



## INNOVATIVE VIESH DEVELOPED RES TECHNOLOGIES

**Strebkov D.S., Kharchenko V.V.**

All-Russian Institute for Electrification of Agriculture.

**Abstract** – The All-Russia institute for electrification of agriculture (VIESH) is one of leaders in the field of use in practice of renewable technologies. In the paper the description of some executed in VIESH workings out in the field of renewable power, suitable for practical realisation in Republic Moldova is submitted.

**Keywords:** renewable energy sources, solar power, biofuel, solar modules, matrix solar cells, concentrators of solar radiation.

## TEHNOLOGII INOVAȚIONALE ALE SRE ELABORATE DE IRER

**Strebkov D.S., Harcenko V.V.**

Institutul rusesc de electrificare rurală, Moscova, Rusia

**Rezumat** – Institutul rusesc de electrificare rurală (IRER) este unul din lideri în domeniul utilizării în practică a tehnologiilor energeticii regenerabile. În lucrarea dată se prezintă descrierea unor elaborări efectuate de IER în domeniul energeticii regenerabile posibil de aplicat în Republica Moldova

**Cuvinte cheie:** surse regenerabile de energie, energie solară, biocombustibil, module solare, elemente solare de tip matrice, concentratoare.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИЭ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ВИЭСХ

**Стребков Д.С., Харченко В.В.**

Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства

**Реферат** – Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) является одним из лидеров в области использования на практике технологий возобновляемой энергетики. В настоящем сообщении приводится описание некоторых выполненных в ВИЭСХ разработок в области возобновляемой энергетики, пригодных для практической реализации в Республике Молдова.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, биотопливо, солнечные модули, матричные солнечные элементы, концентраторы.

Масштабы использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во всем мире с каждым годом неуклонно возрастают.

Установленная мощность электростанций, использующих (ВИЭ) превысила в 2010 г. установленную мощность АЭС в мире и составила 388 ГВт (рост на 60 ГВт по сравнению с 2009 г.). Объем инвестиций в мировую возобновляемую энергетику составил в 2010 г. 243 млрд. долл., рост инвестиций 630% с 2004 г. [1].

По темпам роста первое место занимает солнечная энергетика. В 2011 г. в мире построено 30 ГВт солнечных электростанций (СЭС). Темпы роста производства СЭС составили 118% по сравнению с 2009 г. [2].

Годовое использование биомассы в мире эквивалентно потреблению 1 млрд. тонн нефти и сравнимо с уровнем потребления природного газа и угля. В Российской Федерации имеется 21% мировых ресурсов леса. Ежегодный прирост лесной биомассы в

России составляет 800 млн. м<sup>3</sup>, из которых 50 % может быть использовано в биоэнергетике. Биотопливо может обеспечить 20% тепловой энергетики России. Для этого потребуется менее 20% расчетной лесосеки. В северных областях на биотопливо можно перевести до 60% котельных [3]. В настоящей работе рассматриваются результаты некоторых разработок, выполненных в ВИЭСХ, которые могут представлять интерес для практического использования, в том числе и в Республике Молдова.

### СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Расширение использования ВИЭ должно базироваться на оригинальных инновационных технологиях. В области солнечной энергетики ГНУ ВИЭСХ является обладателем более 100 патентов на уникальные технические решения.

### Новый способ получения кремния

Более 95% всех солнечных электростанций в мире изготавливаются с использованием кремния. Стоимость монокристаллического кремния по-прежнему остается высокой, а общепринятая сегодня технология производства кремния хлоридным способом (Сименс-процесс) весьма сложен и экологически вреден.

В ГНУ ВИЭСХ разработана уникальная бесхлорная технология получения кремния с низкими энергетическими затратами, на которые получено 8 патентов РФ и США.

Эту технологию можно реализовать без какого-либо ущерба для экологии в местах строительства завода по производству кремния. В этом контексте ее можно рассматривать как перспективную для южных регионов. Введение новых мощностей по производству солнечного кремния стало бы мощным стимулом для развития отрасли производства солнечных элементов и модулей.

### Применение концентраторов

Эффективный подход к решению проблемы сокращения расхода кремния связан с использованием новых типов концентраторов. В ВИЭСХ разработаны и запатентованы солнечные концентраторы со слежением за Солнцем с концентрацией  $\times 100$ - $\times 1000$  и без слежения за Солнцем – стационарные концентраторы с концентрацией  $\times 3$ - $\times 5$  [4]. Оба типа концентраторов обеспечивают равномерное освещение солнечных фотоэлектрических модулей, что исключительно важно при эксплуатации СЭС с концентраторами. Стационарные концентраторы без слежения за Солнцем могут концентрировать не только прямую, но и большую часть диффузной (рассеянной) радиации в пределах апертурного угла, что увеличивает производство электроэнергии

### Матричные солнечные элементы

В ГНУ ВИЭСХ разработаны матричные солнечные элементы (МСЭ) на основе кремния, которые имеют КПД 25% в лаборатории и 20% в промышленности при 50-1000-кратной концентрации солнечного излучения [5]. Запатентованные в России МСЭ прозрачны для неактивной инфракрасной области спектра, что снижает нагрев фотоприемника и затраты на его охлаждение. Преимуществом МСЭ является генерация высокого напряжения 15-20 В на 1 погонный см рабочей поверхности. Схема получения матричных солнечных элементов с вертикальными р-п переходами представлена на рис. 1.

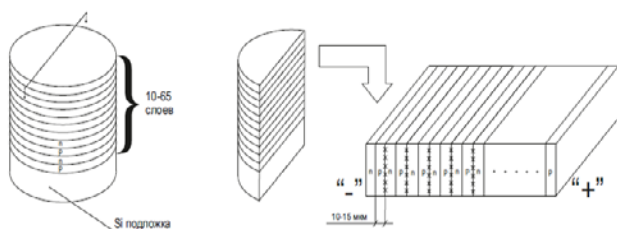


Рис.1. Схема получения матричных солнечных элементов с вертикальными р-п переходами

Из рисунка видно, что для создания матричного фотоэлемента сначала надо изготовить многослойную структуру с заданным образом чередующимися слоями кремния заданного типа проводимости и удельного сопротивления (на схеме слева). При этом необходимо обеспечить электрические омические контакты между соседствующими р-п переходами. Это задача не простая. Но авторам удалось решить ее с помощью оригинального, нестандартного приема, пробоя всей многослойной структуры, что позволило существенно упростить конструкцию и технологию изготовления исходной многослойной заготовки. Такая структура обладала рядом преимуществ перед классической планарной схемой.

Усовершенствованная за многие годы работы конструкция матричного солнечного элемента позволила создать высокоэффективный модуль МЭС-концентратор (линза Френеля) с высокими характеристиками.

Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) фотоэлектрического модуля на основе кремниевого матричного солнечного элемента с линзой Френеля в качестве концентратора приведены на рис.2.

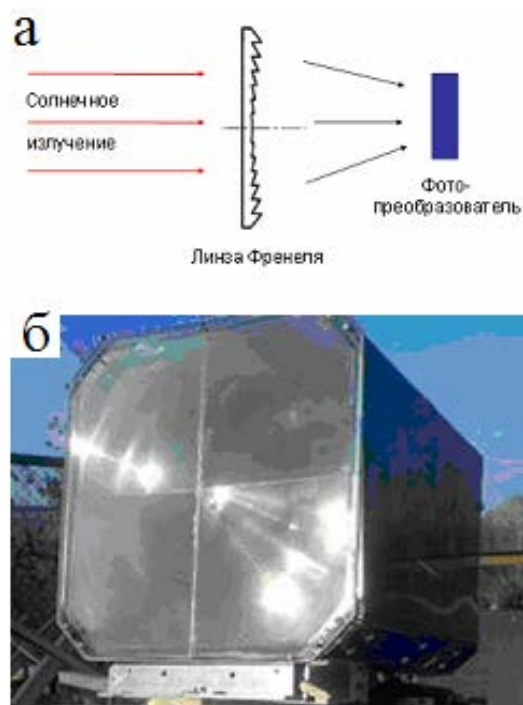


Рис.2. Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) фотоэлектрического модуля на основе кремниевого матричного солнечного элемента с линзой Френеля в качестве концентратора

МСЭ из кремния в сотни раз дешевле солнечных элементов на основе каскадных гетероструктур на единицу площади, технология МСЭ не требует применения серебра, многостадийной диффузии, фотолитографии, сеткографии, эпитаксии, текстурирования и других трудоемких операций, используемых на зарубежных заводах. Патент РФ на конструкцию и технологию МСЭ включен в перечень «100 лучших изобретений России».

### Новая технология изготовления модулей

Все существующие в мире конструкции, материалы и технологии изготовления солнечных модулей обеспечивают срок службы модулей 20 лет в тропическом климате и 25 лет в умеренном климате с потерей до 20% мощности к концу срока службы. Причина – ультрафиолетовая и температурная деградация оптических полимерных герметизирующих материалов – этиленвинилацетата и других пластиков. Используемая технология ламинирования модулей включает вакуумирование, нагрев до 150° и прессование с затратами электроэнергии 80000 кВт·ч на изготовление 1 МВт солнечных модулей. В новой технологии, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, этиленвинилацетат и технология ламинирования заменены на заливку силиконовой композиции с последующим отверждением жидкой компоненты в полисилоксановые гели. При этом срок эксплуатации солнечных модулей увеличивается в два раза до 40-50 лет, возрастает электрическая мощность модулей благодаря более высокой прозрачности геля и снижению рабочей температуры СЭ, снижаются энергозатраты на изготовление модулей на 70 000 кВт·ч/МВт. Кроме того, удвоение срока службы увеличивает производство электроэнергии на 20 млн. кВт·ч на 1 МВт пиковой мощности. Внешний вид установки для заполнения фотоэлектрических модулей двухкомпонентным полисилоксановым компаундом представлен на рис.2.

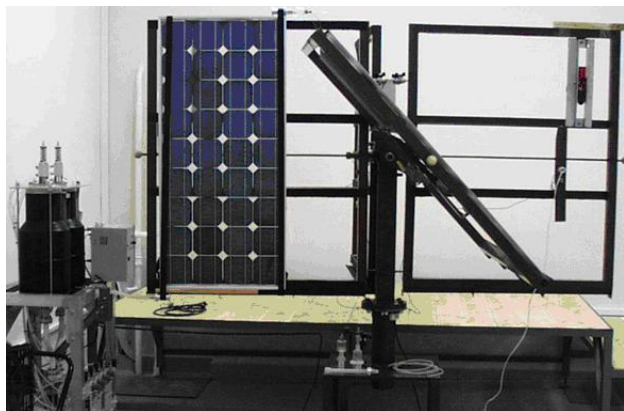


Рис.3. Внешний вид установки для заполнения фотоэлектрических модулей двухкомпонентным полисилоксановым компаундом

### Глобальная солнечная энергетическая система

Проблема непрерывного круглосуточного и круглогодичного производства электроэнергии солнечными электростанциями является основной в развитии глобальной бестопливной энергетики и

обеспечения ее конкурентоспособности с топливной энергетикой. В ГНУ ВИЭСХ разработаны и запатентованы региональные и глобальные солнечные энергетические системы, позволяющие вырабатывать и доставлять электроэнергию потребителям независимо от времени суток и времён года. [6]. В качестве иллюстрации этого подхода на рис.3 приведена принципиальная схема глобальной солнечной системы.

Глобальная солнечная энергетическая система из трех солнечных электростанций мощностью 2,5 ТВт, площадью 200х200км<sup>2</sup>



Рис.4. Глобальная солнечная энергетическая система (на карте Мексики в масштабе показаны размеры солнечной электростанции; станции размещаются на территории пустынь)

Глобальная солнечная энергосистема соединена с национальными энергосистемами и состоит из трех СЭС, установленных в Австралии, Северной Африке и Латинской Америке. КПД СЭС равен 25%, пиковая электрическая мощность каждой СЭС 2,5 ТВт, размеры 200х200 км<sup>2</sup>.

На рис.5 приведены данные по выработке электроэнергии глобальной энергосистемой в течение года.

Из рассмотрения рис.4 видно, что глобальная солнечная энергосистема генерирует электрическую энергию круглосуточно и равномерно в течение года в объеме 20 000 ТВт·ч/год на уровне, соответствующем мировому потреблению. Это позволит перевести все угольные, газовые и атомные станции в мире в разряд резервных электростанций, уменьшить перегрев атмосферы и остановить изменение климата.

В качестве источника электрической энергии в резонансной глобальной солнечной энергосистеме может быть использована не только СЭС, но и энергоустановки, использующие другие ВИЭ (ГЭС, ВЭС, ГеоТЭС и др.).

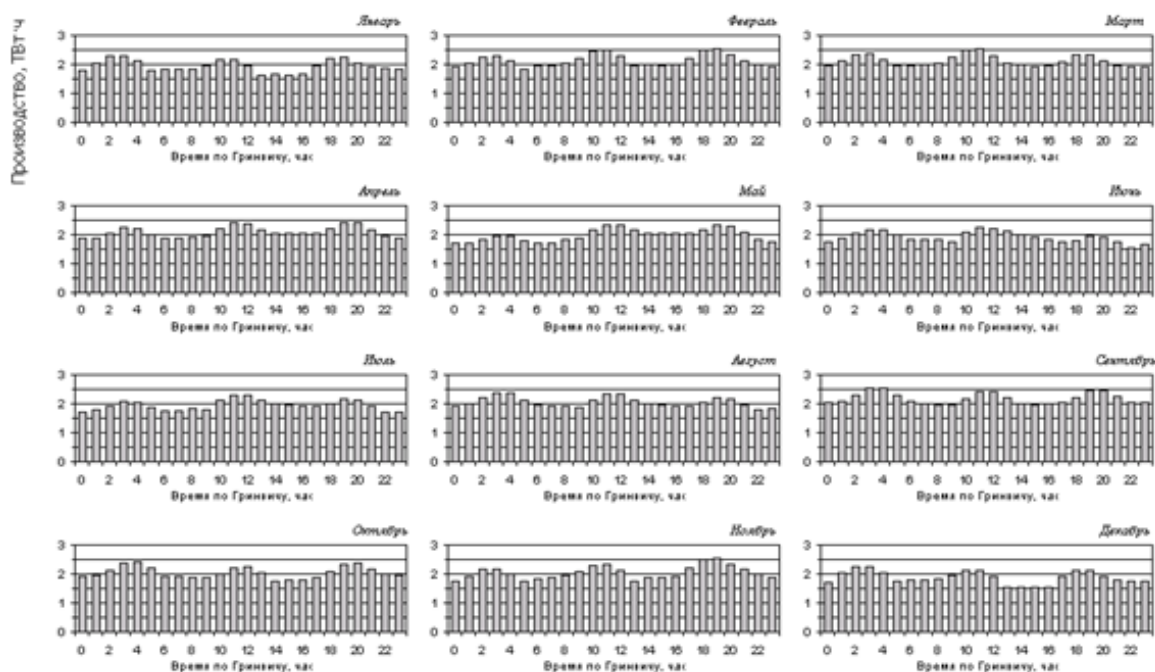


Рис.5. Выработка электроэнергии глобальной энергосистемой в течение года.

Среднемесячное производство электроэнергии глобальной солнечной энергосистемой, 17817,6ТВт·ч; ежегодное потребление электричества в Мире – 13810 ТВт·ч (2001)

Для создания региональных и глобальной солнечной энергетической системы в России созданы новые технологии, обеспечивающие конкурентоспособность солнечной энергетики по следующим критериям:

- КПД солнечных электростанций должен быть не менее 25%.
- Срок службы солнечной электростанции должен составлять 50 лет.
- Стоимость установленного киловатта пиковой мощности солнечной электростанции не должна превышать 2000 долл.
- Объем производства солнечных электростанций должен быть 100 ГВт в год.
- Производство полупроводникового материала для СЭС должно превышать 1 млн. т в год при цене не более 25 долл./кг.
- Круглосуточное производство электрической энергии солнечной энергосистемой.
- Материалы и технологии производства солнечных элементов и модулей должны быть экологически чистыми и безопасными.

Начало функционирования глобальной солнечной энергетической системы прогнозируется в 2050 г., выход на полную мощность в 2090 г. В результате реализации проекта доля солнечной энергетики в мировом потреблении электроэнергии составит 75-90%, а выбросы парниковых газов будут снижены в 10 раз.

Солнечная электроэнергетика нуждается в поддержке государства для законодательного обеспечения реализации пилотных и демонстрационных проектов, ждет частный капитал и нового Моргана, банкира, который 100 лет назад финансировал работы Н.Тесла. В ГНУ ВИЭСХ разработаны резонансные волноводные технологии

передачи электрической энергии, которые развивают работы Н.Тесла, получено 50 патентов.

Динамично развивающаяся солнечная энергетика, основанная на инновационных российских и мировых технологиях, является альтернативой топливной энергетике и в 2050 г. будет доминировать на рынке энергетически чистых технологий, а к концу 21 века обеспечит 75-90% всех потребностей Земли в электрической энергии.

## ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ

Годовое использование биомассы в мире эквивалентно потреблению 1 млрд. тонн нефти и сравнимо с уровнем потребления природного газа и угля. В Российской Федерации имеется 21% мировых ресурсов леса. Ежегодный прирост лесной биомассы в России составляет 800 млн. м<sup>3</sup>, из которых 50 % может быть использовано в биоэнергетике. Биотопливо может обеспечить 20% тепловой энергетики России. Для этого потребуется менее 20% расчетной лесосеки. В северных областях на биотопливо можно перевести 60% котельных [7].

Энергетические установки, использующие биомассу и отходы, в частности сельскохозяйственного производства, могут дать столько же энергии, сколько все атомные станции в России и все нефтяные месторождения республики Коми. Получение и использование этого топлива, а также смесового и модифицированного топлива позволит пополнить энергобаланс сельских предприятий и регионов и в значительной мере снизить зависимость от централизованных закупок ископаемого топлива и электроэнергии [8,9]. По оценкам экспертов, доля биоэнергетики в мировой энергетике возрастет с 10% в 2010 г. до 40% в 2060 г. (таблица 1).

**Таблица 1. Доля биоэнергетики в мировой энергетике**

Годы	%
2010	10
2030	20
2060	40

**Таблица 2. Темпы роста европейского рынка биотоплива**

Годы	%
2008	42,8
2009	28,6
2010	17
2015	12,8

Биоэнергетика - единственный источник энергии для 2 млрд. человек с доходом 1 долл./сутки.

Европейский рынок биотоплива в 2010 году составил 28,2 млрд. долларов, что эквивалентно 102 млн. баррелей нефти, в 2015 году будет 56,6 млрд. долларов. Новая директива ЕЭС требует соблюдения принципа устойчивого развития при производстве биотоплива: не уменьшать качество жизни, не нарушать продовольственную безопасность, не увеличивать нормы выброса парниковых газов. С введением этой директивы связано снижение темпов роста европейского рынка биотоплива (таблица 2), поскольку для производства биотоплива первого поколения использовались продовольственные культуры.

Виды биотоплива: топливная древесина, древесный уголь, биодизель, биоэтанол, биогаз (метан), биоводород. Преимущества биотоплива: снижение зависимости от нефти, снижение выбросов парниковых газов. Для производства биотоплива первого поколения используются продовольственные культуры: кукуруза, рапс и др. Развитие биотоплива имеет значительные последствия для продовольственной безопасности и окружающей среды, в случае, если для производства биотоплива используются продовольственные культуры, земельные и водные ресурсы. Сырье для биотоплива второго поколения: целлюлозная биомасса энергетических плантаций, рисовая шелуха, отходы сахарного производства, сельскохозяйственные и городские отходы.

Применение биогазовых установок на животноводческих фермах обеспечивает получение дополнительной энергии в виде биогаза и высококачественных органических удобрений, а также позволяет значительно снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Как теплоэнергетическое сырье навоз животных и помет птиц может служить для выработки горючего биогаза путем его аэробного и анаэробного метанового сбраживания. Из 1 тонны сухого вещества навоза в результате сбраживания при оптимальных условиях можно получить 340 м<sup>3</sup> биогаза, или в пересчете на одну голову крупного рогатого скота (КРС) 2,5 м<sup>3</sup> в сутки, а в течение года примерно 900 м<sup>3</sup>.

Стоимость биогазовой станции (БГС) – 4-6 млн. евро; время переработки – 20 дней (КРС), 55 дней (птицефабрика); санитарно-защитная зона свиноводческой фермы на 100000 голов: 12 км без БГС; 300 м с БГС.

В ГНУ ВИЭСХ в 2011 г. разработана установка для получения котельного биотоплива из органических отходов.

На рис. 6 представлены гидродинамические установки для смешивания многокомпонентных жидких сред разработки ГНУ ВИЭСХ.



Рис.6а. Установка для получения смешанного биодизельного топлива производительностью 2 тонны в час



Рис.6б. Установка для получения смешанного водомазутного топлива производительностью 2 тонны в час

Пиролизные энергетические установки используются для получения котельных топлив, пиролизного газа тепла и электроэнергии. Преимущества: нагрев до 700°С в отсутствие кислорода, продукты сгорания и зола, нетоксичны, нет сточных вод.

В таблице 3 показаны фракции биотоплива из сухой биомассы при различных температурах пиролиза.

**Таблица 3. Фракции биотоплива из сухой биомассы при различных температурах пиролиза**

Технология	Температура и время процесса	Фракции биотоплива		
		Жидкое	Древесный уголь	Газ
Быстрый пиролиз	600° С	75%	12%	13%
Медленный пиролиз	400° С	30%	35%	35%
Газификация	800° С	5%	10%	85%

Примеры. Пиролизный теплогенератор на биомассе с влажностью до 30% тепловой мощностью 1,5 МВт производства Псковского завода СПиКо. Разработаны пиролизные печи на биомассе с продолжительностью работы на одной закладке дров 3-6 суток. Пиролизные печи на пеллетах с ресурсом непрерывной работы в автоматическом режиме в течение всего отопительного сезона.

Мини-ТЭЦ с модулем пиролиза опилок разработки ГНУ ВИЭСХ показана на рис. 7.



Рис. 7. Образец мини-ТЭС электрической мощностью в диапазоне 30-100 кВт с модулем пиролиза производительностью 1 тонна растительного сырья в сутки

Жидкое топливо может использоваться в качестве печного топлива в котельных, а после модификации в качестве моторного топлива [5-8]. Себестоимость жидкого топлива при цене сырья 20 долл./т составляет 200 долл./т. Затраты энергии на собственные нужды не превышают 15 % от энергии перерабатываемого сырья.

Пиролизные энергетические установки используются для получения котельных топлив, пиролизного газа тепла и электроэнергии. Преимущества: нагрев до

700°С в отсутствие кислорода; продукты сгорания и зола, нетоксичны, нет сточных вод.

Разработаны пиролизные печи на биомассе с продолжительностью работы на одной закладке дров 3-6 суток. Пиролизные печи на пеллетах с ресурсом непрерывной работы в автоматическом режиме в течение всего отопительного сезона.

В России находятся в эксплуатации 80 000 паровых котельных с производительностью 10-100т/час и давлением пара 13 ати для новых котлов и 7-8 ати для старых котлов. Неиспользуемый перепад давления пара 3-6 ати с расходом 6-50т/час можно использовать для получения 200-1500 кВт электрической мощности в паровых винтовых машинах и паровых поршневых машинах. Паровые винтовые машины разработаны в России, защищены 25 патентами. Удельный расход топлива 140-145 г. у.т./кВт·ч, электрическая мощность 800 кВт, срок окупаемости 1,5 года. Паровые поршневые машины потребляют до 40 т пара в час при давлении пара 6-60 бар, электрическая мощность до 1500 кВт.

Разработаны новые сорта быстрорастущих деревьев и растений (рис. 8) для энергетических плантаций.



Рис. 8. Энергетические плантации Сорго в Ростовской области селекции чл-корр. РАСХН Б.Н. Малиновского (справа). Урожайность 80 т/га, выход биотоплива 7 т/га

Площадь энергетических плантаций, необходимая для производства жидкого топлива и электроэнергии по новой технологии, составляет:

- жидкое топливо: в объеме 1 млн. тонн (15% от потребности) - 250 тыс. га;
- электроэнергия: в объеме 9 млрд. кВт·ч (15% от потребности) - 150 тыс. га.
- для обеспечения сельского хозяйства РФ на 100% в топливе и электроэнергии - 3,5 млн. га.

В таблице 4 представлены объемы производства масла из различного сырья с одного гектара [10].

Микроводоросли, используемые для производства биотоплива третьего поколения, имеют выход с

одного гектара в 60 раз больше, чем рапс и другие продовольственные культуры. [10].  
Основные компоненты закрытых фотобиореакторных систем: реакторные емкости, источник освещения,

система очистки, система регулирования параметров, система сбора продуктов.

**Таблица 4. Объемы производства масла из различного сырья с одного гектара**

	кг масла/га	литров масла/га		кг масла/га	литров масла/га
кукуруза	145	172	рыжик (растение)	490	583
кешью	148	176	кунжут	585	696
овес	183	217	рис	696	828
люпин	195	232	подсолнечник	800	952
календула	256	305	какао	563	1026
хлопок	273	325	арахис	890	1059
конопля	305	363	мак	978	1163
soя	375	446	рале	1000	1190
кофе	386	459	олива	1019	1212
лён	402	478	кастор	1188	1413
лесной орех	405	482	кокос	2260	2689
семена тыквы	449	534	пальмовое масло	5000	5950
кориандр	450	536	водоросли	-	95000
семена горчицы	481	572	рапс	-	1500

Завод по производству биодизеля снабжается растительными маслами, полученными при экстракции сырья, производимого на фермах по промышленному выращиванию водорослей; остаточная биомасса перерабатывается в биоэтанол и используется для кормления животных; завод по производству биодизеля и комплекс водорослевых ферм использует непитьевую (техническую) или соленую воду; не потребляет традиционные топлива (нефть, уголь), а самообеспечивается электрической и тепловой энергией; комплекс не загрязняет окружающую среду выбросами углекислого газа, а использует CO<sup>2</sup> в замкнутом цикле.

#### Литература

- [1] Renewable Energy Focus, March/April 2011, p. 1, 4. 52-54.
- [2] Photon International, March 2011, p. 1. 186.
- [3] Bioenergy International, 2011, № 3 (20), p. 14.
- [4] Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения. М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2007, 315 с.
- [5] Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2009, т. 1, 118 с, т. 2, 227 с, т. 3 310 с.
- [6] Стребков Д.С., Некрасов А.И., Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2008, 351 с.
- [7] Bioenergy International, 2011, № 3 (20), p. 14.
- [8] Стребков Д.С. Энергетическое использование биомассы. // Возобновляемая энергия, 1998, № 3, с. 9-12.
- [9] Strebkov D.S., Bezrukikh P.P., Tyukhov I.I. Biomass energy conversion in Russia World Renewable Energy Congress. Energy Efficiency, Policy and the Environment, 1998, Italy, Florence, p. 2012-2015.
- [10] Росс М.Ю., Стребков Д.С. Биодизельное топливо из водорослей. –М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2008, 251 с.

#### Информация об авторах



**Стребков Дмитрий Семенович** родился 11 марта 1937 г. в г. Винница Украинской ССР. В 1959 г. окончил факультет электрификации и электрификации института механизации и электрификации сельского хозяйства - МИМЭСХ (ныне Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина). С 1960 по 1987 г. ВНИИТ, инженер – зам. главного конструктора. С 1987 г. по настоящее время директор Всероссийского (до 1992 г. Всесоюзного) научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ). С 1987 г. член-корреспондент, а с 1997 г. - действительный член Россельхозакадемии. 1971-кандидат, 1983 г.-доктор технических наук.



**Харченко Валерий Владимирович** родился 18 декабря 1938 года. После окончания средней школы в городе Владикавказ поступил в Ташкентский политехнический институт. После его окончания много лет работал в Ташкенте в различных организациях по электронному материаловедению, в частности, по получению кремния, в том числе и для солнечных элементов. С 2003 года работает в ВИЭСХ в должности главного научного сотрудника. Основное направления исследований - технологии возобновляемой энергетики. Кандидат химических наук (1969), доктор технических наук (1987). Основное направления исследований - технологии возобновляемой энергетики. Кандидат химических наук  
E-mail: [kharval@mail.ru](mailto:kharval@mail.ru)