ветровых и водных – для производства электричества, а также производство биотоплива второго поколения и на основе водорослей для транспортного сектора».

Два столпа: энергоэффективность и ВИЭ

Изданный в июне 2015 года доклад Международного энергетического агентства (МЭА) сравнивает сценарий «Вклады» (INDC), основанный на так называемых «предполагаемых национально определяемых вкладах», которые (некоторые) страны уже представили в рамках подготовки к конференции Рамочной конвенции ООН по изменению климата в декабре 2015 года, с более амбициозным сценарием «Мост».⁵⁸ В этом последнем энергоэффективность выполняет большую часть трудной задачи по сокращению выбросов парниковых газов: 49% сокращений к 2030 приходится на долю энергоэффективности, 17% - на долю ВИЭ, 15% - на долю сокращения выбросов метана, 10% - за счет реформы субсидий ископаемого топлива и 9% - за счет сокращения неэффективного использования угля.⁵⁹

По сценарию «Мост» отчета МЭА 60% новых мощностей между 2015 и 2030 годами составляют ВИЭ (23% ветер, 17% солнечное фотоэлектричество, 14% гидроэнергетика, 6% другие виды ВИЭ) при лишь 6% ядерных мощностей и 34% ископаемых.⁶⁰

При этом сценарии в 2030 году 13% глобальных энергомощностей составляют ядерные, то есть почти втрое меньше, чем ВИЭ, на долю которых приходится 37% (гидроэнергетика 18%, ветер 9%, солнечное фотоэлектричество 4%, биоэнергетика 4%, геотермия 1%, и концентрированная солнечная энергия 1%).

В «Обзоре мировой энергетики» МЭА за 2014 год рассматривается сценарий, предусматривающий умеренные усилия по сокращениям выбросов. Согласно этому сценарию, если бы не совокупный результат мер по энергоэффективности, к 2040 году потребность в нефти повысилась бы на 22%, в

газе – на 17%, в угле – на 15%.⁶¹ В докладе говорится: «Помимо сокращения использования энергии, энергоэффективность снижает стоимость энергии, улучшает торговый баланс и сокращает выбросы CO₂. Усовершенствованная сравнению с нынешней энергоэффективность по к 2040 году снижает расходы на импорт нефти и газа для пяти крупных энергоимпортирующих регионов почти на триллион долларов».

Доклад REN21 называет ВИЭ и энергоэффективность двумя столпами устойчивой энергетики будущего – эффект их совместного применения превышает сумму результатов применения каждого в отдельности и позволяет находить решения, в противном случае технически или экономически недоступные. Доклад приводит такие примеры совокупного эффекта:

- Совокупный эффект усовершенствования системы. Энергоэффективные строительные технологии и проектные решения в комбинации с выработкой энергии от возобновляемых источников на местах сокращают конечную потребность в энергии, перегруженность и потери в энергосети, а также финансовые и энергетические затраты, связанные с транспортировкой топлива.

- Совокупный эффект увеличения доли ВИЭ в энергобалансе. Повышение энергоэффективности и увеличение использования ВИЭ на местах сокращает потребление первичной энергии. Со снижением потребностей в конечной энергии возрастает вероятность, что ВИЭ с низкой плотностью энергии смогут полностью обеспечить потребности энергоснабжения. Цели по увеличению доли ВИЭ в общем энергопотреблении могут быть достигнуты как через увеличение количества возобновляемой энергии, так и через сокращение общего энергопотребления.

- Совокупный эффект для увеличения инвестиций в ВИЭ и энергоэффективность. Повышение эффективности конечного энергопотребления сокращает стоимость передачи конечной возобновляемой энергии, а средства, сэкономленные благодаря эффективности, могут быть направлены на дальнейшие усовершенствования в области энергоэффективности и/или применения технологий возобновляемой энергетики. Эти совокупные эффекты существуют во многих секторах, от зданий и электропроводки до транспорта и промышленности.

В 2011 году ученыe Кембриджского университета пришел к заключению, что потребление энергии в мире можно было бы сократить на 73% с помощью мер энергоэффективности и экономии энергии.⁶² Джулianne Олвуд (Julian Allwood), один из авторов исследования, отметил: «По нашему мнению, весьма маловероятно, чтобы нам удалось найти хороший ответ на угрозу изменения климата только со стороны энергообеспечения. Но если нам удастся серьезно сократить нашей потребности в энергии, тогда все варианты выглядят более реалистично».⁶³

Список источников:

1. Quoted in Geoffrey Lean, 27 June 2004, Nuclear power ‘can’t stop climate change’, The Independent, www.independent.co.uk/environment/nuclear-power-can-t-stop-climate-change-44804.html
2. Electricity plus heat account for 25% of emissions. IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC, p.9, www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf
3. The basis for the calculation is as follows: Ian Hore-Lacey from the World Nuclear Association claims that doubling nuclear power would reduce greenhouse emissions from the power sector by 25%, and the power sector accounts for less than 25% of total emissions. Ian Hore-Lacy, 4 May 2006, ‘Nuclear wagon gathers steam’, Courier Mail
4. International Energy Agency, 2014, ‘World Economic Outlook 2014’, www.worldenergyoutlook.org
5. International Panel on Fissile Materials, 2007, ‘Global Fissile Material Report 2007’, Chapter 7, <http://fissilematerials.org/library/gfmr07.pdf>
6. Tae Joon Lee, Kyung Hee Lee, and Keun-Bae Oh, ‘Strategic Environments for Nuclear Energy Innovation in the Next Half Century’, Progress in Nuclear Energy, Vol. 49 (2007), p.399 (pp.397–408), www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149197007000467. Cited in Moeed Yusuf, Nov 2008, ‘Does Nuclear Energy Have a Future’, Boston University, fn.54, www.bu.edu/pardee/files/documents/Pardee-Nuclear-Yusuf.pdf
7. Benjamin Sovacool, 2008, ‘Nuclear power: False climate change prophet?’, http://scitizen.com/future-energies/nuclear-power-false-climate-change-prophet-_a-14-2136.html
8. Benjamin K. Sovacool, Aug 2008, ‘Valuing the Greenhouse Gas Emissions from Nuclear Power: A Critical Survey’, Energy Policy 36 (8), pp.2940-2953, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508001997 www.nirs.org/climate/background/sovacool_nuclear_ghg.pdf
9. Benjamin K. Sovacool, 11 Dec 2009, ‘Nuclear Energy and Renewable Power: Which is the Best Climate Change Mitigation Option’, Nuclear Monitor #699, www.wiseinternational.org/sites/default/files/images/NM699.pdf
10. Manfred Lenzen, 2009, ‘Current state of development of electricity-generating technologies – a literature review’, <http://web.archive.org/web/20140124203606/http://aua.org.au/Content/Lenzenreport.aspx>
11. CRU Group, 2009, ‘Next generation uranium – at what cost?’, <http://web.archive.org/web/20101121115919/http://crugroup.com/Documents/UraniumPressRelease2009Sep23.pdf>
12. Ethan S. Warner and Garvin A. Heath, April 2012, ‘Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Electricity Generation: Systematic Review and Harmonization’, Journal of Industrial Ecology, Vol. 16, Issue Supplement s1, pp.S73–S92, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2012.00472.x/full>
13. Mark Diesendorf, 2005, ABC ‘Ask an Expert’, www.abc.net.au/science/expert/realexpert/nuclearpower/03.htm
14. Keith Barnham, 5 Feb 2015, ‘False solution: Nuclear power is not ‘low carbon’’, www.theecologist.org/News/news_analysis/2736691/false_solution_nuclear_power_is_not_low_carbon.html
15. German Environment Ministry, March 2006, ‘Atomkraft: Ein teurer Irrweg. Die Mythen der Atomwirtschaft’ www.gen-4.org/gif/jcms/c_9260/public
16. Peter Rickwood and Peter Kaiser, 1 March 2013, ‘Fast Reactors Provide Sustainable Nuclear Power for “Thousands of Years”’, www.iaea.org/newscenter/news/2013/fastreactors.html
17. Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety, 2015, ‘Review of Generation IV Nuclear Energy Systems’, www.irsn.fr/EN/newsroom/News/Pages/20150427_Generation-IV-nuclear-energy-systems-safety-potential-overview.aspx
18. World Nuclear Association, 15 Dec 2009, ‘Fast moves? Not exactly...’, www.world-nuclear-news.org/NN_France_puts_into_future_nuclear_1512091.html
19. www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Japan/ https://en.wikipedia.org/wiki/Monju_Nuclear_Power_Plant#Monju_sodium_leak_and_fire
20. Mycle Schneider, 2009, ‘Fast Breeder Reactors in France’, Science and Global Security, 17:36–53, www.princeton.edu/sgs/publications/sgs/archive/17-1-Schneider-FBR-France.pdf
21. World Nuclear Industry Status Report 2014, www.worldnuclearreport.org/-2014-.html
22. Jim Green and Oliver Tickell, 15 May 2015, ‘Finland cancels Olkiluoto 4 nuclear reactor - is the EPR finished?’, The Ecologist, www.theecologist.org/News/news_analysis/2859924/finland_cancels_olkiluoto_4_nuclear_reactor_is_the_epr_finished.html
23. World Nuclear Association, June 2015, ‘Emerging Nuclear Energy Countries’, world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Others/Emerging-Nuclear-Energy-Countries/
24. University of Sydney / Integrated Sustainability Analysis, 2006, ‘Life-cycle energy balance and greenhouse gas emissions of nuclear energy in Australia’, A study undertaken for the Department of Prime Minister and Cabinet of the Australian Government, http://pandora.nla.gov.au/pan/66043/20061201-0000/www.dpmc.gov.au/umpner/docs/commissioned/ISA_report.pdf
25. Sharon Squassoni, 2009, ‘Nuclear Energy: Rebirth or Resuscitation?’, Carnegie Endowment Report, http://carnegieendowment.org/files/nuclear_energy_rebirth_resuscitation.pdf
26. Sylvia Westall, 29 Nov 2010, ‘Nuclear’s ‘silver tsunami’’, www.reuters.com/article/2010/11/29/us-nuclear-ageing-idUSTRE6AS1PQ20101129
27. HM Government, 2015, ‘Sustaining Our Nuclear Skills’, www.nsan.co.uk/system/files/Sustaining%20Our%20Nuclear%20Skills%20FINAL.pdf
28. World Nuclear Association, 8 Oct 2014, ‘Supply of Uranium’, www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Uranium-Resources/Supply-of-Uranium/
29. World Nuclear News, 11 Nov 2010, ‘Venezuela puts nuclear over oil’, www.world-nuclear-news.org/NN_Venezuelas_puts_nuclear_over_oil_1111101.html
30. Nick Butler, 7 April 2014, ‘The Risks of a Nuclear Saudi Arabia’, <http://blogs.ft.com/nick-butler/2014/04/07/the-risks-of-a-nuclear-saudi-arabia/>
31. Nuclear Monitor #770, 24 Oct 2013, ‘Feature: Water & The Nuclear Fuel Cycle’, www.wiseinternational.org/nuclear-monitor/770/770-24-october-2013
32. Department of Energy, July 2013, ‘U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather’, <http://energy.gov/downloads/us-energy-sector-vulnerabilities-climate-change-and-extreme-weather>
33. Robert Krier, 15 Aug 2012, ‘Extreme Heat, Drought Show Vulnerability of Nuclear Power Plants’, InsideClimate News, <http://insideclimatenews.org/news/20120815/nuclear-power-plants-energy-nrc-drought-weather-heat-water>
34. Helmut Hirsch, Oda Becker, Mycle Schneider and Antony Froggatt, April 2005, ‘Nuclear Reactor Hazards: Ongoing Dangers of Operating Nuclear Technology in the 21st Century’, Report prepared for Greenpeace International, www.greenpeace.org/international/press/reports/nuclearreactorhazards
35. ‘How much water does a nuclear power plant consume?’, Nuclear Monitor #770, 24 Oct 2013, www.wiseinternational.org/nuclear-monitor/770/how-much-water-does-nuclear-power-plant-consume
36. www.wiseinternational.org/nuclear-monitor/770/jellyfish-shut-down-swedish-nuclear-plant
37. Glenda Kwek, 11 July 2011, ‘Jellyfish force shutdown of power plants’, www.theage.com.au/environment/jellyfish-force-shutdown-of-power-plants-20110711-1haa6.html
38. Union of Concerned Scientists, July 2013, ‘Water-Smart Power: Strengthening the U.S. Electricity System in a Warming World’, www.ucsusa.org/our-work/energy/our-energy-choices/our-energy-choices-energy-and-water-use
39. REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), 2015, ‘Renewables 2015: Global Status Report’, www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report
40. Quoted in David Roberts, 9 May 2006, ‘An interview with accidental movie star Al Gore’, <http://grist.org/article/roberts2/>
41. Alan Robock, 14 Aug 2008, ‘We should really worry about nuclear winter’, The Bulletin of the Atomic Scientists, <http://thebulletin.org/has-time-come-geoengineering/we-should-really-worry-about-nuclear-winter>
42. US National Intelligence Council, 2008, ‘Global Trends 2025 – a Transformed World’, http://web.archive.org/web/20081126005323/http://www.dni.gov/nic/PDF_2025/2025_Global_Trends_Final_Report.pdf
43. Acheson-Lilienthal Report, 16 March 1946, ‘A Report on the International Control of Atomic Energy’, Prepared for the Secretary of State’s Committee on Atomic Energy, Department of State, Publication 2498.
44. Zia Mian and Alexander Glaser, 2015, ‘Global Fissile Material Report 2015: Nuclear Weapon and Fissile Material Stockpiles and Production’, International Panel on Fissile Materials, <http://fissilematerials.org/library/iphm15.pdf>
45. Harold Feiveson, 2001, ‘The Search for Proliferation-Resistant Nuclear Power’, The Journal of the Federation of American Scientists, Volume 54, Number 5, www.fas.org/faspir/2001/v54n5/nuclear.htm
46. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995, ‘Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses’, Contribution of Working Group II to the Second Assessment of the IPCC, R.Watson, M.Zinyowera, R.Moss (eds), Cambridge University Press: UK.
47. Greenpeace, 1 Sept 1999, ‘Confidential diplomatic documents reveal U.S. proliferation concerns over Japan’s plutonium program’, <http://web.archive.org/web/20081114064230/http://archive.greenpeace.org/pressreleases/nuctrans/1999sep1.html>
48. International Panel on Fissile Materials, 2007, ‘Global Fissile Material Report 2007’, Chapter 7, <http://fissilematerials.org/library/gfmr07.pdf>
49. REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), 2015, ‘Renewables 2015: Global Status Report’, www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report
50. International Atomic Energy Agency, ‘Nuclear Power Capacity Trend’, www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendNuclearPowerCapacity.aspx
51. Mycle Schneider, April 2015, World Nuclear Industry Status Report, <http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/082/26159765/1429631468703/20150415MSC-WNISR2014-WUS-Quebec.pdf>

53. Mark Z. Jacobson and Mark A. Delucchi, Nov 2009, 'A Plan to Power 100 Percent of the Planet with Renewables', *Scientific American*, www.scientificamerican.com/article/a-path-to-sustainable-energy-by-2030/
www.scientificamerican.com/article/powering-a-green-planet/

Mark Z. Jacobson and Mark A. Delucchi, July/August 2013, 'Meeting the world's energy needs entirely with wind, water, and solar power', *Bulletin of the Atomic Scientists* 69: pp.30-40, <http://thebulletin.org/2013/julyaugust/meeting-world%E2%80%99s-energy-needs-entirely-wind-water-and-solar-power>

WWF International, Ecofys and the Office for Metropolitan Architecture, 2011, 'The Energy Report: 100% Renewable Energy by 2050', http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions22/renewable_energy/sustainable_energy_report/

Greenpeace International, 'Energy [R]evolution 2012', www.greenpeace.org/international/en/publications/Campaign-reports/Climate-Reports/Energy-Revolution-2012/

A number of other useful reports are listed at the following webpages:

<http://go100re.net/e-library/studies-and-reports/>

www.mng.org.uk/gh/scenarios.htm

<http://go100re.net/e-library/studies-and-reports/> (Global, Europe, America, Asia, Pacific, Others)

54. Nuclear Information & Resource Service, 'Nuclear-Free, Carbon-Free', www.nirs.org/nuclearfreecarbonfree/nuclearfreecarbonfreehome.htm

See also the NIRS 'Alternatives to Nuclear page' resources: www.nirs.org/alternatives/alternativeshome.htm

For European studies see also www.foe.org.au/anti-nuclear/issues/clean-energy/links#3

55. English language summary: Terje Osmundsen, 20 April 2015, www.energypost.eu/french-government-study-95-renewable-power-mix-cheaper-nuclear-gas/ Full report (in French): L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), 2015, 'Vers un mix électrique 100% renouvelable en 2050', www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport100enr_comite.pdf

<http://fr.scribd.com/doc/261245927/le-rapport-100-energies-renouvelables>

56. Article: www.rtcc.org/2015/04/22/chinas-electricity-could-go-85-renewable-by-2050-study/

Report: 'China high renewables 2050 roadmap □ summary', www.scribd.com/doc/262740831/China-high-renewables-2050-roadmap-summary

57. WWF India and The Energy and Resources Institute, 2013, 'The Energy Report □ India 100% Renewable Energy by 2050', www.wwfindia.org/news_facts/?10261

Summary: Emma Fitzpatrick, 17 Jan 2014, 'Even India could reach nearly 100% renewables by 2051', <http://reneweconomy.com.au/2014/even-india-could-reach-nearly-100-renewables-by-2051-2051>

58. International Energy Agency, June 2015, 'World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change', www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo-2015-special-report-energy-climate-change.html

59. Ibid., p.74

60. Ibid., p.155

61. International Energy Agency, 'World Energy Outlook 2014', www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2014

62. Jonathan M. Cullen, Julian M. Allwood, and Edward H. Borgstein, Jan 2011, 'Reducing Energy Demand: What Are the Practical Limits?', *Environmental Science and Technology*, 45 (4), pp 1711–1718, <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es102641n>

63. Helen Knight, 26 Jan 2011, 'Efficiency could cut world energy use over 70 per cent', www.newscientist.com/article/dn20037-efficiency-could-cut-world-energy-use-over-70-per-cent.html

