

**Kondratiev K. Ya.** Global Climate. St. Petersburg, 1992. 357 p. [in Russian].

**Kondratiev K. Ya.** Uncertainties of observation data and numerical climate simulation // Meteorologija i gidrologija. 2004. N 4. P. 93–119 [in Russian].

**Kondratiev K. Ya., Moskalenko N. I.** Greenhouse effect of the atmosphere and the climate. Meteorologija i klimatologija. Moscow: VINITI, 1987. 205 p. [in Russian].

**Mirvis V. M.** Patterns of change in the air temperature regime in Russia over the past century // Climate Change and its Consequences. St. Petersburg: Nauka, 2002. P. 105–117 [in Russian].

**Monin A. S.** Rotation of the Earth and the Climate. Leningrad, 1972. 115 p. [in Russian].

**Myakisheva N. V.** Patterns in the Formation of External Water Exchange and Level Fluctuations in Lakes in Excessive and Sufficient Moisture Zones // DSc Thesis. St. Petersburg, 2001 [in Russian].

**Sepp M., Jaagus J.** Reasons of temperature increase in Tartu in March // World Climate Change Conference. Proceedings. Moscow, 2003. P. 480.

**Filatov N. N.** Climate change in East Fennoscandia. Petrozavodsk, 1997. 147 p. [in Russian].

**Bloomfield P.** Trends in Global Temperature // Climatic Change. 1992. Vol. 21, N 1. P. 1–16.

## СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Ю. А. Сало

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Одной из важнейших экологических проблем современности, выходящих за рамки отдельных стран и регионов, является проблема глобального изменения климата. В начале 2001 г. был опубликован Третий отчет, подготовленный Межправительственной группой экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), в котором содержатся научно обоснованные факты глобального потепления, дана объективная картина наблюдаемых изменений климатической системы Земли и процессов, их вызывающих. Помимо природных колебаний климата, в качестве одной из причин заметного потепления, продолжающегося со второй половины XX в., эксперты называют увеличение выбросов парниковых газов (CO<sub>2</sub>, метан, закись азота, гексафторид серы, метан и др.) техногенного происхождения. Концентрация всех парниковых газов быстро увеличивается, а концентрация в атмосфере диоксида углерода в настоящее время выше, чем в любой другой период за последние 420 000 лет (Сперанская, 2001). По данным IPCC, концентрация углекислого газа в атмосфере за период с 1750 по 2000 г. увеличилась на 31%; скорость увеличения при этом составила 0,4% в год в течение двух последних десятилетий, а в 90-х гг. – на 0,2–0,6% (Climate Change, 2001). Примерно ¾ антропогенной эмиссии CO<sub>2</sub> в течение последних 20 лет обусловлено сжиганием ископаемого топлива, остальная часть эмиссии связана с промышленными процессами, изменением землепользования и особенно с сокращением площади лесов.

Современная мировая система производства и потребления энергии базируется на иско-

паемых энергоносителях. Почти все производство электроэнергии основывается на использовании невозобновляемого углеводородного топлива или его производных (нефть и нефтепродукты, природный газ, уголь). Стратегически важной задачей в области энергетики современного периода и на перспективу является обеспечение экономического развития на глобальном, региональном и локальном уровнях на основе эффективного, надежного и безопасного энергоснабжения при минимальных затратах на производство, преобразование, транспортировку, потребление энергоносителей, а также приемлемого уровня техногенного воздействия на окружающую природную среду (Изменение климата..., 2001). Эксперты IPCC изучали возможности последствий изменения климата, направленные, в первую очередь, на ограничение антропогенной эмиссии парниковых газов. Было установлено, что наиболее важными мерами являются повышение энергоэффективности, эффективное использование природного газа, а также использование источников энергии, содержащих низкую концентрацию углерода, например, биомассы или других видов возобновляемых источников энергии. Сочетание таких мер может к 2020 г. привести к ежегодному сокращению антропогенной эмиссии парниковых газов в размере 3,6–5 млрд т в углеродном эквиваленте, что составляет 43–60% современных выбросов (Сперанская, 2001; Climate Change, 2001).

Практически вся история развития цивилизации связана с освоением энергии и неуклонным ростом энергопотребления. Именно благодаря способности получать, преобразовы-

вать и применять во всех отраслях материального производства энергию различного вида человечество вышло на этап в целом устойчивого роста качества жизни, освоения пространства, в том числе околоземного, развития новых технологий производства. С начала индустриального периода численность населения Земли нелинейно возрастала, причем этот процесс сопровождался еще более интенсивным ростом производства и потребления энергии при постоянном увеличении выбросов парниковых газов техногенного происхождения в атмосферу (рис. 1, 2).

Изменения среднеглобальной приземной температуры воздуха за период инструментальных наблюдений и особенно в последние десятилетия XX в. эксперты IPCC связывают с

резким увеличением эмиссии парниковых газов (рис. 2). Таким образом, способы производства энергии, которые развивались на протяжении XIX–XX вв., во многом способствовали антропогенным изменениям климата, в частности, глобальному потеплению.

Как следует из сложившейся структуры (табл.), основным источником производства энергии является ископаемое топливо – нефть, природный газ и уголь (94% суммарной выработки электроэнергии в России и около 65% всей производимой в мире), тогда как на долю экологически чистых природосберегающих ресурсов приходится не более 1,5% как в России, так и в мире в целом (Изменение климата..., 2004). При этом технология получения энергии от сжигания ископаемых видов топлива не

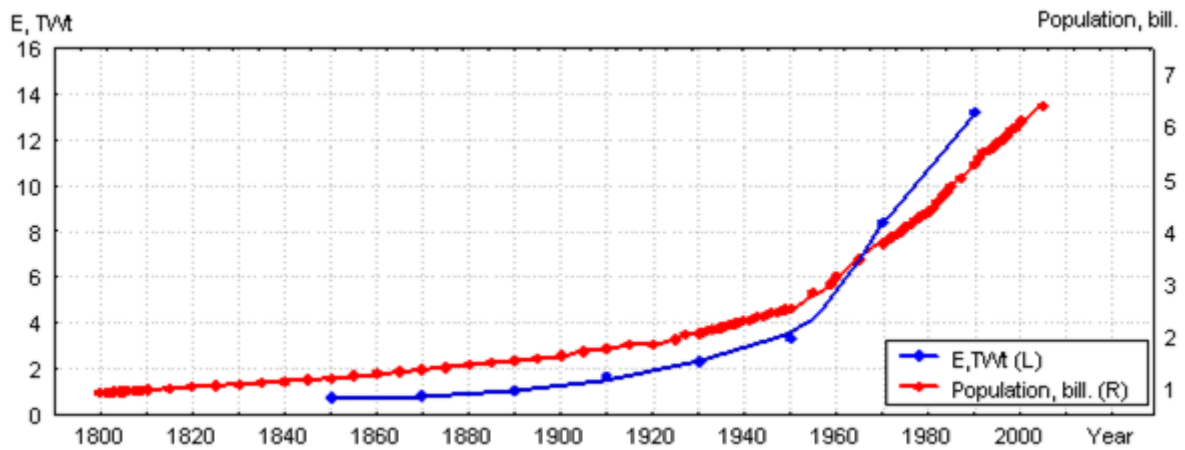


Рис. 1. Производство энергии в мире (в тераваттах) и рост народонаселения (в млрд чел.).  
1 ТВт =  $10^{12}$  Вт

Fig.1. World energy manufacturing (in terrawatts) and the world population growth (in billions).  
1 TWt =  $10^{12}$  watts

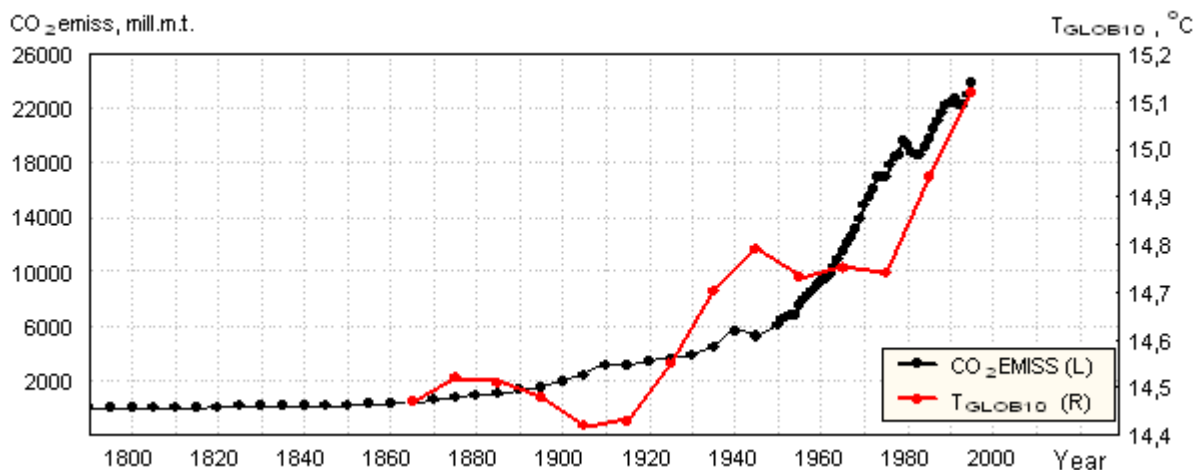


Рис. 2. Общая эмиссия CO<sub>2</sub> при использовании ископаемого горючего и производстве цемента (в млн т) и сглаженная по скользящим 10-летиям среднеглобальная температура воздуха (°C)

Fig. 2. World CO<sub>2</sub> emission from fossil fuel consumption and cement manufacturing (in million metric tons) and 10-year averaged global air temperature (°C)

является оптимальной в смысле ресурсосбережения и выбросов вредных веществ в атмосферу. В качестве примера на рис. 3 показана технологическая цепочка производства электроэнергии на тепловой электростанции и передачи ее к потребителю. Из одного киловатта энергии, которую потенциально можно получить при сжигании угля, к потребителю доходит лишь 0,015 кВт, что составляет 1,5% от потенциальной энергии исходного количества топлива. Остальные 98,5% расходуются на прямые выбросы при сжигании, на механические потери в турбине и электрогенераторе и на электрические потери при передаче электроэнергии по проводам к потребителю.

ИСТОЧНИКИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИИ И В ЦЕЛОМ ДЛЯ ЗЕМНОГО ШАРА, %

Источник	Россия (2005 г.)	Земной шар (2000 г.)
Нефть	29	9,3
Природный газ	51	17,5
Уголь	14	37,8
АЭС	3	15,8
ГЭС	1,5	18,2
Прочие	1,5	1,4
Всего	100	100

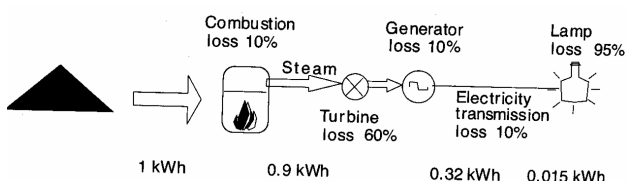


Рис. 3. Энергетическая система для обеспечения электроосвещения (Rydén et al., 2003)

Fig. 3. An energy system for provision of the service electric light (Rydén et al., 2003)

В ближайшем будущем необходимо коренным образом изменить структуру производства энергии в сторону развития технологий, использующих возобновляемые источники (Изменение климата..., 2004).

### Энергия ветра

Большинство береговых зон и островов в морях, океанах и крупных озерах имеют значительные ветроресурсы. Сезонные колебания скорости ветра и их максимальные величины – основные факторы, сдерживающие в настоящее время развитие этого источника энергии. Современные конструкции ветроэнергетических установок рассчитаны на эксплуатацию при скоростях ветра 4–30 м/с.

### Энергия Солнца

В основном прямая солнечная радиация используется для нагрева (получение горячей во-

ды в гелиоколлекторах, отопление помещений). Уже существует большое количество способов улавливания, концентрации и преобразования солнечной энергии.

### Солнечные батареи

Коэффициент полезного действия современных солнечных батарей (СБ) составляет всего 10–15% при относительно высокой стоимости производства солнечных элементов. (Убедиться практически в эффективности СБ можно с помощью несложного эксперимента, описание которого дано в приложении в конце статьи.) Эффективность СБ резко снижается при снижении освещенности, из-за облачности и в ночное время.

### Энергия волн

Волновая мощность мирового океана оценивается в 2,7 млрд кВт, что составляет 30% потребляемой в мире энергии. Разработаны и в небольших объемах применяются технологии использования энергии волн в местах шельфовой зоны. Одной из таких технологий является получение электроэнергии на приливных гидроэлектростанциях.

### Биомасса и биогаз

Энергия, освобождаемая в результате технологической переработки различных видов биомассы, называется биоэнергией. Общий ежегодный прирост биомассы на Земле – около 130 млрд т сухого материала, при переработке которого можно получить около 660 000 тВт-час биоэнергии. Биогаз образуется при реакции брожения органических удобрений, бытовых и промышленных отходов. Использование биогазовых технологий при переработке органики может не только полностью устранить ее экологическую опасность, связанную с выделением парникового газа – метана, но и ежегодно получать дополнительно 95 млн т условного топлива (или, сжигая биогаз, около 190 млрд кВт-час электроэнергии), плюс к этому – более 140 млн т высокоэффективных удобрений.

### Комбинированные источники

Большой интерес вызывают интегрированные системы получения энергии от возобновляемых источников. Например, объединяя ветроэнергетическую установку и солнечную батарею в одну систему, можно получать электроэнергию как в безветренную солнечную погоду, так и в пасмурную ветреную, а также ночью. В качестве примера на рис. 4 показана комбинированная установка малой мощности в д. Сигново (Заонежье).



Р и с . 4 . Комбинированная ветроэнергетическая и солнечная установка (фото М. С. Богдановой)  
 Fig . 4 . Integrated wind power and solar energy installation (photo by M. Bogdanova)

Основными проблемами, сдерживающими широкое внедрение возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в России, в частности, являются (Изменение климата..., 2001):

- несбалансированная структура цен на органическое топливо;
- относительно высокая стоимость специального оборудования для использования возобновляемых источников, определяемая преимущественно мелкосерийным его производством;
- отсутствие доступа широкой общественности к информации о технологиях использования возобновляемых источников энергии;
- отсутствие поддержки, в том числе законодателей, развития нетрадиционной энерге-

тики на государственном и региональном уровнях;

- недостаточная осведомленность хозяйственных руководителей, в том числе частных предпринимателей, городского и сельского населения о возможностях и преимуществах использования возобновляемых источников энергии.

Решение этих проблем позволит в конечном итоге добиться стабилизации, а затем снижения антропогенного влияния на природные экосистемы на локальном, региональном и глобальном уровнях. Необходимо помнить, что ответственность за глобальное потепление лежит на человечестве и от него зависит устойчивое существование нашей планеты.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Изменение климата** и энергетика. Потенциал России в области энергоэффективности и возобновляемых источников энергии. М.: Эко-Согласие, 2001. 55 с.

**Изменение климата:** проблемы и решения. Информационное пособие. Мурманск, 2004. 32 с.

**Сперанская О.** Глобальное изменение климата: доказано научными факторами // Изменение климата и энергетика. Потенциал России в области энергоэффективности и возобновляемых источников энергии. М.: Эко-Согласие, 2001. С. 7–9.

**Climate Change** 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. B. Metz et al. Publ. IPCC, Cambridge Univers. Press., 2001. 752 p.

**Photovoltaic Pyranometer** for the measurement of solar radiation (User's guide). SolData, Denmark, 2003. 17 p.

**Rydén L., Migula P., Andersso M.** Environmental Science. Understanding, protecting, and managing the environment in the Baltic Sea Region. A Baltic University Publication. Almqvist & Wiksell Tryckeri Print., Uppsala, 2003. 824 p.

**World Resources** 1998-99. A Guide to the Global Environment. Environmental Change and Human Health / Eds. M. S. Swaminathan et al. New York: Oxford Univ. Press Ltd., 1998. 369 p.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

При наличии солнечной батареи и минимально необходимого набора измерительных приборов можно провести несложный эксперимент по практической оценке эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью современных солнечных элементов. В курсе экологического просвещения ИВПС КарНЦ РАН и в летних экологических лагерях мы используем кремниевые солнечные элементы СБ-6, которые имеют номинальное выходное напряжение 6 В при токе 0,25 А и мощность 1,5 Вт при нормальной освещенности. При объединении четырех таких элементов в батарею достижима мощность 6 Вт.

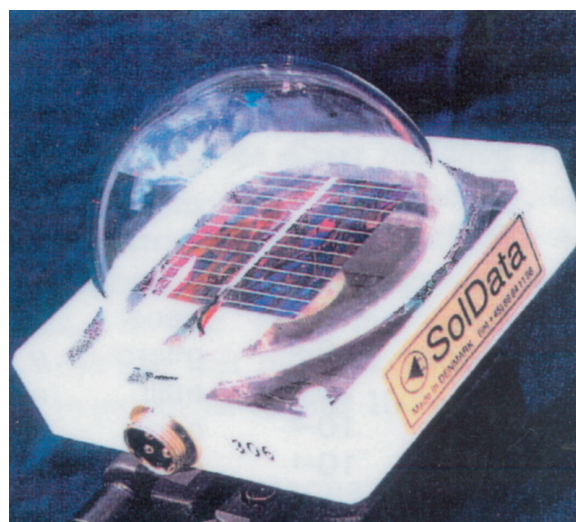
Для проведения эксперимента необходимы: солнечная батарея, пиранометр (фотоэлектрический прибор для измерения суммарной, прямой или рассеянной солнечной радиации), вольтамперметр с пределами измерения постоянного напряжения 20 В и постоянного тока 1 А.

В наших измерениях мы применяли солнечную батарею 4СБ-6, составленную из четырех элементов СБ-6; пиранометр SolData (рис.) и цифровой ампервольтметр DT-709.

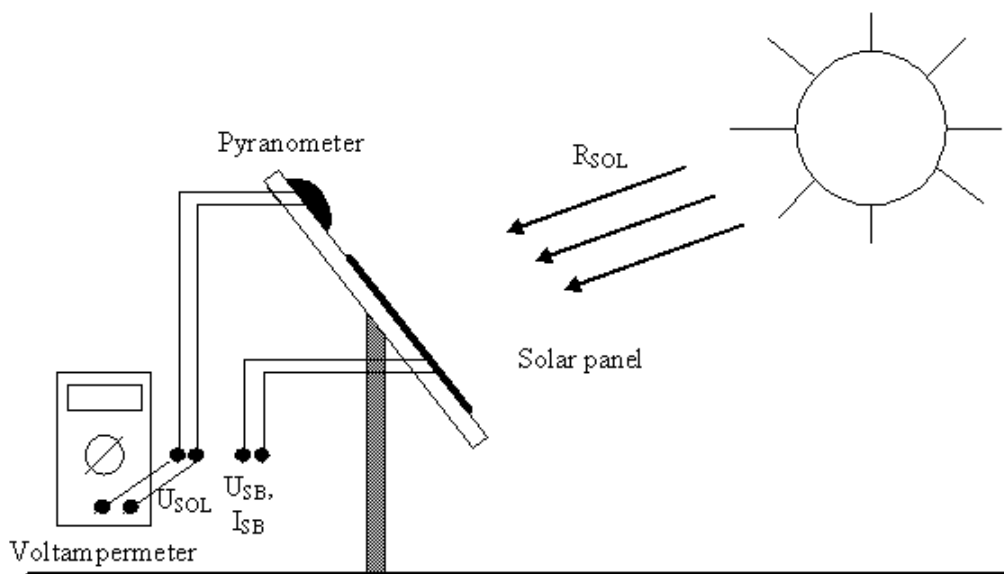
Выполнение измерений и расчет коэффициента полезного действия солнечной батареи производят в следующем порядке.



1



2



Солнечная батарея 4СБ-6 (1), пиранометр SolData (2) и схема экспериментальной установки  
Solar battery 4СБ-6 (1), piranometr SolData (2) and the experimental system installation circuit

Вначале определяют суммарную площадь кристаллов исследуемой солнечной батареи  $S_{SB}$  в  $m^2$ .

Устанавливают солнечную батарею и пиранометр перпендикулярно направлению падающих солнечных лучей; для этого лучше закрепить пиранометр на одной пластине с солнечной батареей.

Подключают к пиранометру ампервольтметр и измеряют напряжение  $U_{SOL}$  в милливольтгах. Для каждого пиранометра SolData при его изготовлении определяют и указывают в паспорте прибора переходный коэффициент от напряжения к величине мощности падающего солнечного излучения ( $K$ ). Для имеющегося в нашем распоряжении прибора  $K = 131 \text{ мВ}/(\text{кВт}/\text{м}^2)$ .

Далее по формуле

$$P_{SOL} = 1000 \cdot K \cdot U_{SOL}$$

вычисляют мощность солнечного излучения ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). Величина  $P_{SOL}$  показывает, какое количество солнечной энергии падает на  $1 \text{ м}^2$  поверхности. Поскольку площадь нашей солнечной батареи  $S_{SB}$  не равна одному квадратному

метру, необходимо определить мощность  $P_{SB}$ , падающую на фактическую площадь солнечной батареи:

$$P_{SOL.1} = P_{SOL} \cdot S_{SB},$$

при этом, как указано выше, площадь  $S_{SB}$  должна быть выражена в  $m^2$ .

Затем ампервольтметр подключают к солнечной батарее и измеряют напряжение  $U_{SB}$  (в вольтах) и силу тока  $I_{SB}$  (в амперах). Соответствующая электрическая мощность  $P_{SB}$  (в ваттах), которая вырабатывается батареей при данном освещении, равна

$$P_{SB} = U_{SB} \cdot I_{SB}.$$

Коэффициент полезного действия  $\eta_{SB}$ , который и характеризует эффективность данного типа солнечных батарей, вычисляется по формуле

$$\eta_{SB} = P_{SB} / P_{SOL.1} \cdot 100\%.$$

Практические измерения, выполненные нами летом 2008 г. в экологическом лагере «Калипсо» (Водлозерский национальный парк), показали, что коэффициент полезного действия батареи 4СБ-6 невысокий, порядка 11–15%.

## MODERN ENERGY PRODUCTION STRUCTURE IN THE CONTEXT OF GLOBAL WARMING

Yu. A. Salo

*Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre*

One of the biggest environmental problems of today, reaching beyond the borders of individual countries and regions, is global climate change. Early in 2001, the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was published. It contains scientific facts about global warming, presents an unbiased overview of the changes occurring in the Earth's climate, and the processes inducing them. Experts believe another reason for substantial warming underway since the second half of the 20<sup>th</sup> century, in addition to natural climate fluctuations, is growing emissions of man-made greenhouse gases ( $\text{CO}_2$ , methane, nitrous oxide, sulphur hexafluoride, etc.). The concentration of all greenhouse gases is growing rapidly, and carbon dioxide concentration in the atmosphere is now higher than anytime else over the past 420 000 years (Speranskaya, 2001). According to IPCC,  $\text{CO}_2$  concentration in the atmosphere increased from 1750 to 2000 by 31%; the increase rate was 0.4% per year over the past two decades, and 0.2–0.6% – in the 1990s (Climate Change, 2001). Some  $\frac{3}{4}$  of anthropogenic  $\text{CO}_2$  emissions in the past 20 years came from fossil fuel

combustion, the rest was due to industrial processes, changes in land use and, particularly, forest shrinkage.

Today, the global energy generation and consumption system relies on fossil fuels. Electricity production is nearly totally based on utilization of nonrenewable hydrocarbons or their derivatives (oil and oil products, natural gas, coal). A task of strategic importance in the energy sector is to ensure economic development at the global, regional and local levels based on effective, unfailing and safe energy supply with minimal costs of its generation, conversion, transfer and consumption, as well as with an acceptable level of environmental impact (Climate Change..., 2001). IPCC experts investigated potential scenarios of climate change, mainly focusing on the ways to reduce anthropogenic emissions of greenhouse gases. The measures recognized as most important for mitigation are enhancement of energy efficiency, efficient utilization of natural gas, as well as utilization of low-carbon energy sources such as biomass or other renewable sources. If these measures are combined, reduction of yearly

greenhouse gas emissions may reach 3.6–5 bln. TCE by year 2020, i.e. 43-60% of current emissions (Climate Change, 2001; Speranskaya, 2001).

Nearly the whole history of civilization is connected with mastering of energy and persistent growth of energy consumption. It was owing to the ability to derive, convert and apply energy of different kinds in all sectors of material production that humankind has reached a phase of relatively steady improvement of the living standard, colonization of spaces, including near-Earth space, development of new technologies. Human population of the Earth has been growing non-linearly since the onset of the industrial period, and the process was accompanied by even more intensive growth of energy production and consumption, and by constant increase in greenhouse gas emissions (Fig. 1, 2).

IPCC experts attribute changes in mean global surface air temperature over the period of instrumental measurements, especially in the last few decades of the 20th century, to a sharp rise in greenhouse gas emissions (Fig. 2). Thus, the methods of energy production that had been developing in the 19<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> centuries largely promoted anthropogenic climate change, in particular global warming.

As seen from the structure above (Tab.), the main energy sources are fossil fuels – oil, natural gas coal (94% of total electricity output in Russia and ca. 65% of the electricity produced around the globe), whereas the proportion of environment friendly resources is no more than 1.5% both in Russia and in the global economy in general (Climate changes..., 2004). Meanwhile, the technology for energy generation from fossil fuels is far from being optimal in terms of resource saving and harmful emissions. See, for instance, Fig. 3, portraying the process chain for electricity generation at a heat power plant and its transfer to the end user. Of the one watt of energy that can be potentially derived from coal combustion, the consumer gets only 0.015 kW, i.e. 1.5% of the fuel's energy potential. The rest 98.5% are wasted in emissions at combustion, mechanical losses in the turbine and generator, and in losses as the electricity is transmitted to the consumer by wires.

SOURCES USED FOR ELECTRICITY PRODUCTION IN RUSSIA AND IN THE WORLD AT LARGE, %

Source	Russia (2005)	Globe (2000)
Oil	29	9.3
Natural gas	51	17.5
Coal	14	37.8
Nuclear power	3	15.8
Hydropower	1.5	18.2
Other	1.5	1.4
Total	100	100

The alternative is to change the structure of energy production profoundly towards development of technologies based on renewable sources as soon as possible (Climate changes..., 2004).

#### Wind energy

Most coastal zones and islands of seas, oceans and large lakes possess substantial wind resources. Seasonal fluctuations of wind velocity and their maximal values are now the main factors limiting the development of this source of energy. Most modern wind power units are designed to operate at wind velocities of 4–30 m/sec.

#### Solar energy

Direct solar radiation is mostly used for heating (water heating in helio-collectors, house heating). Many methods have already been developed to capture, concentrate and convert solar energy.

#### Solar panels

The coefficient of efficiency of modern solar panels (SP) is only 10–15%, the cost of solar cells being rather high. (SP efficiency can be checked in a simple experiment described in the Annex). Sp efficiency drops sharply at lower illumination, cloudiness, and at nighttime.

#### Wave energy

The world ocean's wave power is estimated at 2.7 bln. kW, which equals 30% of the energy consumed globally. Technologies for utilization of wave power in shelf areas have been developed and are in small-scope use. One of such technologies is electricity production at tide-driven hydropower plants.

#### Biomass and biogas

The energy released through processing of various kinds of biomass is called bioenergy. Global annual biomass increment is about 130 bln. tons of dry material, which can be converted into ca. 660 000 TWh of bioenergy. Biogas forms during fermentation of organic fertilizers, domestic and industrial wastes. Application of biogas technologies in processing of organic wastes would not just eliminate the related environmental hazard of methane emission, but also yield additional 95 mln. TCE (or ca. 190 bln. kWh of electricity from biogas combustion), plus over 140 mln. tons of very effective fertilizers.

#### Integrated sources

A technology of high interest is integrated systems of energy generation from renewable sources. E.g., joining a windmill and a solar panel into one unit, one can get electricity both in still

sunny weather, on windy overcast days, and at nighttime. The example in Fig. 4 is the low-output integrated installation in the village of Sigovo (Zaonezhje Peninsula).

The main barriers on the way towards wide use of renewable energy sources and energy-saving technologies in Russia are, i.a. (Climate change ..., 2001):

- unbalanced pricing of organic fuels;
- relatively high cost of specialized equipment utilizing renewable energy sources, mostly because of small-batch production;
- low access for the general public to information on renewable energy technologies;

## REFERENCES

**Climate Changes** and Energy. Russia's Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy Sources. Moscow: Eco-Soglasije, 2001. 55 p. [in Russian]

**Climate Change:** Challenges and Solutions. Textbook. Murmansk, 2004. 32 p. [in Russian]

**Speranskaya O.** Global warming: proven by scientific facts // Climate Changes and Energy. Russia's Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy Sources. Moscow: Eco-Soglasije, 2001. P. 7–9 [in Russian].

**Climate Change** 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds.

– lack of support to development of alternative energy at the national and regional levels, namely from law-makers;

– low awareness of the possibilities and benefits of utilization of renewable energy sources among managers and entrepreneurs, as well as people in urban and rural areas.

Overcoming these barriers one would first stabilize, and then reduce human impact on natural ecosystems at the local, regional and global levels. We must not forget that the humankind is responsible for global warming, and that sustainability of the planet also depends on people.

B. Metz et al. 2001. Publ. IPCC, Cambridge Univers. Press. 752 p.

**Photovoltaic Pyranometer** for the measurement of solar radiation (User's guide). SolData, Denmark, 2003. 17 p.

**Rydén L., Migula P., Andersso M.** Environmental Science. Understanding, protecting, and managing the environment in the Baltic Sea Region. A Baltic University Publication. Almqvist & Wiksell Tryckeri Print., Uppsala. 2003. 824 p.

**World Resources** 1998-99. A Guide to the Global Environment. Environmental Change and Human Health / Ed. M. S. Swaminathan et al. New York: Oxford Univ. Press Ltd., 1998. 369 p.

## APPLICATION

We made measurements with the solar panel 4SB-6 made up of four SB-6 cells, the pyranometer SolData (Fig.), and the digital voltammeter DT-709.

The algorithm for the measurements and calculation of the solar panel coefficient of efficiency is the following.

First, the total area of the solar panel crystals  $S_{SB}$  is determined, expressed in  $m^2$ .

The solar panel and the pyranometer are installed perpendicular to incident radiation; this is best achieved by fixing the pyranometer and the solar panel on the same plate.

The voltammeter is connected to the pyranometer, and millivoltage  $U_{SOL}$  is measured. The calibration factor  $K$  for conversion from voltage to the power of incident solar radiation is indicated in the certificate of each SolData pyranometer.  $K$  factor for the piece we used equaled  $131 \text{ mV}/(\text{kW}/m^2)$ .

Then, apply the formula

$$P_{SOL} = 1000 \cdot K \cdot U_{SOL}$$

to calculate the solar radiation power ( $W/m^2$ ). The

value of  $P_{SOL}$  indicates how much solar energy falls on  $1 \text{ m}^2$  of the surface. Since the area of our solar panel  $S_{SB}$  does not equal one square metre, the power  $P_{SB}$  falling on the actual area of the panel has to be determined:

$$P_{SOL.1} = P_{SOL} \cdot S_{SB}$$

as mentioned above, the area  $S_{SB}$  should be in  $m^2$ .

The voltammeter is then connected to the solar panel, and voltage  $U_{SB}$  (in volts) and current  $I_{SB}$  (in amperes) are measured. The corresponding electric power  $P_{SB}$  (in watts) produced by the panel at this radiation is

$$P_{SB} = U_{SB} \cdot I_{SB}$$

The coefficient of efficiency  $\eta_{SB}$  – the descriptor of the efficiency of this type of solar panels, is calculated by the formula

$$\eta_{SB} = P_{SB} / P_{SOL.1} \cdot 100\%$$

Practical measurements carried out at the Calypso eco-camp (Vodlozersky National Park) in the summer of 2008 proved the efficiency of the 4SB-6 panel to be rather low, ca. 11–15%.