

# ПЕРСПЕКТИВЫ

для возобновляемой

# ЭНЕРГЕТИКИ

в России

Г.В. Сафонов



**Россия может и должна занять лидирующие позиции в деле развития возобновляемой энергетики. Широкое использование возобновляемых источников энергии будет способствовать экономическому росту, повышению уровня жизни людей и улучшению состояния окружающей среды. Одновременно Россия пойдет по пути предотвращения необратимых изменений мировой климатической системы<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Автор выражает признательность А. О. Кокориной и И. Г. Грицевичу за информационную поддержку и полезные комментарии при подготовке статьи.

## Изменение климата и возобновляемая энергетика

Весной 2007 года вышел в свет Четвертый доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [1]. В нем приведены последние результаты научных исследований в области глобального изменения климата, осуществляемых во многих странах, в том числе и в России.

Выводы доклада крайне тревожны: потепление будет продолжаться, и к 2100 году среднегодовая температура поверхности Земли может возрасти на 5–6 градусов Цельсия, что нанесет глобальной экономике огромный ущерб, размер которого, согласно оценкам известного британского экономиста Н.Стерна, может превысить 20% общемирового валового внутреннего продукта [2].

По мнению ведущих ученых, только принятие срочных и широкомасштабных мер по снижению антропогенных выбросов парниковых газов (прежде всего углекислого газа и метана) позволит замедлить и ослабить климатические изменения. С этой целью в 1997 году был подписан Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Протокол был ратифицирован Россией в ноябре 2004 года и вступил в силу 16 февраля 2005 года.

Мировая экономика медленно, но верно двинулась в новую эпоху – эпоху, когда выбросы углерода в атмосферу будут жестко ограничены, а безуглеродные технологии в энергетике и промышленности получат для развития новые стимулы, и прежде всего финансовые. Возникший еще в конце 1990-х годов углеродный рынок предоставляет огромные инвестиционные возможности для разработки и внедрения таких технологий. Объем этого рынка уже сегодня оценивается в сотни миллиардов долл. США.

Одним из приоритетных направлений в борьбе с изменением климата становится развитие возобновляемых источников энергии. В отличие от сжигания ископаемого топлива (уголь, газ, нефтепродукты) производство энергии с использованием возобновляемых источников не приводит к выбросам в атмосферу парниковых газов. Исключение составляет только сжигание биомассы, но и в этом случае выбросы CO<sub>2</sub> в ат-

мосферу считаются климатически нейтральными, так как биомасса в любом случае участвует в естественном круговороте углекислого газа в природе.

По оценкам Международного энергетического агентства [3], после 2020 года ожидается быстрый рост использования отходов биомассы в качестве топлива, а после 2040 года – увеличение объемов специально выращиваемой биомассы. В 2030-х годах можно рассчитывать на расширение спектра возобновляемых источников энергии (геотермальной, приливной и т.п.), специфичных для каждой страны. А пятое десятилетие станет периодом активного использования солнечной энергии для выработки электричества. В сценариях ускоренного технологического развития в первой половине XXI века значительная роль также отводится возобновляемым источникам энергии (рис. 1).

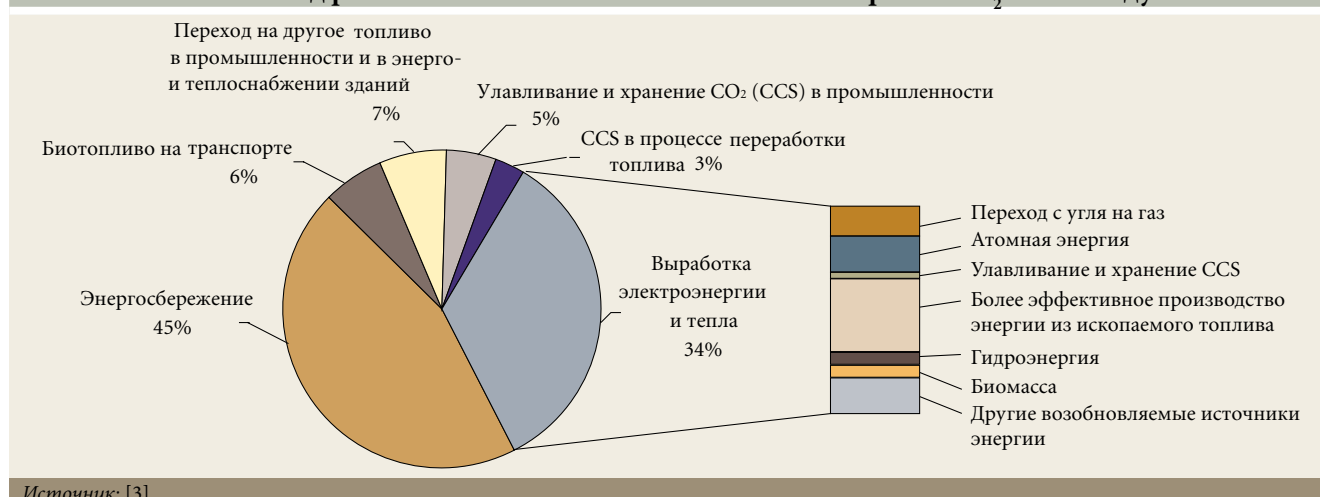
По классификации Международного энергетического агентства, к возобновляемым источникам относятся энергия биомассы, ветра, солнечная, приливная, геотермальная, а также энергия падающей воды, используемая на гидроэлектростанциях различной мощности. С помощью возобновляемых источников вырабатывается электрическая, тепловая и механическая энергия.

Потенциал этих источников на несколько порядков превышает современный уровень потребления энергии в мире, а их преимущества по сравнению с органическим топливом обусловлены их неисчерпаемостью и экологической чистотой производства энергии.

Удельный вес таких источников энергии в мировом топливно-энергетическом балансе сегодня не превышает 1%. Несовершенство технологий и оборудования, отсутствие необходимых конструкционных материалов, высокая капиталоемкость и малая единичная мощность не позволяют широко вовлекать возобновляемые источники в энергетический баланс. Поэтому с практической точки зрения пока возобновляемые источники энергии следует рассматривать не как альтернативу традиционной энергетике, а как дополнительный ресурс, помогающий решать важные энергетические, социально-экономические и экологические задачи.

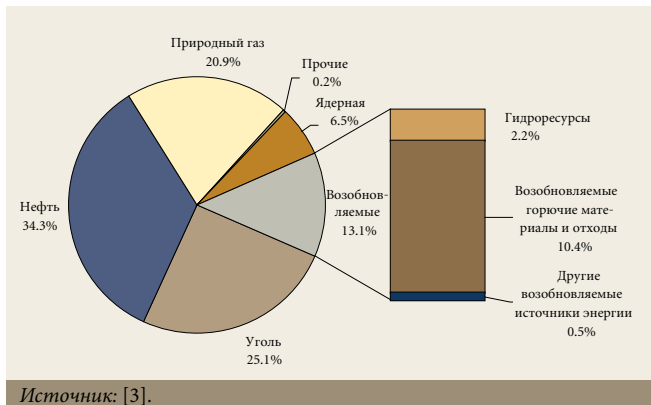
По степени разработанности, распространенности и готовности к коммерческому использованию в ми-

Рис. 1. Вклад различных технологий в снижение выбросов CO<sub>2</sub> к 2050 году



Источник: [3].

Рис. 2. Доли различных видов топлива в общих поставках первичной энергии в мире: 2004



ровой практике возобновляемые источники энергии условно делятся на три группы (поколения):

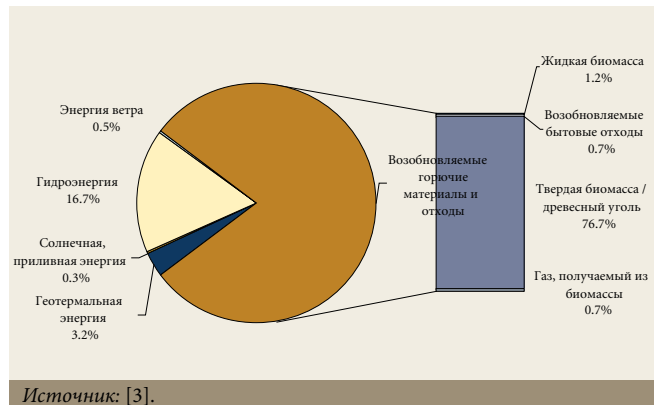
- широко распространенные конкурентоспособные технологии: крупномасштабные гидроэнергетические установки, сжигание древесной биомассы, геотермальные технологии, утилизация свалочного газа, тепловые гелиоустановки, ветроэнергетические установки;
- технологии, готовые к коммерческому использованию, но пока не получившие широкого распространения на рынке: фотоэлектрические установки на кристаллическом кремнии, продвинутые установки по утилизации твердых бытовых отходов, шельфовые ветроэнергетические установки, солнечные концентраторы, биодизельное топливо, биоэтанол из сахарного тростника и соломы, микро- и минигидроэнергетические установки и т. п.;
- технологии, близкие к завершению разработки и имеющие вероятность потенциального коммерческого использования в будущем: тонкопленочные фотоэлектрические устройства, органические фотоэлементы на основе нанотехнологий, продвинутые технологии газификации биомассы, пиролиз биомассы, производство биоэтанола из целлюлозы и т. п.

## Использование возобновляемых источников энергии в мире

По данным Международного энергетического агентства, в 2004 году общие поставки первичной энергии в мире составили 11 059 млн т в нефтяном эквиваленте, из которых 13.1% (1 449 млн т) приходилось на возобновляемые источники энергии. Это значение можно сравнить с долей нефти, составляющей 34.3%, угля – 25.1%, природного газа – 20.9% и ядерной энергии – 6.5% (рис. 2).

Сегодня крупнейшим источником возобновляемой энергии является твердая биомасса. Она занимает 10.1% поставок первичной энергии в мире или 76.7% глобальных поставок возобновляемой энергии (рис. 3). Второй крупный возобновляемый источник – это энергия, вырабатываемая гидроэлектростанциями (2.2% и 16.7% соответственно). Геотермальная энергия служит третьим по значению источником (0.4%

Рис. 3. Доли различных источников в мировых поставках энергии из возобновляемых источников



и 3.2%). Вклад «новых» источников возобновляемой энергии (солнца, ветра и приливов) все еще остается минимальным и не превышает 0.1% мировых поставок первичной энергии.

С 1990 года использование возобновляемых источников энергии росло в среднем на 1.9% в год (рис. 4). При этом использование энергии ветра ежегодно возрастало на 24.4%. Второй по значимости прирост наблюдался для нетвердой биомассы, горючих возобновляемых материалов, возобновляемых городских отходов, биогаза и жидкой биомассы. Этот сегмент в среднем рос на 8.1% в год.

Следует отметить, что в России в 2004 году на долю возобновляемых источников энергии приходилось лишь 2.9% общих поставок первичной энергии – наименьшее значение для крупных стран и регионов (табл. 1). При этом основная часть возобновляемых источников – гидроресурсы.

Мировой опыт последних десятилетий показывает, что невозможно добиться сколько-нибудь заметного прогресса без продуманной государственной стратегии по развитию современных возобновляемых источников энергии, разработке и продвижению эффективных технологий их использования. Такая стратегия должна иметь несколько целевых направлений, на каждом из которых следует применять специфические эффективные инструменты. Нужно сочетать различные подходы: политический, экономический, административный и социальный.

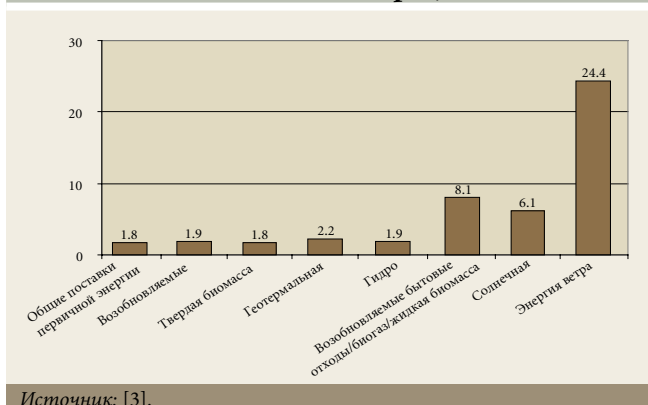
Можно выделить четыре принципиальных отличия возобновляемой энергетики от традиционной:

1. Экологический фактор, ликвидация вредных выбросов, а также выбросов парниковых газов.
2. Неистощимость возобновляемых источников, причем не только в сравнении с газом или углем, но и в сравнении с сырьем для ядерной энергетики.
3. Инфраструктурные преимущества близости к потребителю, возможность децентрализации поставок.
4. Независимость от импорта энергоносителей.

Преимущества возобновляемой энергетики крайне важны для Европы, и страны Евросоюза стараются использовать их сполна, что определяет лидерство ЕС в данной сфере.

За последние 15 лет в странах Евросоюза в эксплуатацию введены ветроэнергостанции, общая мощ-

Рис. 4. Годовые темпы роста поставок возобновляемой энергии в мире с 1990 по 2004 год (проценты)



ность которых эквивалентна мощности 50 угольных электростанций, при этом стоимость вырабатываемой ими энергии вдвое ниже. Годовой оборот рынка возобновляемых источников в ЕС достиг 15 млрд евро, что составляет половину мирового оборота, в этом сегменте европейского рынка заняты 300 тыс. работников. Страны ЕС стали главными экспортёрами технологий и оборудования для использования возобновляемых источников энергии.

Евросоюзом запланировано к 2010 году довести долю электроэнергии, выработанной из этих источников, до 21% общего производства, а также заменить 5.75% нефтяного моторного топлива биотопливом.

## Перспективные технологии возобновляемой энергетики

### Ветровая энергетика и ветроэнергетические установки

На сегодняшний день ветроэнергетика – самое экономически успешное и эффективное из всех направлений энергетики, базирующихся на возобновляемых источниках энергии. К 2004 году в мире общая мощность ветроэнергетических установок превысила 47 ГВт, включая 578 МВт на шельфе, в том числе в России – 5 МВт.

Удельная стоимость современных наземных ветроэнергоустановок находится в интервале от 850 до 1150

долл. США на киловатт, а расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание не превышают 3–4 центов США на киловатт-час. При номинальной мощности эти установки обладают высоким коэффициентом полезного действия – 45% по отношению к кинетической энергии ветра, а годовой коэффициент полезного действия равен 20–25%. Ежегодный прирост установленной мощности ветроэнергетических установок в мире достигает в среднем 25%. Европейская ассоциация ветроэнергетики планирует довести эту мощность для 15 стран ЕС до 75 ГВт к 2010 году и до 180 ГВт к 2020 году. Стоимость выработки энергии ветроустановками постоянно снижается – на 15% при удвоении суммарной установленной мощности.

Основными направлениями развития ветроэнергетических установок следует считать увеличение размеров турбин, использование углеродного волокна для сопел, снижение шумности, уменьшение нижнего порога скорости ветра, необходимого для эффективной работы. Залогом успешного строительства новых ветроэнергоустановок служат рост точности прогнозов ветровых параметров, повышение качества локализации мест для строительства, создание эффективных систем управления генерацией и нагрузкой, освоение методов стабилизации качества вырабатываемой электроэнергии. Важную роль играет также умелая интеграция ветроэнергетических установок в энергосистему.

### Солнечная энергия и гелиоустановки

На поверхность Земли за год поступает солнечная энергия, значительно превышающая органические топливные запасы. Для обеспечения жизнедеятельности человечества достаточно 15% солнечной энергии, это около 63 трлн МВт-часов в год.

В настоящее время существует более 300 конструктивных решений гелиоустановок, которые различаются в зависимости от цели, назначения и объема использования. Сегодня в производстве фотоэлементов и систем на их основе наблюдается настоящий бум. Если в 1999 году их производство во всем мире составляло 200 МВт, то с годовыми темпами роста 30% к 2005 году объем производства уже достиг в Японии – 80 МВт, в США – 60, в Германии – 50 МВт. Это страны-лидеры. На долю России приходится лишь 0.5 МВт.

Таблица 1. Производство основных видов возобновляемых источников энергии в мире и по отдельным регионам и странам: 2004

	Общие поставки первичной энергии (ОППЭ) (млн т в нефтяном эквиваленте)	Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) (млн т в нефтяном эквиваленте)	Доля ВИЭ в ОППЭ (%)	Доля отдельных видов возобновляемых источников энергии в общем производстве (%)		
				Гидро-ресурсы	Геотермальная, солнечная и ветровая энергия	Горючие ВИЭ и отходы
Мир в целом	11 058.6	1 448.6	13.1	16.7	4	79.3
Россия	641.5	18.6	2.9	80.1	1.8	18.1
Страны ОЭСР	5 507.9	313.9	5.7	34.6	12	53.4
в т. ч. США	2 325.9	97.7	4.2	23.6	11.6	64.8
Китай	1 626.5	250.5	15.4	12.1	0	87.9
Азия (без Китая)	1 289.4	410	31.8	4	3.6	92.4
Африка	586	287.1	49	2.6	0.4	97
Латинская Америка	485.5	140.3	28.9	36.1	1.4	62.5

Таблица 2. Потенциал возобновляемых источников энергии в России (млн т условного топлива в год)

Ресурсы	Валовой потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Солнечная энергетика	2 300 000	2 300	12.5
Ветровая энергетика	26 000	2 000	10
Малая гидроэнергетика	360	125	65
Геотермальная энергетика	Не определен	Не определен	115
Биоэнергетика	10 000	53	35
Низкопотенциальное тепло	525	105	31.5

Годовое производство солнечных коллекторов уже превышает 1.7 млн м<sup>2</sup> и продолжает расти. Лидирующие позиции занимают Япония – 7 млн м<sup>2</sup>, США – 4, Израиль – 2.8, Греция – 2 млн м<sup>2</sup>. Россия производит 0.1 млн м<sup>2</sup> коллекторов.

Непосредственно в электричество солнечную энергию превращают фотоэлектрические установки. По разным оценкам, в мире их установленная мощность колеблется от 2400 до 4100 МВт.

Стоимость установки солнечных модулей в настоящее время весьма высока: 5–9 долл. США за 1 Вт (для систем, подсоединенных к электрической сети), но эксплуатационные затраты довольно низкие. В будущем стоимость фотоэлектрических установок может снизиться до 1 долл. за ватт, и они смогут конкурировать с альтернативными вариантами покрытия пиковых нагрузок.

Среди наиболее перспективных направлений технологического развития солнечной энергетике рассматриваются тонкопленочная и мультиузловая технологии, а также полупроводниковые красители. Ключевой проблемой, от решения которой зависит будущее коммерческое использование и конкурентоспособность фотоэлектрических установок, остается их стоимость.

#### **Биомасса и биоэнергетика**

К биомассе относится множество различных органических веществ биологического происхождения в жидком, твердом и газообразном состоянии. Основные методы получения электричества и теплоты с помощью биомассы делятся на четыре главные группы:

- **Сжигание.** Установки по сжиганию биомассы в чистом виде для производства электроэнергии и теплоты обычно имеют мощность порядка 20–50 МВт. Коэффициент полезного действия таких установок может достигать 40%.
- **Совместное сжигание биомассы и ископаемого топлива.** Предполагает прежде всего добавление твердой биомассы к углю. Как правило, значительных модификаций установок (котлов) при этом не требуется.
- **Газификация.** Путем нагревания биомассы до высокой температуры в специальных условиях ее можно перевести из твердого в газообразное состояние. В результате газификации биомассы можно значительно увеличить, по сравнению с прямым ее сжиганием, коэффициент полезного действия установок.
- **Анаэробное разложение.** С помощью биологического процесса, проходящего в условиях недостатка кислорода, можно частично превратить органические отходы в биогаз (метан).

Затраты на производство электроэнергии с помощью биомассы приближаются к 7–12 центам США

на киловатт-час, а благодаря эффекту масштаба и процессу накопления опыта капитальные затраты к 2030 году могут снизиться почти в 2 раза.

#### **Энергия падающей воды, большая и малая гидроэнергетика**

Гидроэлектростанции являются одним из базовых компонентов электро- и энергоснабжения во всем мире. По оценке Международного энергетического агентства, технически доступный потенциал мировой гидроэнергетики составляет 14 000 млрд кВт·ч, из которых 8100 млрд считаются экономически приемлемым потенциалом при нынешнем уровне технического развития.

МикроГЭС (мощностью до 10 МВт) обычно используются для дачных поселков, фермерских хозяйств, а также для небольших производств в труднодоступных районах, где невыгодно прокладывать сети. Они просты и надежны в работе, а имеющийся электронный регулятор обеспечивает высокую стабильность напряжения и частоты. Для установки микроГЭС не требуется проведения строительных работ.

Малые ГЭС (мощностью до 30 МВт) строятся обычно на небольших реках и относятся к энергоустановкам, в минимальной степени нарушающим естественное течение реки и наносящим наименьший ущерб окружающей среде. Они успешно могут заменить небольшие дизельные энергоустановки или другие генерирующие мощности в местах, не подсоединенных к централизованной системе электроснабжения.

Гидроэлектроэнергия, выработанная большими ГЭС – один из самых дешевых видов энергии на сегодняшнем энергетическом рынке, поскольку большая часть станций была построена много лет назад, и вложенные в них затраты давно амортизировались.

Установленная мощность всех действующих и строящихся в мире гидроэлектростанций – около 880 ГВт, вырабатываемая электроэнергия – менее 3000 млрд кВт·ч. Технический потенциал малой гидроэлектроэнергетики в мире в целом оценивается в 150–200 ГВт.

К основным задачам, стоящим перед гидроэлектроэнергетикой, следует отнести повышение коэффициента полезного действия генерирующих установок, снижение цены оборудования и эксплуатационных затрат, разработку мер по минимизации пагубных последствий для окружающей среды.

#### **Геотермальная энергетика**

Геотермальной называется энергия, доступная в виде теплоты, выделяющейся из недр Земли, обычно в виде горячей воды или пара. Она может удовлетворять потребность в тепловой и электрической энергии во многих регионах мира. Геотермальные электростан-

ции служат высоконадежными источниками, вырабатывающими электричество для покрытия базовой нагрузки 24 часа в день.

За последние 20 лет, благодаря решению целого ряда научных и технических проблем, затраты в геотермальной энергетике заметно сократились. Экономия достигла 50%.

Основную долю капитальных затрат в случае геотермальных электростанций занимают затраты на разведывание ресурсов и собственно строительство. Капитальные затраты колеблются от 1150 до 5500 долл. США на киловатт-час установленной мощности. Стоимость выработки электроэнергии составляет 1.5–5 центов США на киловатт-час.

В будущем усилия должны направляться на увеличение производительности геотермальных резервуаров и более полное использование имеющихся у них ресурсов. Наряду с этим проблему в данном секторе энергетике определяют слишком длинный цикл разработки и реализации проектов, а также риски, связанные с поисковым бурением и неопределенностью прогнозов действия источника.

### **Биотопливо для транспорта**

Использование биотоплива в транспорте – одно из наиболее быстро развивающихся направлений глобальной экономики. Благодаря растительной природе применяемого в его производстве сырья, оно вносит важный вклад в снижение выбросов парниковых газов. Наряду с повышением энергоэффективности транспортного сектора, биотопливо может сыграть ключевую роль в обеспечении энергетической, социальной и экологической устойчивости развития транспорта, экономики многих стран и глобальной экономики в целом.

Развитие технологий производства биотоплива позволит увеличить долю полезного использования первичной биомассы и добавит к топливным запасам порядка 500 млн т в нефтяном эквиваленте. Потенциал использования биотоплива оценивается Международным энергетическим агентством в интервале 1400–3600 млн т в нефтяном эквиваленте. Соответственно, вместе с существующими ресурсами биомассы, полный потенциал достигает 2400–4800 млн т в нефтяном эквиваленте (или 100–200 ЕДж/год), что составит к 2050 году 10–25% суммарного предложения первичной энергии.

## **Возобновляемые источники энергии в России**

В России имеются значительные ресурсы практически всех видов возобновляемых источников энергии (см. табл. 2). По имеющимся оценкам, технический потенциал возобновляемой энергетики составляет 4.6 млрд т условного топлива в год, что в пять раз превышает объем потребления всех топливно-энерге-

тических ресурсов России. Экономический потенциал оценивается в 270 млн т условного топлива в год, что немногим более 25% годового российского потребления энергии.

За счет вовлечения возобновляемых источников энергии в энергетический баланс Россия могла бы сэкономить значительное количество невозобновляемых ресурсов ископаемого углеводородного топлива.

В настоящее время в России используется крайне малая часть возобновляемых запасов. В 2000 году их доля в общих поставках первичной энергии составляла 3.5%, причем две трети этого объема приходилось на гидроэнергетику. В то же время возобновляемые источники могли бы с успехом заменить установки на дизельном и прочем нефтяном топливе в удаленных населенных пунктах, которые не присоединены к Единой системе энергоснабжения и постоянно испытывают перебои с поставками топлива.

Среди препятствий на пути развития рынка возобновляемых источников энергии в России отметим отсутствие реальной государственной политики, несовершенство правовой и нормативной базы, непрозрачность энергетических рынков, субсидируемые цены на газовое топливо, слабость финансовых институтов, разного рода бюджетные дотации на закупки топлива и энергии, а также значительные разведанные запасы ископаемого топлива (угля, природного газа, нефти).

Для развития возобновляемой энергетики в России необходима реализация комплексной государственной политики, базовыми элементами которой могли бы стать: национальная стратегия в области возобновляемой энергетики; принятие пакета законодательных актов, способствующих формированию структуры рынка; целевая государственная программа в области возобновляемых источников.

Россия имеет уникальную возможность задействовать механизмы Киотского протокола для широкомасштабного развития возобновляемой энергетики. Стремительно развивающийся углеродный рынок позволяет привлекать значительные инвестиции в альтернативную энергетику. В Евросоюзе и других развитых странах это направление выходит на новый виток мощной политической и экономической поддержки. Достаточно сказать, что летом 2007 года на саммите ЕС было принято беспрецедентное решение об увеличении доли возобновляемой энергетики к 2020 году до 20%.

Наша страна может и должна максимально использовать все имеющиеся возможности для развития возобновляемой энергетики, что, в свою очередь, будет способствовать эффективному экономическому развитию, улучшению состояния окружающей среды, повышению благосостояния населения и одновременно решит задачу предотвращения необратимых изменений глобальной климатической системы. ■

1. Материалы сайта [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

2. Отчет Н. Стерна. [http://news.bbc.co.uk/2/shared/bsp/hi/pdfs/30\\_10\\_06\\_exec\\_sum.pdf](http://news.bbc.co.uk/2/shared/bsp/hi/pdfs/30_10_06_exec_sum.pdf).

3. Energy Technology Perspectives – Scenarios & Strategies to 2050. IEA, 2006.