

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ИМ. Б.И. СТЕПАНОВА  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»**

**«Научно-практические разработки в сфере  
фотовольтаики в Республике Беларусь»**

докл. Залесский Валерий Борисович, к.т.н.,

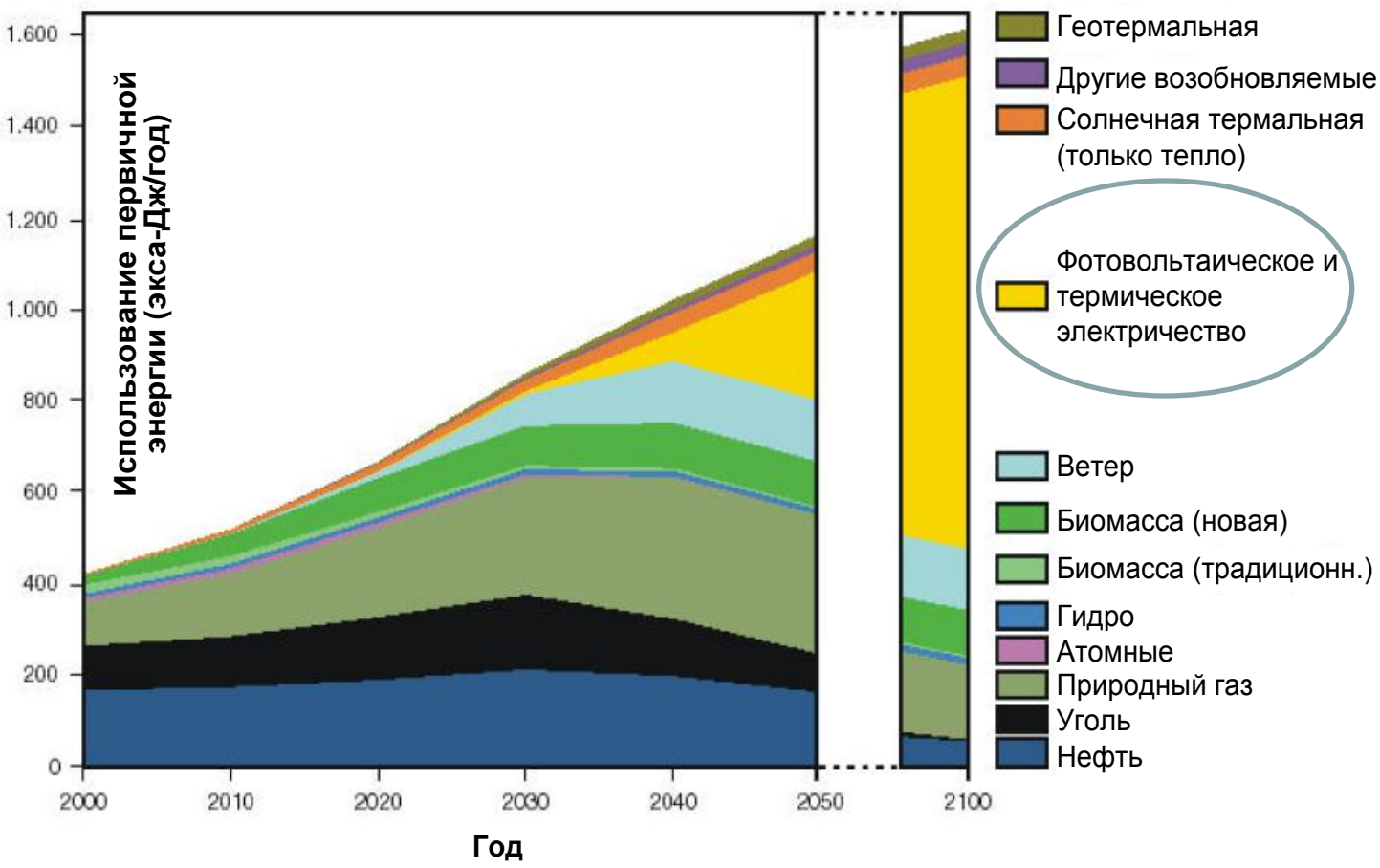
*Лаборатория фотоэлектрических преобразователей*

тел. +375 281-32-29 ,

E-mail: [zalesski@inel.bas-net.by](mailto:zalesski@inel.bas-net.by)

Минск 2012

# Возможный сценарий для Европы в 2050 году

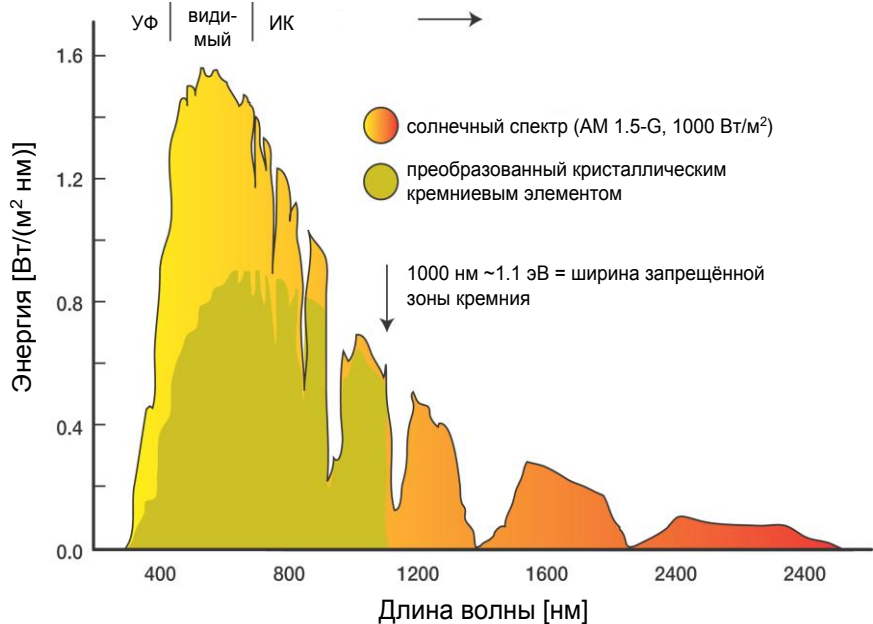


Солнечные  
элементы на  
каждой крыше



Солнечные  
электростанции

# Преобразование энергии Солнца в электричество



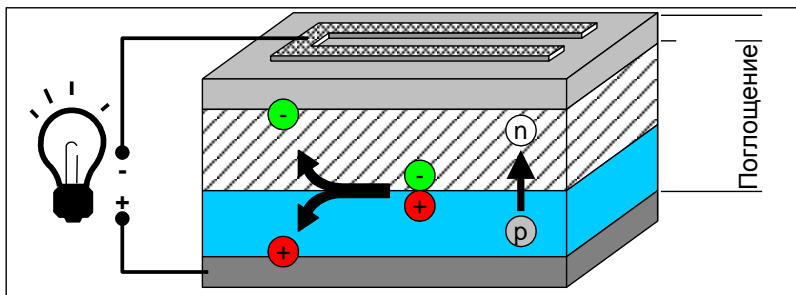
Смонтированная на крыше 100 кВт фотоэлектрическая установка на выставочной площади, Торонто, Онтарио, Канада

## Принцип работы солнечного элемента

Падающая мощность (AM 1.5):  
1000 Вт/м<sup>2</sup>



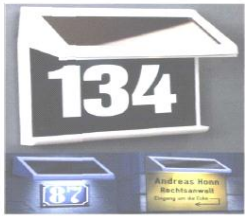
150 Вт/м<sup>2</sup> для СЭ с КПД 15%



# Целевой рынок

## Применения

Бытовая техника



Автономные системы



Жилые дома



Промышленность



Крупномасштабное промышленное применение



## Величина системы

1 Вт<sub>уст</sub>

10 Вт<sub>уст</sub>

100 Вт<sub>уст</sub>

1 кВт<sub>уст</sub>

10 кВт<sub>уст</sub>

100 кВт<sub>уст</sub>

1 МВт<sub>уст</sub>

10 МВт<sub>уст</sub>

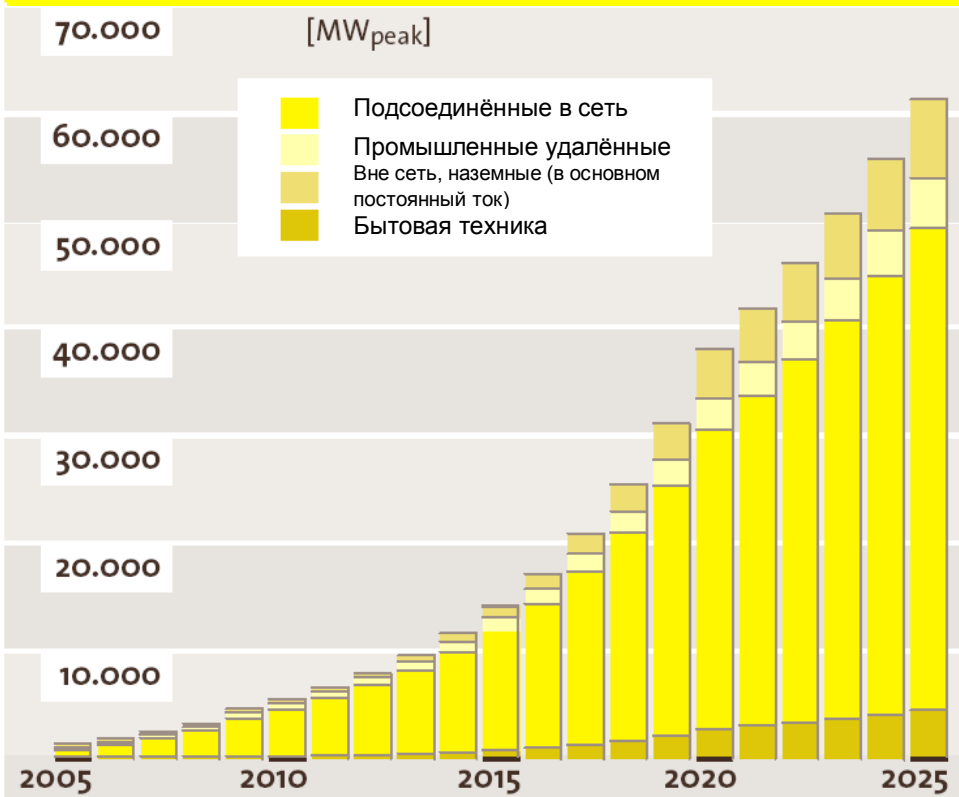
>50 МВт<sub>уст</sub>

# Преимущества СЭ

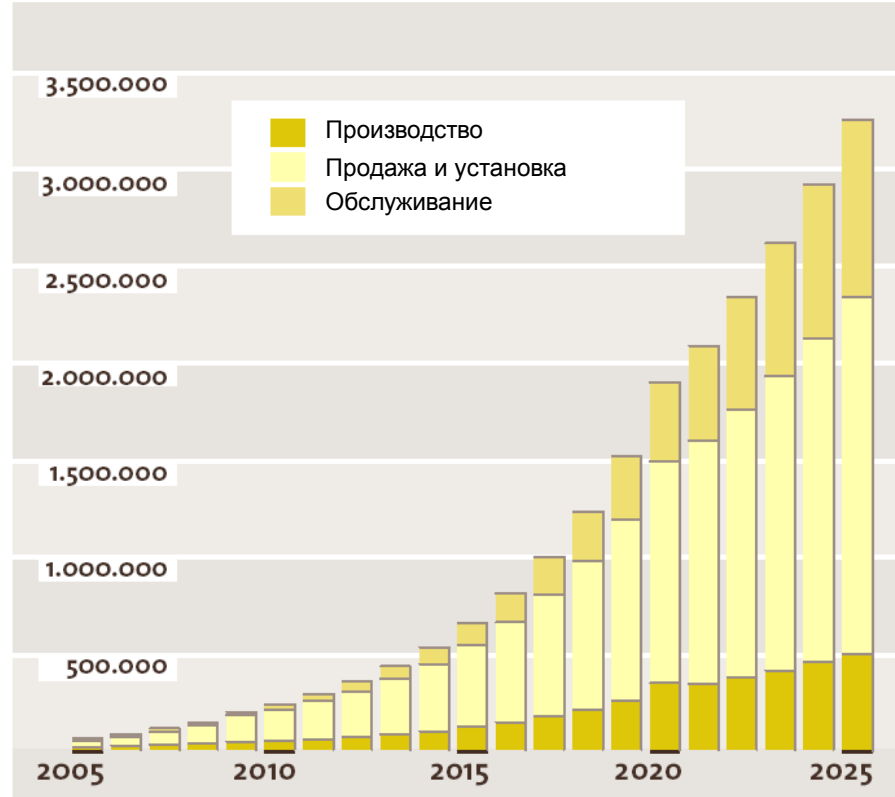
- практически бесконечный источник возобновляемой энергии, доступный всем странам;
- экологически чистый, нет никаких выбросов в атмосферу при эксплуатации;
- локализация источника энергии, ФЭС можно устанавливать непосредственно возле потребителя, при этом могут быть задействованы неиспользуемые площади на крышах, фасадах зданий и т.п.;
- прямое преобразование солнечной энергии в электрическую энергию, т.е. нет никаких промежуточных этапов, нет механических частей и т.п., это значительно повышает надежность и долговечность всей системы, увеличивает КПД;
- оперативность получения энергии за счёт монтажа отдельных ФЭС необходимой мощности у конкретного потребителя и быстрая отдача вложенных средств, которые могут быть использованы для воспроизводства;
- универсальность ФЭС – солнечные элементы могут использоваться для энергопитания любых объектов;
- фотовольтаические системы не нуждаются в ярких солнечных днях для работы, они работают также в облачные дни.

# Перспективы в мире

## Рост рынка фотовольтаики



## Рабочие места в мире в области фотовольтаики



# Недостатки СЭ

- Среднесуточная и годовая неритмичность в производстве «солнечной» электроэнергии без использования аккумуляторов энергии
- Дороговизна СЭ и электроэнергии
- Большие занимаемые площади под СЭС
- Дефицит сырья

# Влияние погодных условий

## ТИПИЧНОЕ ПРОЦЕНТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

Безоблачно и солнечно	Неясно	Частично облачно	В основном облачно	Сплошная облачность	Сильная облачность
~90% до ~115%	~85% до ~100%	~60% до ~120%*	~30% до ~100%	~20% до ~60%	~10% до ~40%
<b>A</b>		<b>B</b>	<b>C</b>		<b>D</b>
* Повышение за счёт отражения от близких облаков					



A

B

C

D

Пасмурных дней (по общей облачности) в Беларуси от 175 на северо-западе до 135 на юго-востоке, ясных дней на северо-западе – 30–35 за год, на юго-востоке до 40–42

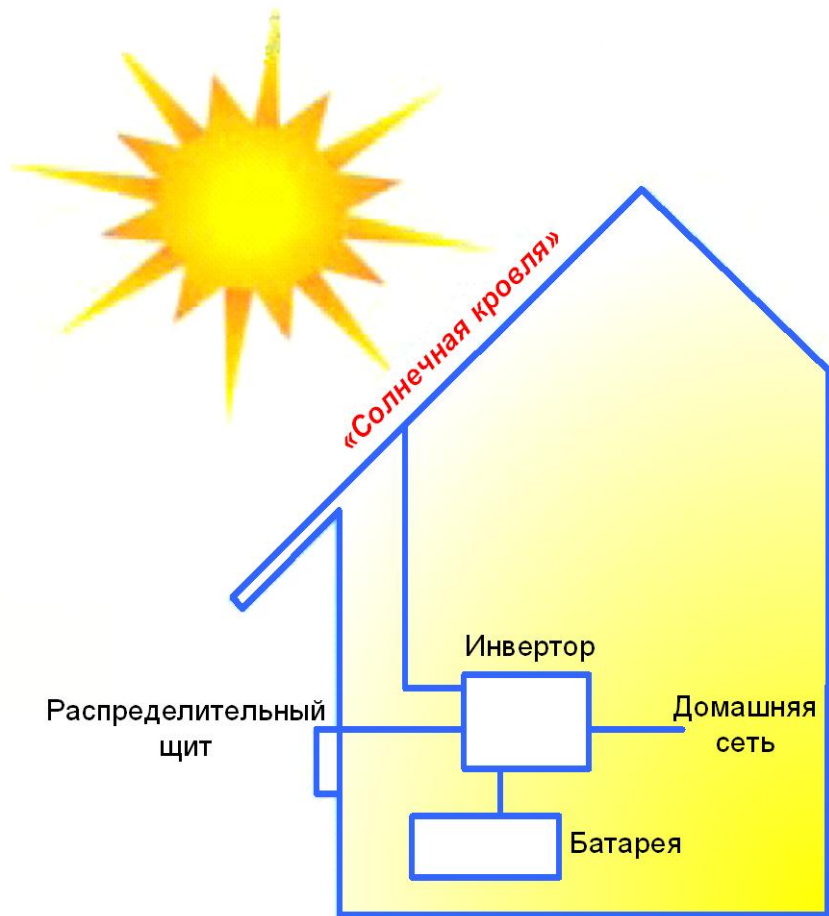
Источник: Гидрометеоцентр РБ



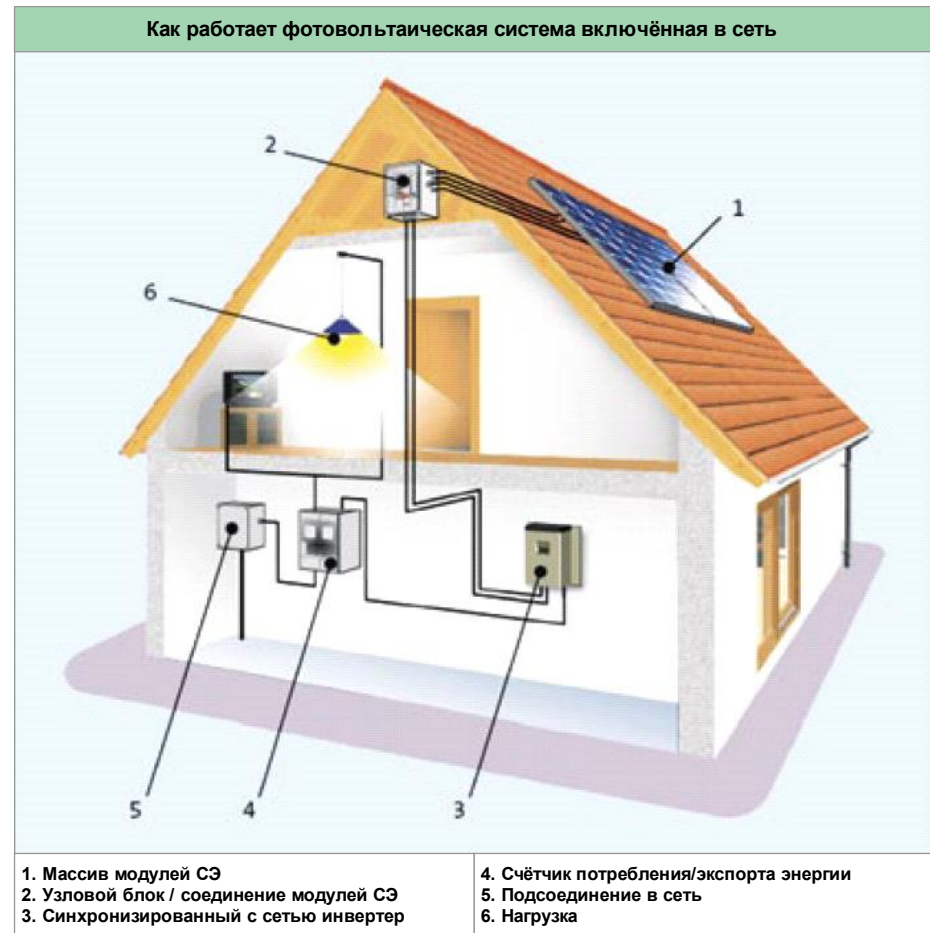


# Типичные схемы использования модулей солнечных элементов

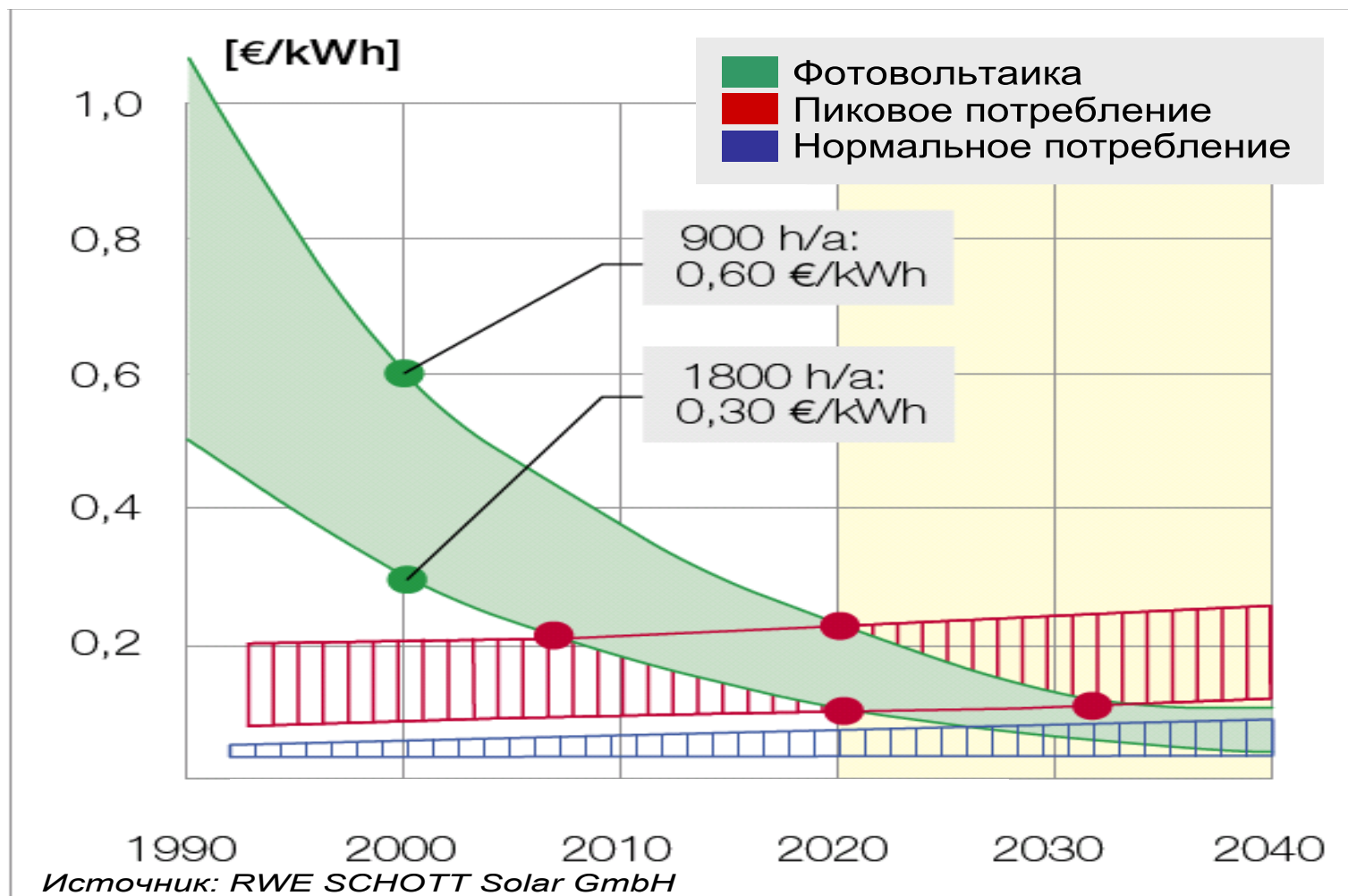
Не подключенный к сети



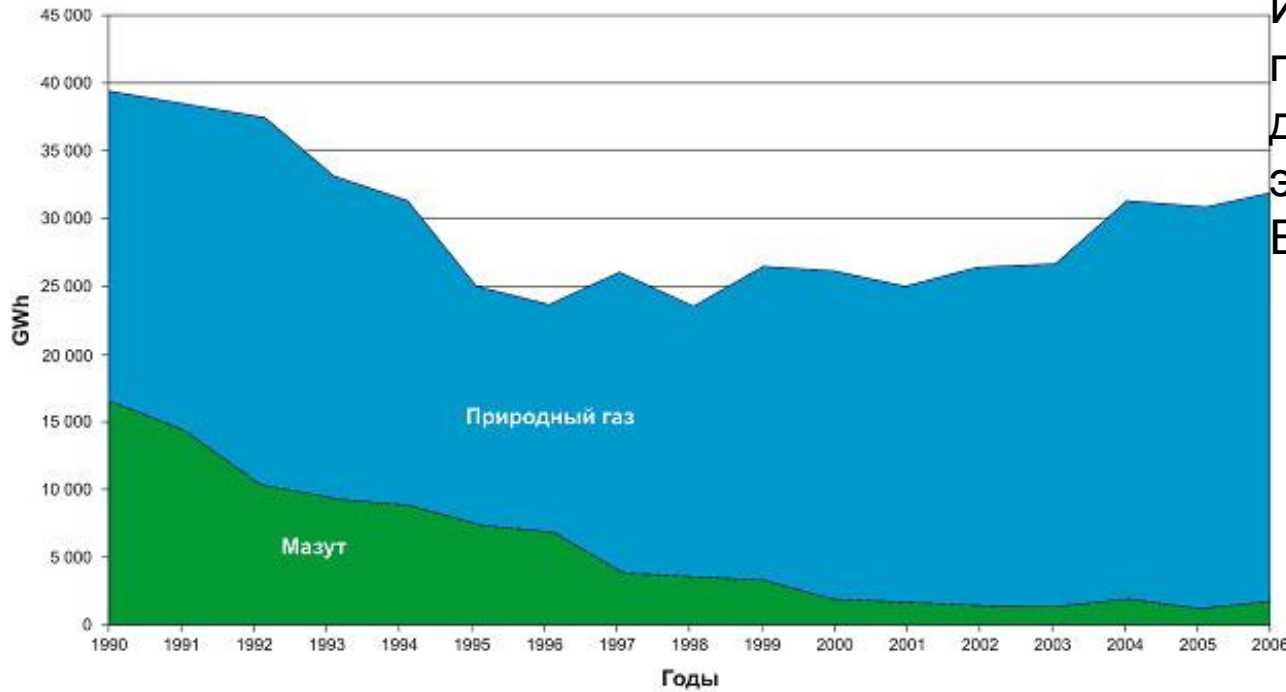
Подключенный к сети



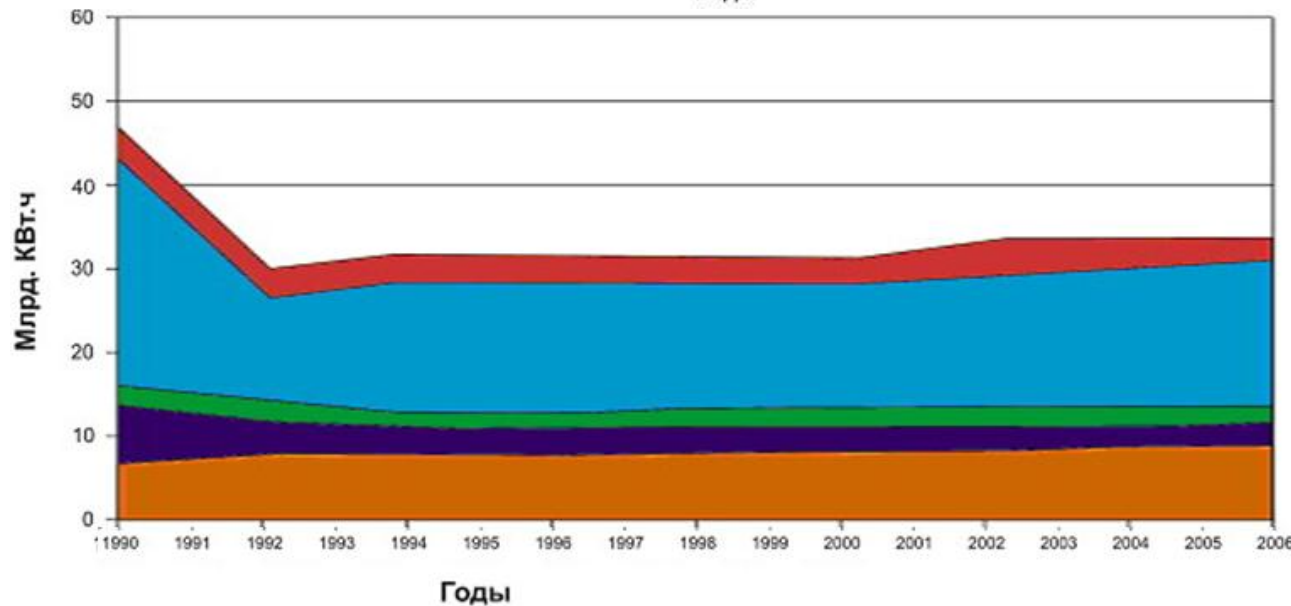
# Прогноз изменения стоимости электроэнергии



Изменение структуры потребления топлива для выработки электроэнергии в Беларуси в 1990-2006 гг.

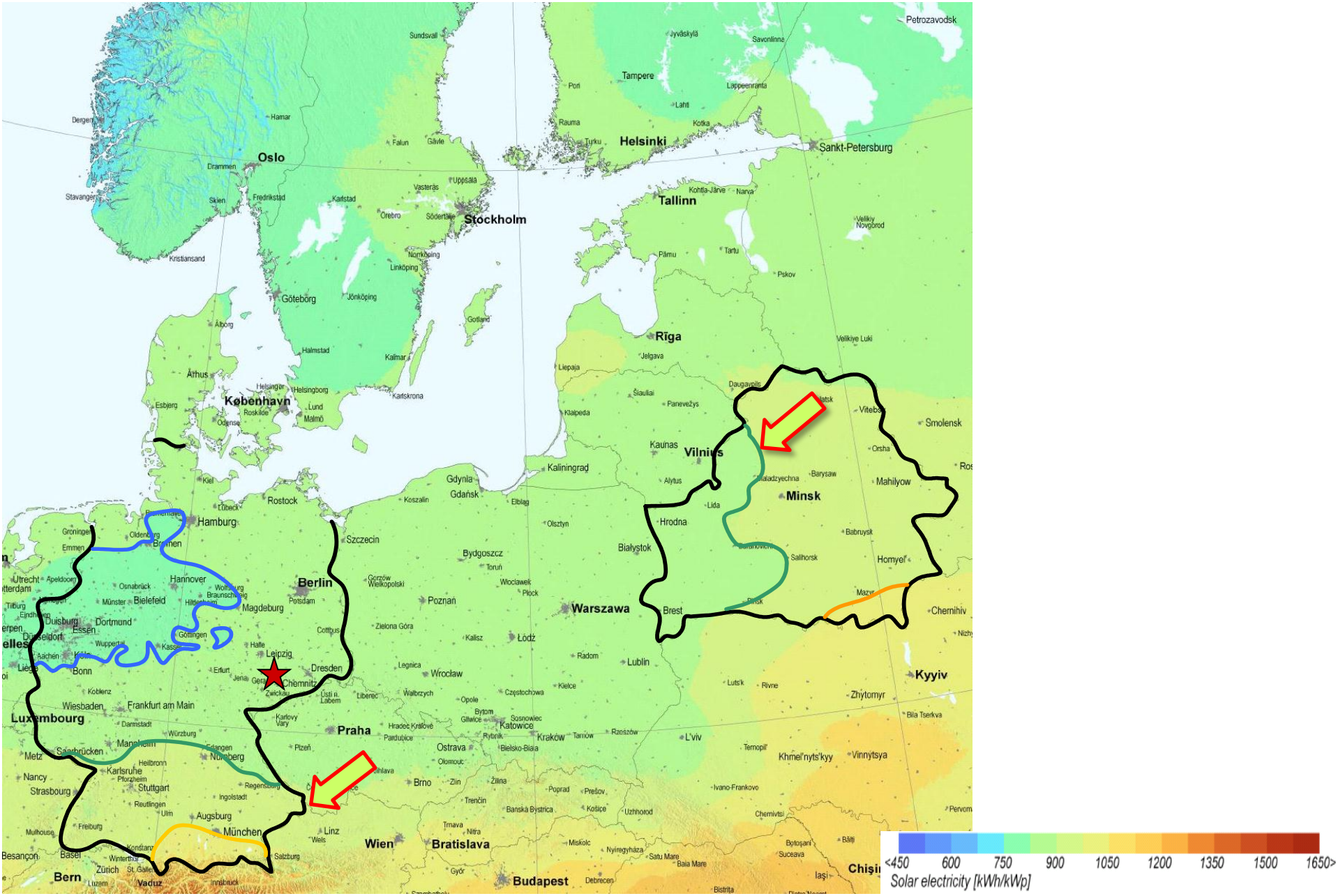


Структура потребления электроэнергии в республике

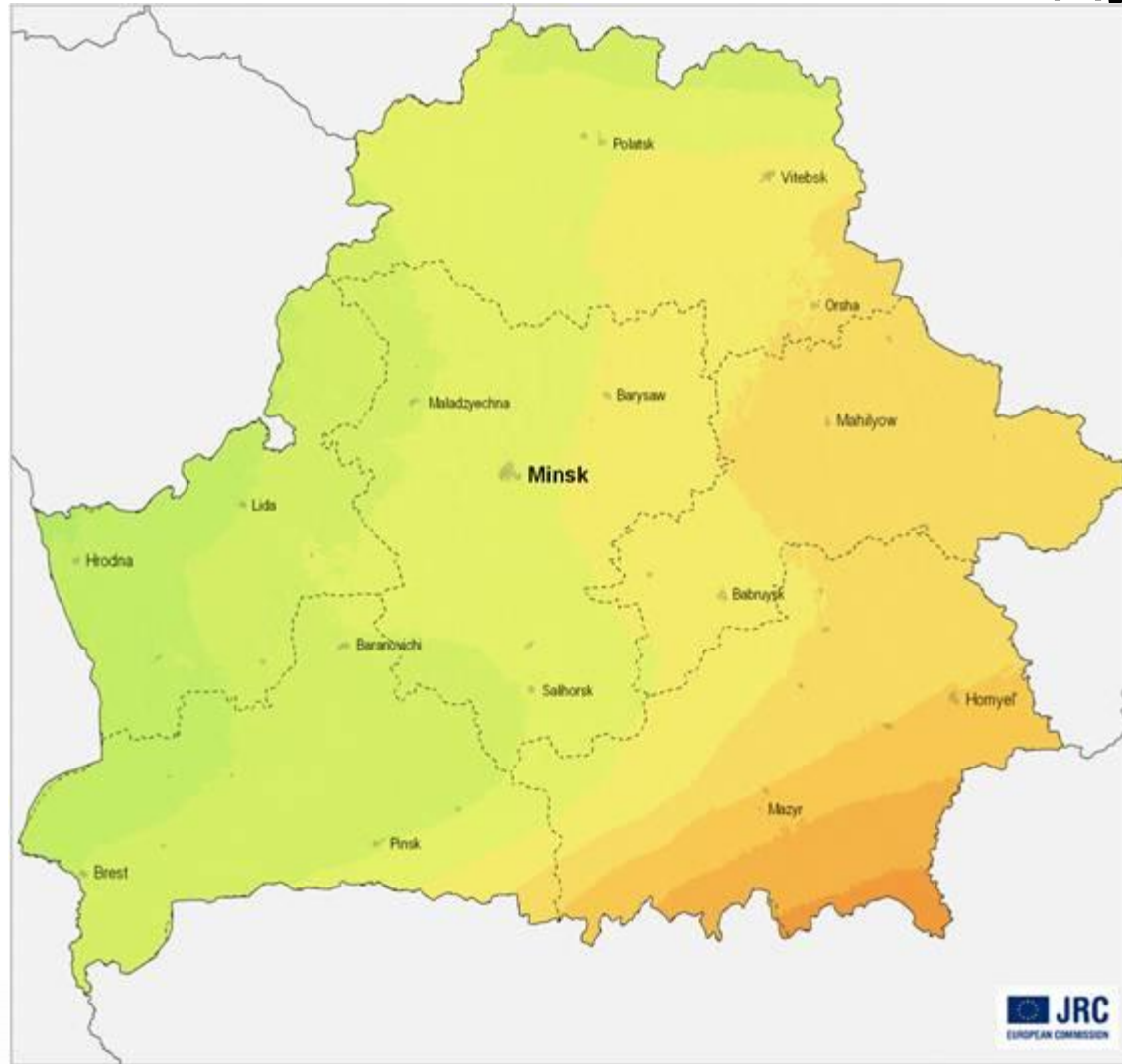


- Потери в электросетях
- Промышленностью и строительством
- Транспортом
- Сельским хозяйством
- Другими отраслями

# Потенциал гелиоэнергетики в европейских странах (кВт·ч за год на 1 кВт установленной мощности)



# Глобальное излучение и потенциал производства электричества для оптимально наклоненных PV модулей



Authors: M. Šuri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop  
PVGIS © European Communities, 2001-2008  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

0 25 50 100 km

Yearly sum of global irradiation [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ]

<1150 1200 1250 1300 1350

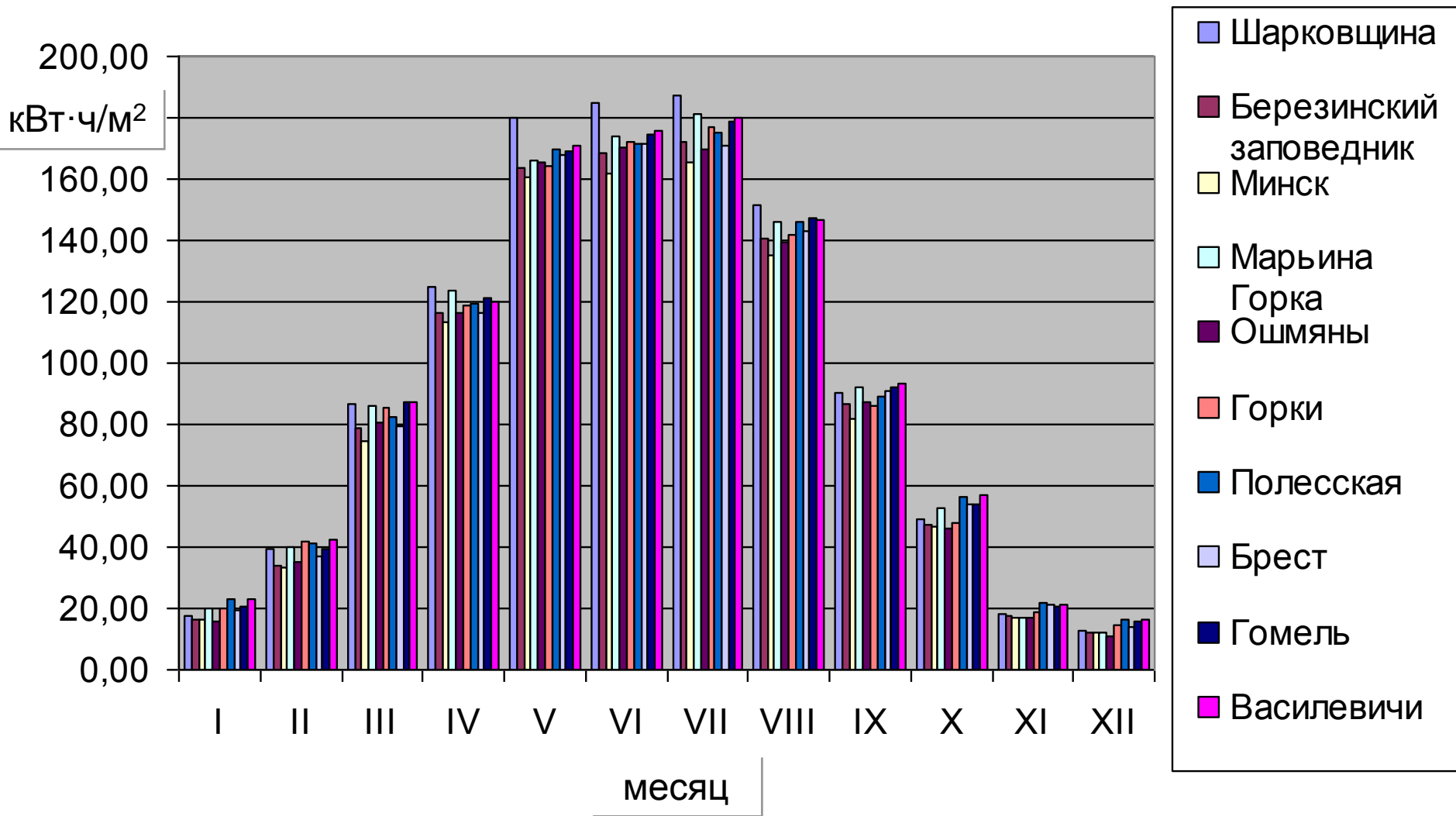
<863 900 938 975 1013

Yearly electricity generated by  $1\text{kW}_{\text{peak}}$  system with performance ratio 0.75 [ $\text{kWh}/\text{kW}_{\text{peak}}$ ]

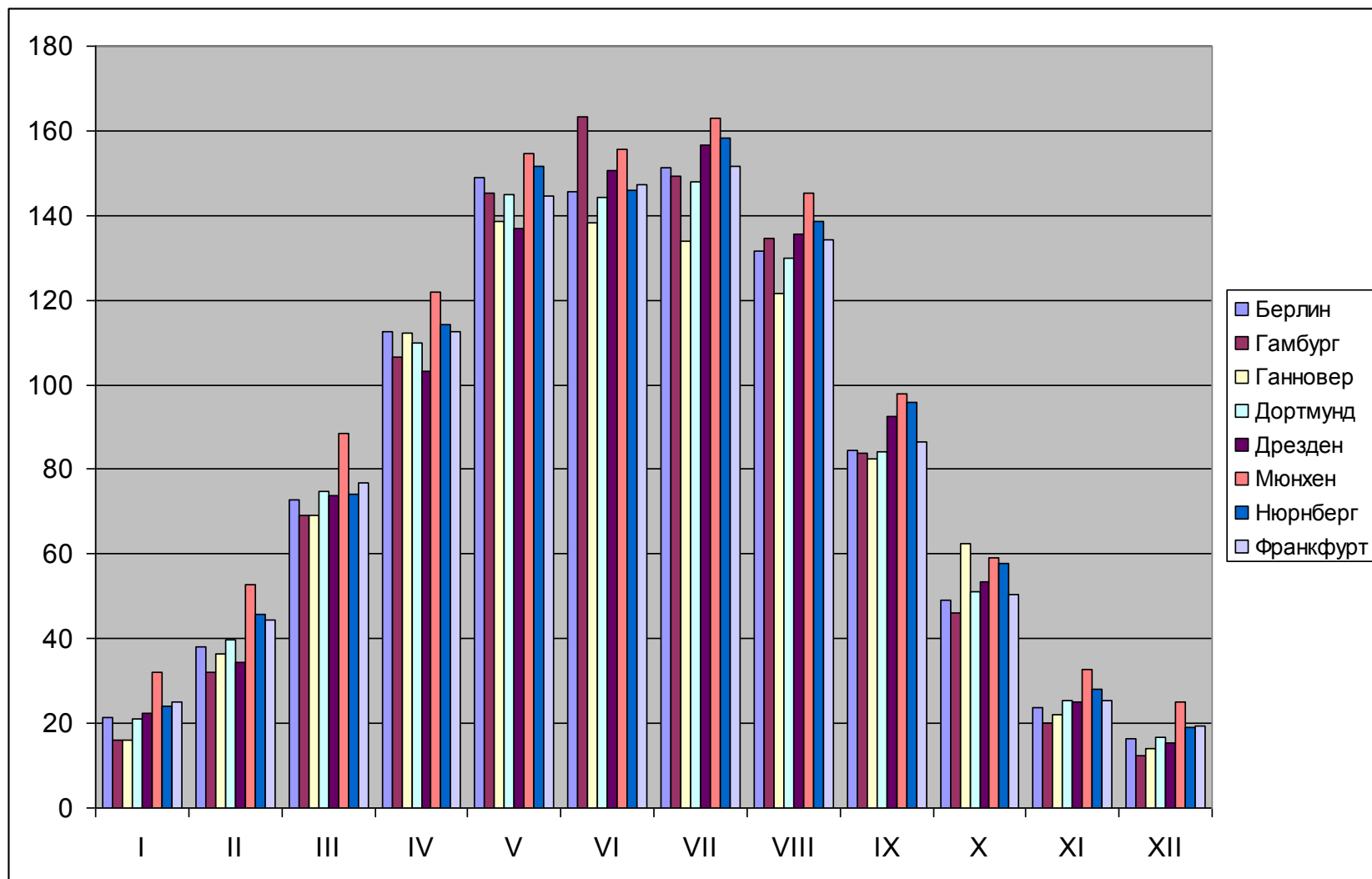
# Среднемесячная мощность падающего излучения на территории Беларуси и Германии ( кВт\*час/м<sup>2</sup> в день)

Город	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	среднее	широта	долгота
Брест	0.8800	1.5700	2.5900	3.6800	4.9000	4.8000	4.8000	4.3800	2.7800	1.6400	0.9100	0.6900	2.8017	52.12	23.68
Верхнедвинск	0.6800	1.3500	2.4900	3.8400	5.0800	5.1500	5.1100	4.3300	2.7400	1.5000	0.7800	0.5100	2.7967	55.82	27.95
Витебск	0.6800	1.3600	2.4900	3.8300	5.0700	5.1400	5.1200	4.2300	2.6800	1.4800	0.7700	0.5000	2.7792	55.17	30.13
Гомель	0.9300	1.6500	2.7500	3.8000	4.9700	5.0800	5.0300	4.4000	2.8700	1.7000	0.9100	0.6900	2.8983	52.45	31.00
Гродно	0.8100	1.4700	2.4900	3.6100	4.7800	4.7000	4.7100	4.2900	2.7100	1.5400	0.8200	0.6100	2.7117	53.68	23.83
Минск	0.5800	0.9400	2.5900	3.1400	4.9800	5.2000	5.0800	3.9300	2.4100	1.3400	0.5200	0.3300	2.5867	53.93	27.63
Могилёв	0.8500	1.5900	2.6800	3.7500	4.8400	4.9600	4.9300	4.2700	2.7600	1.6000	0.8400	0.6300	2.8083	53.90	30.32
Петриков	0.9000	1.6300	2.6600	3.7300	4.8600	4.8600	4.8600	4.3200	2.7600	1.6500	0.9200	0.6900	2.8200	52.13	28.49
Город	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	среднее	широта	долгота
Берлин	0.69	1.33	2.35	3.75	4.80	4.85	4.88	4.24	2.82	1.58	0.79	0.53	2.7175	52.57	13.32
Гамбург	0.52	1.13	2.23	3.55	4.69	5.44	4.82	4.34	2.79	1.49	0.67	0.40	2.6725	53.63	10.00
Ганновер	0.52	1.28	2.23	3.74	4.47	4.61	4.32	3.92	2.75	2.01	0.74	0.45	2.5867	52.47	9.70
Дортмунд	0.68	1.39	2.41	3.66	4.67	4.81	4.77	4.19	2.80	1.65	0.85	0.54	2.7017	51.51	7.48
Дрезден	0.72	1.21	2.38	3.44	4.42	5.02	5.05	4.37	3.08	1.72	0.83	0.50	2.7283	51.12	13.68
Мюнхен	1.03	1.85	2.86	4.06	4.99	5.19	5.26	4.69	3.26	1.91	1.09	0.81	3.0833	48.13	11.55
Нюрнберг	0.78	1.61	2.39	3.81	4.89	4.86	5.11	4.47	3.19	1.86	0.94	0.61	2.8767	49.50	11.08
Франкфурт	0.81	1.56	2.48	3.75	4.66	4.91	4.89	4.33	2.88	1.63	0.85	0.62	2.7808	50.05	8.60

# Суммарная радиация (лучистая энергия) на территории РБ (кВт·ч/м<sup>2</sup>)



# Суммарная радиация (лучистая энергия) на территории Германии (кВт·ч/м<sup>2</sup>)





# Расчёт себестоимости

При средней по Беларуси мощности падающего излучения 1100 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год и средней эффективности солнечных модулей равной 15% выработка «солнечной» электроэнергии за год работы составит:

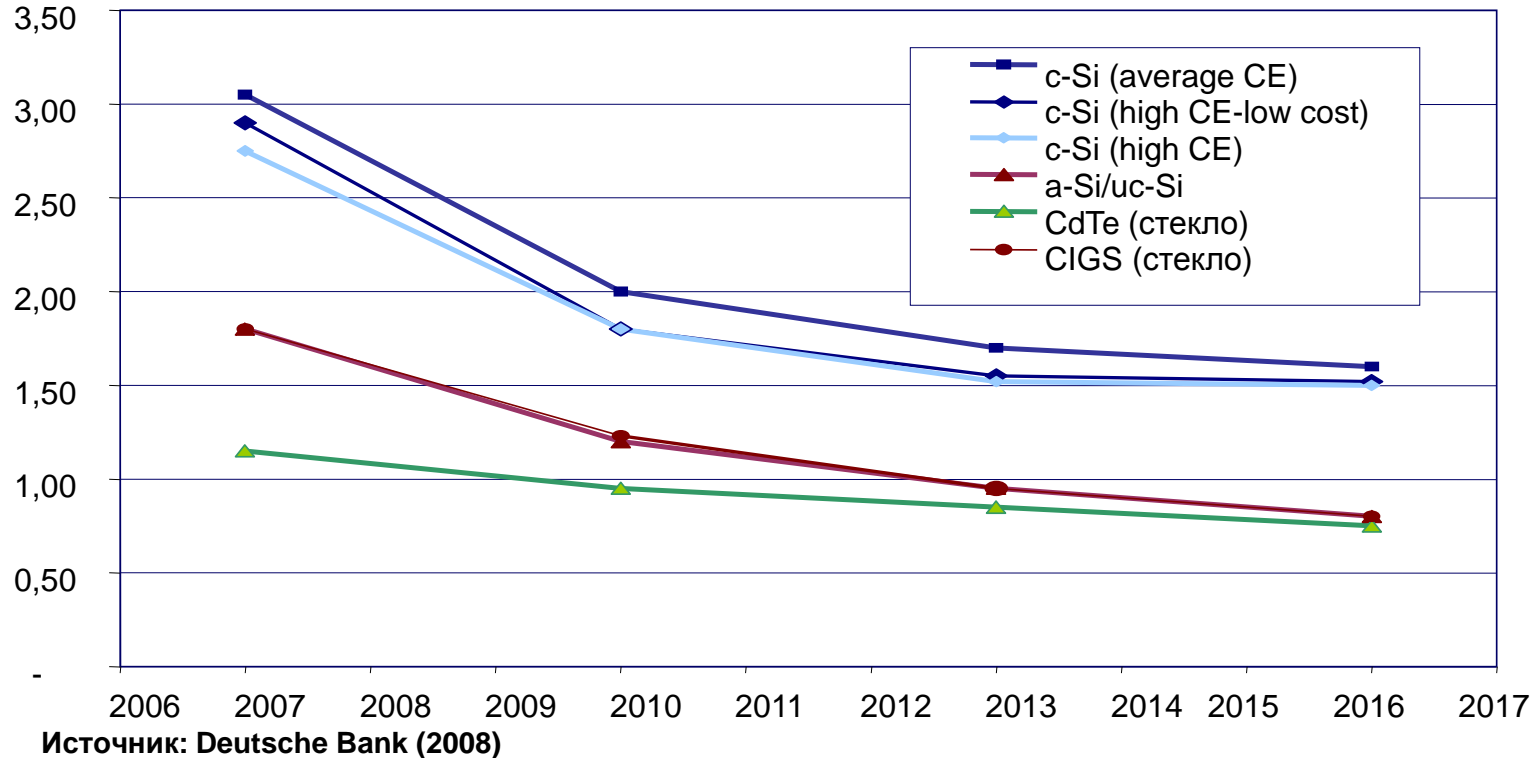
$$P = 1100 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^2 \times 0,15 = 165 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^2 \text{ в год}$$

Расчет площади для покрытия потребности РБ в энергии:  
 $30 \cdot 10^9 \text{ кВт}\cdot\text{час} / 165 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  равно  $1,8 \times 10^8 \text{ м}^2$  или  $180 \text{ км}^2$   
(13,4x13,4 км.) ( площадь РБ -207,6 тыс. км<sup>2</sup>)

Стоимость электроэнергии получаемой от СФЭУ при стоимости 4 тыс. долл./кВт при сроке службы 20 лет составит : $C = 4000\$/\text{кВт} / (20 \text{ лет} \times 165 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^2 \times 10 \text{ м}^2) \text{ в год} = 12 \text{ центов}/\text{кВт}\cdot\text{час}$

# Стоимости производства (прогноз)

MANUFACTURING COSTS (USD/W<sub>p</sub>)



- c-Si технологии уменьшат стоимость производства через увеличение эффективности (15-20%) и уменьшение стоимости Si (PV Si), но асимптотически будет приближаться к 1,5 \$/Вт<sub>уст</sub>
- a-Si/μc-Si и CIGS должны иметь тоже общее направление и стоимости производства уменьшатся ниже 0,75\$/Вт<sub>уст</sub> (близко к CdTe)
- CdTe остаётся и будет лучшей технологией в терминах стоимости производства

# **К О Н Ц Е П Ц И Я**

## **государственной целевой народнохозяйственной программы создания и развития сектора солнечной фотоэлектрической энергетики Республики Беларусь**

Основаниями для разработки проекта настоящей концепции являются поручения Премьер-министра Республики Беларусь С.С. Сидорского от 29.10.2007 №34/540-382 о промышленном освоении солнечных элементов на сложных полупроводниках и Первого заместителя Премьер-министра Республики Беларусь В.И. Семашко от 21.11.2007 № 34/540-431 о разработке проекта программы по созданию солнечной энергетики.

Проект концепции разработан межотраслевой рабочей группой, состав которой утвержден на межведомственном совещании под председательством Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси М.В. Мясниковича по вопросу разработки проекта целевой государственной программы по созданию солнечной фотоэлектрической энергетики, состоявшемся 22.12.2007 (протокол №35).

# Основания для постановки данной программы

Основанием для постановки данной программы явились следующие предпосылки:

1. Наличие в Республике необходимых условий для развития наукоёмкой фотоэнергетики: научно - производственный опыт разработчиков и изготовителей, сравнительно большое количество незагруженной материально - технической базы, пригодной для обеспечения крупносерийного производства солнечных элементов и гелиостанций, наличие высококвалифицированных кадров, опыт международного научного сотрудничества в конкретных областях разработок и т.п.
2. Необходимость поиска экологически чистых, возобновляемых источников электроэнергии, альтернативных ресурсопотребляющей и атомной энергии, снижение зависимости Республики от внешних источников электроэнергии.
3. Наличие ряда крупных научно - исследовательских центров в области микро- и оптоэлектроники, соответствующего аналитического и производственного оборудования, ряда существенных научных результатов в областях материаловедения, химии, технологии кремния, соединений АЗВ5, А2В6, формирования просветляющих, люминесцентных, защитных покрытий и т.п. которые могут быть использованы при разработке солнечных элементов.
4. Наличие всё возрастающего потенциального рынка сбыта как внутри СНГ, так и во всём мире, обусловленного увеличивающейся потребностью в экологически чистых, автономных, дешевых источниках электроэнергии.

# Научное и научно-техническое обеспечение Программы

Научное и научно-техническое обеспечение и сопровождение Программы должно быть направлено на:

- повышение эффективности используемых фотоэлектрических систем и снижение себестоимости производимой ими электроэнергии;
- поиск новых, более эффективных и дешёвых, материалов и методов изготовления СЭ, создание новых конструкций СЭ;
- создание специализированного технологического и контрольно-измерительного оборудования по повышению производительности изготовления СЭ;
- проведение испытаний, измерений, аттестации и сертификации производимых СЭ.

# Мероприятия (задания) по реализации Программы

- производство солнечных элементов на кремнии и сложных полупроводниковых материалах и фотоэлектрических систем в целом,
- производство необходимых электронных комплектующих для ФЭС (аккумуляторы, инверторы, контроллеры заряда и т.д.);
- гарантированная инсталляция фотоэлектрических систем конечному потребителю и обслуживанию установленных систем;
- разработка и введение в действие нормативно-правовой базы и ценовой политики с целью создания и эффективного функционирования сектора солнечной энергетики в Республике Беларусь, привлечению энергопотребителей к установке и эксплуатации альтернативных источников энергии (фотоэлектрическая станция, гибридные станции типа ФЭС-ветрогенератор, ФЭС-дизельный генератор и т.п.);
- научное и научно-техническое обеспечение и сопровождение сектора солнечной энергетики (включая разработку новых материалов и конструкций солнечных элементов и ФЭС, сертификацию, аттестацию, измерения, создание метрологических средств и контрольно-измерительной техники для технологического производства и эксплуатации ФЭС) с целью повышения эффективности используемых фотоэлектрических систем и снижение себестоимости производимой ими электроэнергии,
- подготовка специалистов и персонала всех уровней для научно-технического обеспечения, производственной и эксплуатационной сфер, а также рекламно-маркетингового обеспечения,
- формирование развитого внутреннего и внешнего рынков продукции сектора солнечной энергетики.

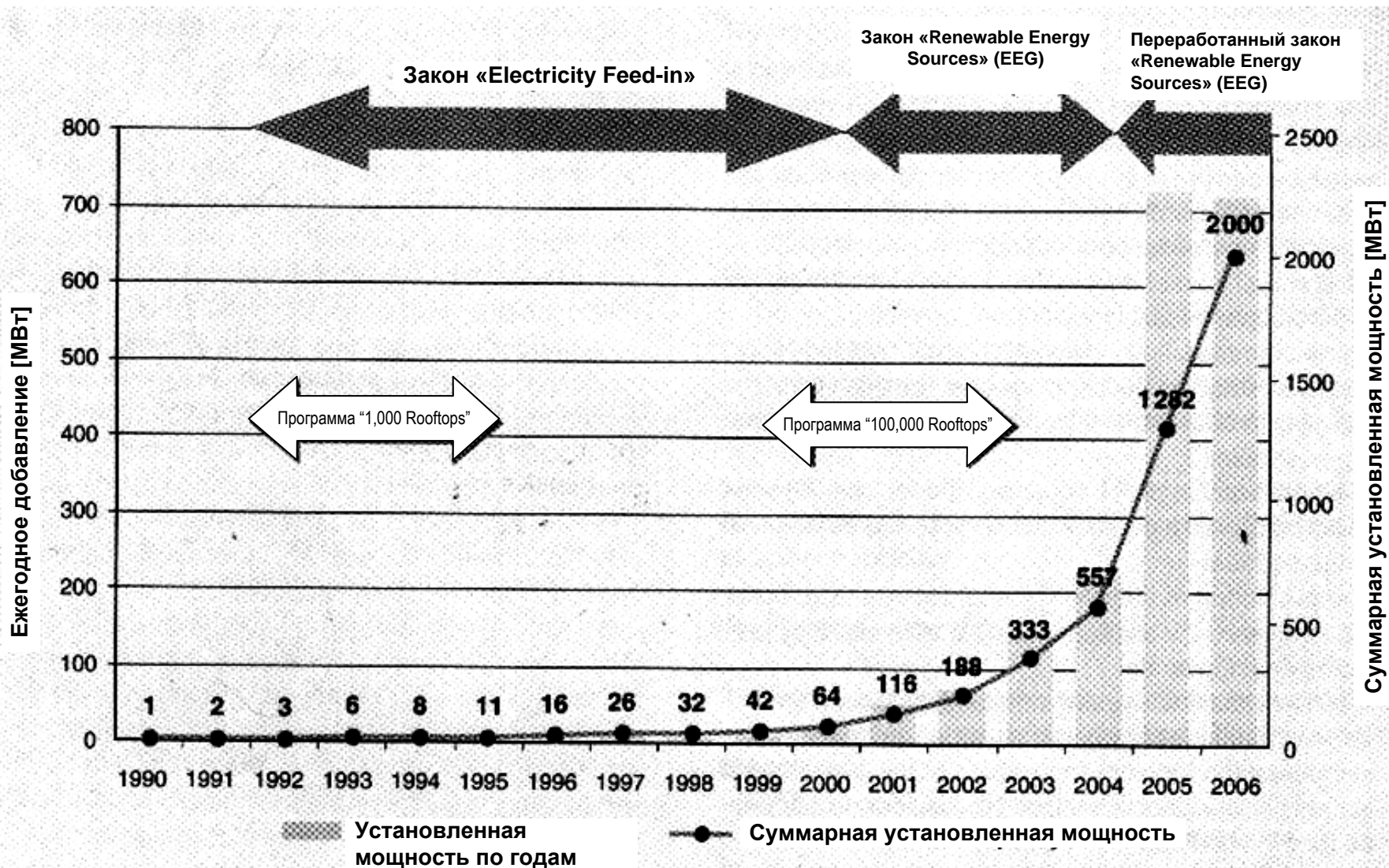
# Этапы реализации программы

На **первом** этапе следует начать развитие сектора солнечной энергетики в Республике Беларусь в рамках Программы с создания высокоэффективного массового производства "под ключ" для изготовления, как самих солнечных элементов (с КПД около 15%), так и конечного изделия – модулей на базе какого либо предприятия радиоэлектронного профиля (НПО "Интеграл", завод "Измеритель" и т.п.).

**Второй** (выполняемый параллельно) этап выполнения Программы должен состоять в интенсификации научных и научно-технических работ в республике, направленных на:

- повышение эффективности используемых фотоэлектрических систем и снижение себестоимости производимой ими электроэнергии;
- поиск новых, более эффективных и дешёвых, материалов и методов изготовления солнечных элементов, создание новых конструкций солнечных элементов, в том числе на основе органических материалов, за счет использования наночастиц, материалов с переменной шириной запрещённой зоны и т.д;
- создание специализированного технологического и контрольно-измерительного оборудования по повышению производительности изготовления и контроля качества солнечных элементов и ФЭС в целом;
- проведение испытаний, измерений, аттестации и сертификации производимых солнечных элементов и ФЭС в целом.

# Развитие фотовольтаики в Германии





# **Закон РБ от 27.12.2010 № 204-З "О возобновляемых источниках энергии" (рег. № 2/1756 от 28.12.2010)**

## **Статья 16. Права производителей энергии из возобновляемых источников энергии**

Производители энергии из возобновляемых источников энергии имеют право на:

гарантированное подключение к государственным энергетическим сетям установок по использованию возобновляемых источников энергии в порядке, установленном законодательством;

получение сертификата о подтверждении происхождения энергии;

гарантированное приобретение государственными энергоснабжающими организациями всей предложенной энергии, произведенной из возобновляемых источников энергии и поставляемой ими в государственные энергетические сети, а также ее оплату по тарифам в соответствии со статьей 20 настоящего Закона;

защиту от недобросовестной конкуренции, в том числе со стороны юридических лиц, занимающих доминирующее положение в сфере производства энергии;

производство, расширение (реконструкцию, модернизацию) установок по использованию возобновляемых источников энергии при наличии проектной документации, утвержденной в порядке, установленном законодательством;

самостоятельное выявление площадок возможного размещения установок по использованию возобновляемых источников энергии;

государственную поддержку в соответствии с законодательством;

имеют иные права, предусмотренные настоящим Законом и иными актами законодательства.

# Закон РБ от 27.12.2010 № 204-З "О возобновляемых источниках энергии" (рег. № 2/1756 от 28.12.2010)

## Статья 18. Государственная поддержка в сфере использования возобновляемых источников энергии

В целях создания благоприятных условий для использования возобновляемых источников энергии, а также реализации и потребления энергии, производимой из возобновляемых источников энергии, юридическим и физическим лицам, в том числе индивидуальным предпринимателям, осуществляющим инвестиционную, научную, инновационную и другие виды деятельности по использованию возобновляемых источников энергии, оказываются меры государственной поддержки в виде:

формирования ценовой политики, направленной на стимулирование использования возобновляемых источников энергии, а так же энергии, производимой из возобновляемых источников энергии;

стимулирования инвестиционной деятельности, в том числе создания благоприятных условий национальным и иностранным инвесторам;

содействия созданию и применению эффективных технологий в сфере использования возобновляемых источников энергии, а так же производству установок по использованию возобновляемых источников энергии;

обеспечения гарантированного подключения установок по использованию возобновляемых источников энергии к государственным энергетическим сетям;

установления налоговых и иных льгот в соответствии с законодательными актами.

В соответствии с международными договорами Республики Беларусь может предусматриваться освобождение ввозимого на территорию Республики Беларусь технологического оборудования или комплексов технологического оборудования по производству либо приему (получению), преобразованию, аккумулированию и (или) передаче электрической энергии, производимой из возобновляемых источников энергии, от уплаты таможенных пошлин.

# ПОСТАНОВЛЕНИЕ МИНИСТЕРСТВА ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

30 июня 2011 г. № 100

## О тарифах на электрическую энергию, производимую из возобновляемых источников энергии, и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь

- 
- На основании подпункта 2.1 пункта 2 Указа Президента Республики Беларусь от 25 февраля 2011 г. № 72 «О некоторых вопросах регулирования цен (тарифов) в Республике Беларусь» и абзаца второго статьи 13 Закона Республики Беларусь от 27 декабря 2010 года «О возобновляемых источниках энергии» Министерство экономики Республики Беларусь ПОСТАНОВЛЯЕТ: На основании подпункта 2.1 пункта 2 Указа Президента Республики Беларусь от 25 февраля 2011 г. № 72 «О некоторых вопросах регулирования цен (тарифов) в Республике Беларусь» и абзаца второго статьи 13 Закона Республики Беларусь от 27 декабря 2010 года «О возобновляемых источниках энергии» Министерство экономики Республики Беларусь ПОСТАНОВЛЯЕТ:

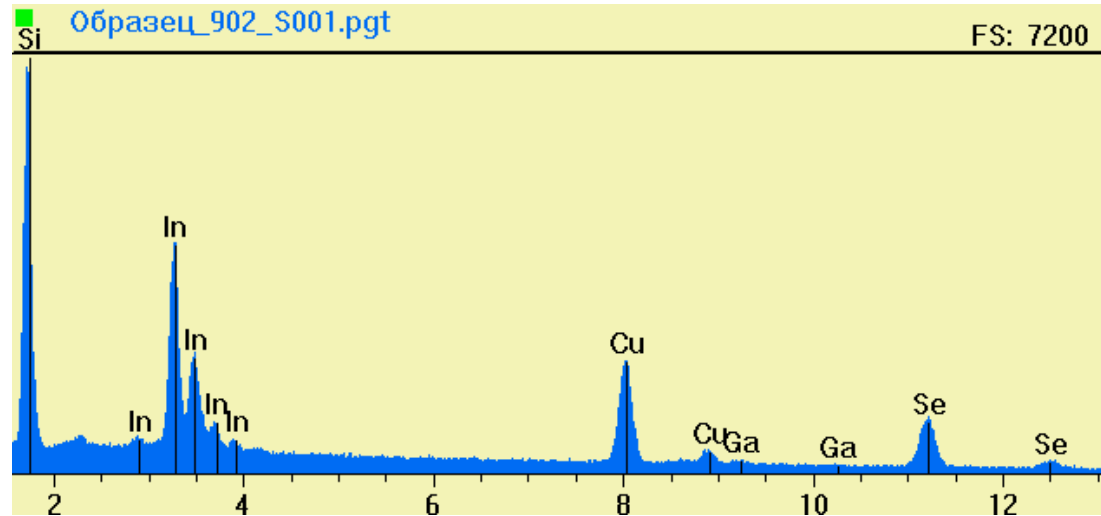
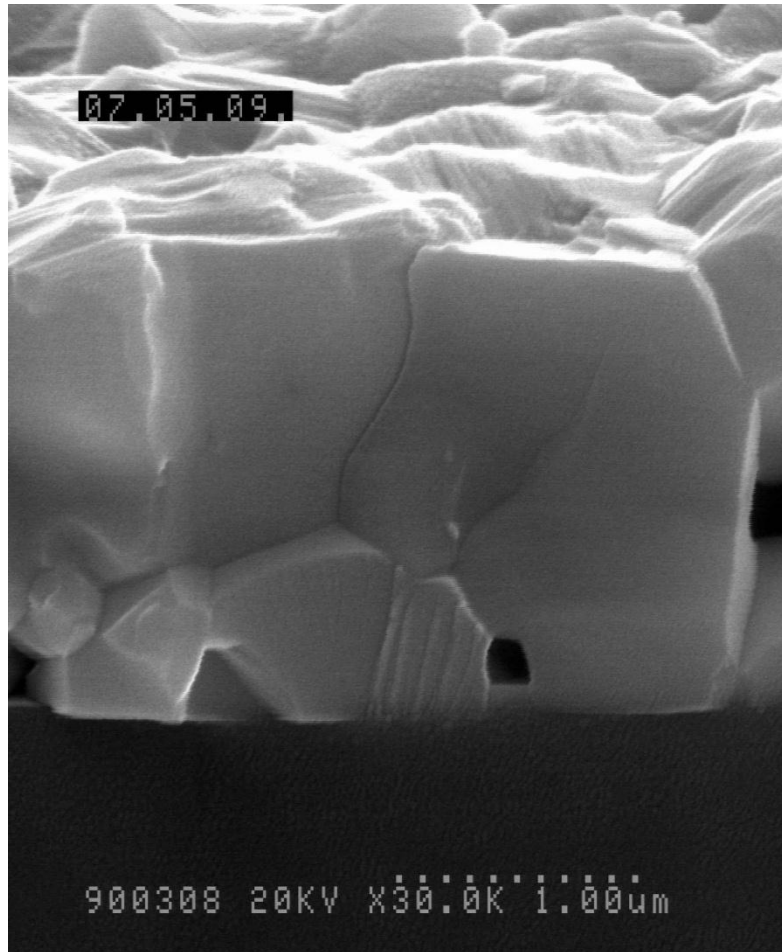
- 1. Установить, что тарифы на электрическую энергию, производимую в Республике Беларусь из возобновляемых источников энергии юридическими лицами, не входящими в состав государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго», и индивидуальными предпринимателями и отпускаемую энергоснабжающим организациям данного объединения, устанавливаются на уровне тарифов на электрическую энергию для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью до 750 кВт·А, установленных и проиндексированных на изменение курса белорусского рубля по отношению к доллару США в соответствии с постановлением Министерства экономики Республики Беларусь от 28 февраля 2011 г. № 24 «Об определении порядка индексации цен на природный газ и тарифов на электрическую и тепловую энергию» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2011 г., № 32, 8/23423), с применением коэффициентов:

- **1.5. с использованием энергии солнца:**

- **первые десять лет со дня ввода в эксплуатацию установок – 3;**

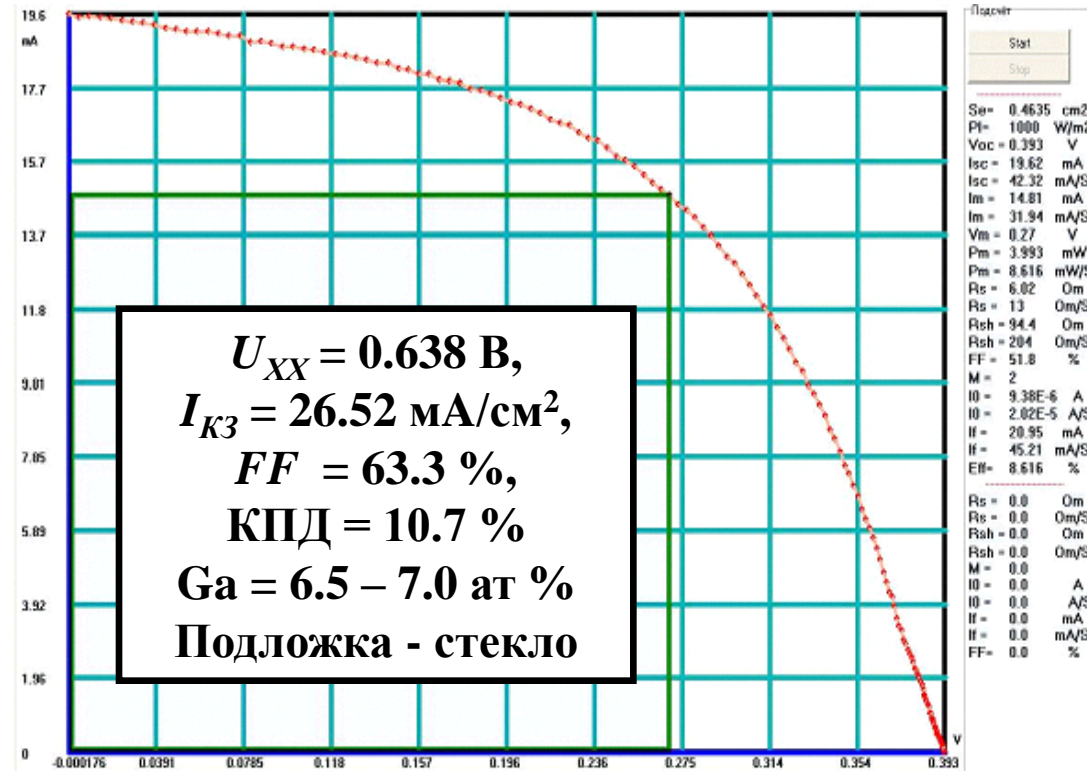
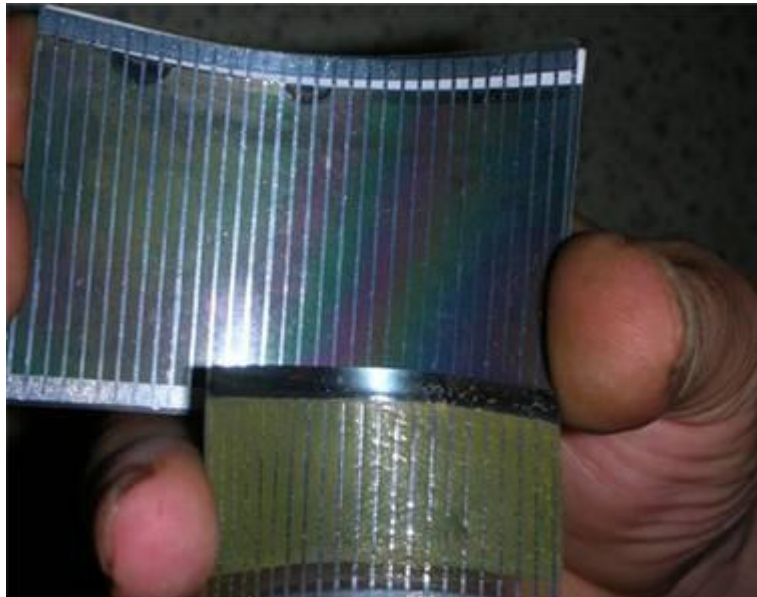
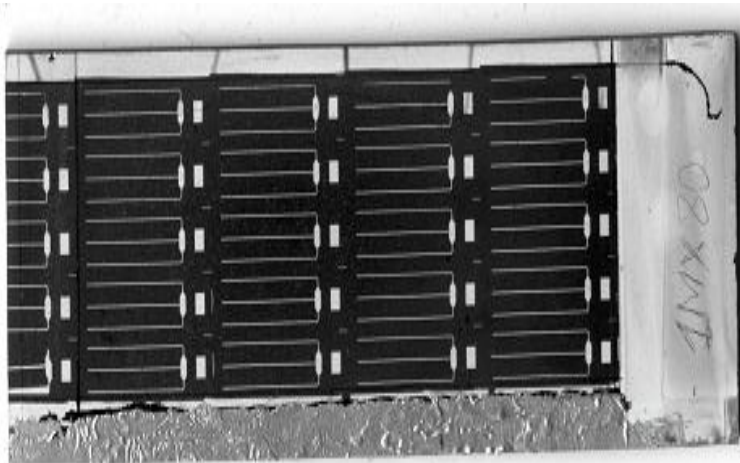
- **последующие десять лет эксплуатации установок – 0,85;**

# Морфология поверхности и элементный состав синтезированных плёнок $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$



Element	Wt%	At%
Cu	18.91	24.90
Ga	1.78	2.14
Se	45.81	48.55
In	33.50	24.41
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

# Экспериментальные CIGS солнечные элементы

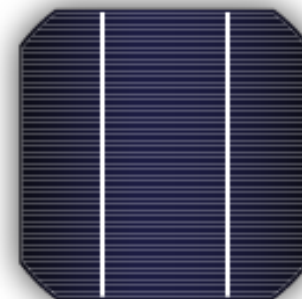


# Цех по производству ФЭП СООО Солар-групп



# Продукция СООО «Солар групп», г. Брест

- **Полупроводниковый фотоэлектрический элемент 125×125** Размер:125×125mm
- Эффективность:≥16% Мощность:2,35-2,38 Вт, Макс. ток:4,68 А Макс. напряжение:0,508В



- **Полупроводниковый фотоэлектрический элемент 156×156** Размер:156×156mm  
Эффективность:≥16% Мощность:4.01-4.11Вт, Макс. ток:8.14А, Макс. напряжение:0,51В.



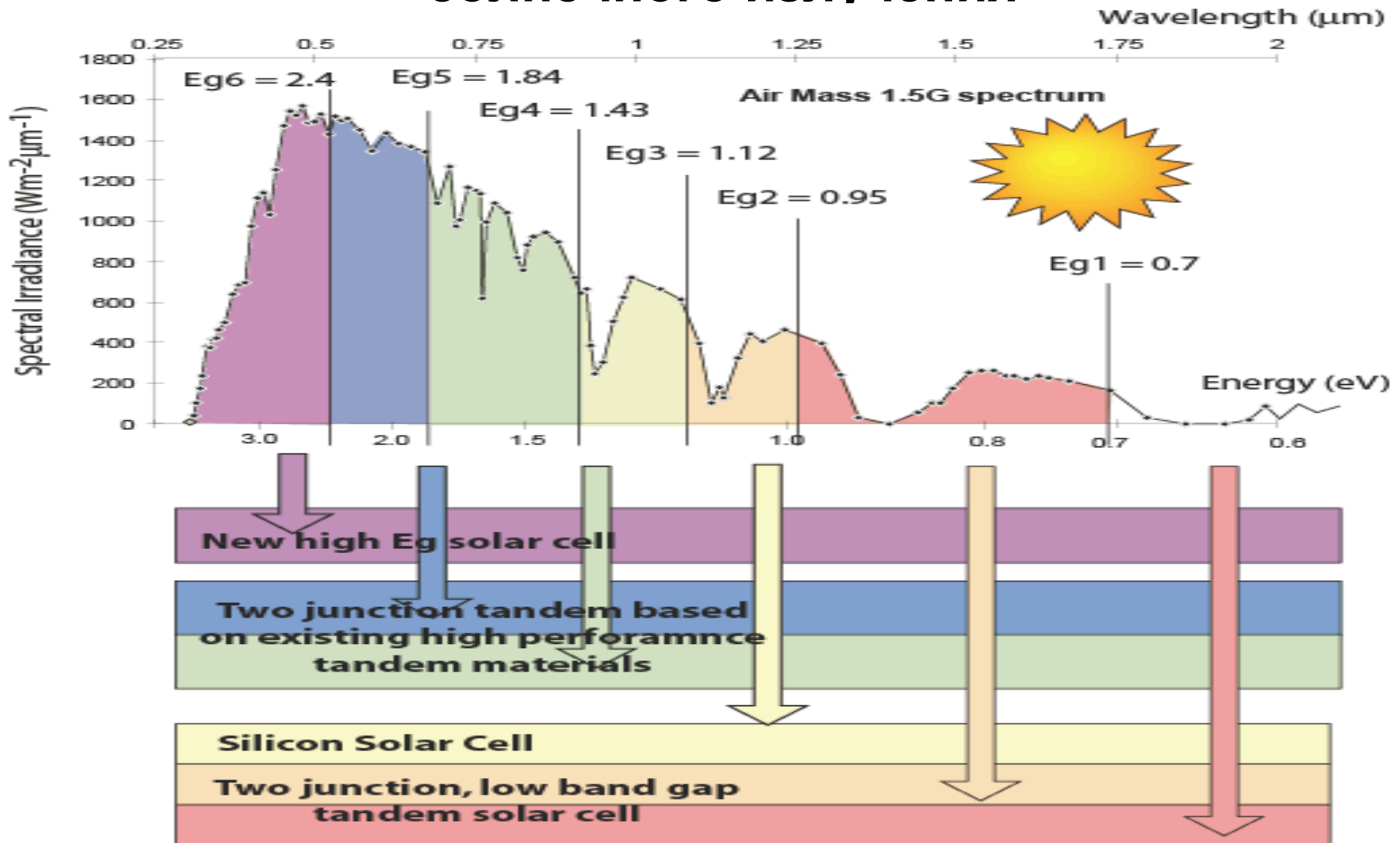
# Калькуляция себестоимости различных видов СЭ

Источник	ISET	ISET	EPV	ECN	Maycock	musicFM	mono-Si
поглощающий слой	CIS	CIGS	CIGS	f-Si	a-Si	CdTe	0,4
кпд (%)	11	15	12	16	8	12	12
выход (%)	85	> 85	92	90	95	88	95
утилизация (%)	85	> 85	50	95			50
объём (МВт/год)	16	50	10	10	10	60	50
материалы (\$/Вт)	0.54		0.27	0.44	0.32	0.53	0,4
зарплата (\$/Вт)	0.21		0.11	0.08	0.11	0.11	1,35
Амортизация (\$/Вт)	0.15		0.12	0.12	0.40	0.03	0,4
накладные расходы (\$/Вт)	0.06		0.06	0.14	0.11	0.02	0,87
Цена производства (\$/Вт)	0.96	0.6-0.75	0.56	0.78	0.94	0.69	3,32 (0,6-0,8)

Источник: Tool, C.J.J. [et al.] The potential of CIS solar cells // Report, Netherlands Energy Research Foundation ECN, Novem, contract nr. 146.120.017.1 (Netherlands Agency for Energy and the Environment) . - 1999.

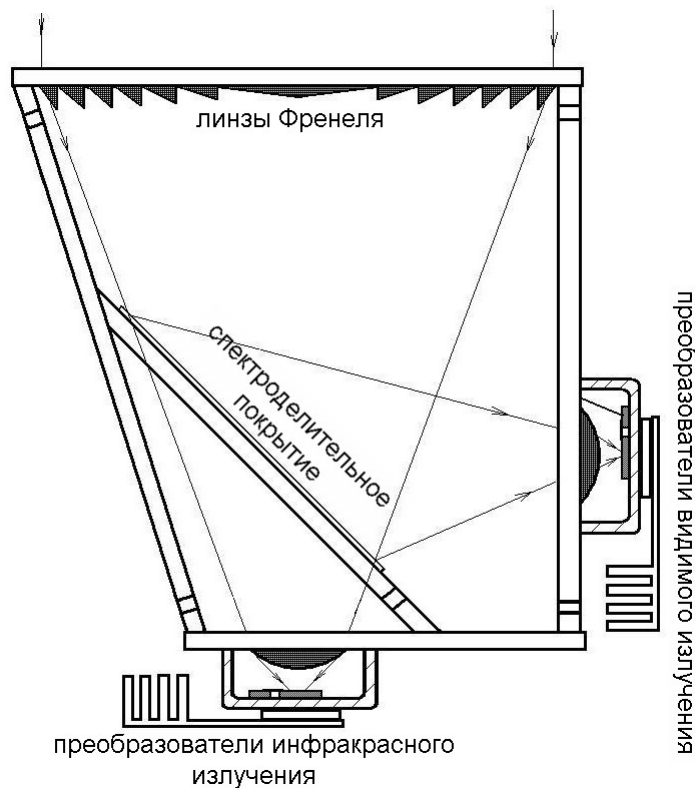


# Имеющийся задел в лаборатории по способам повышения эффективности преобразования солнечного излучения

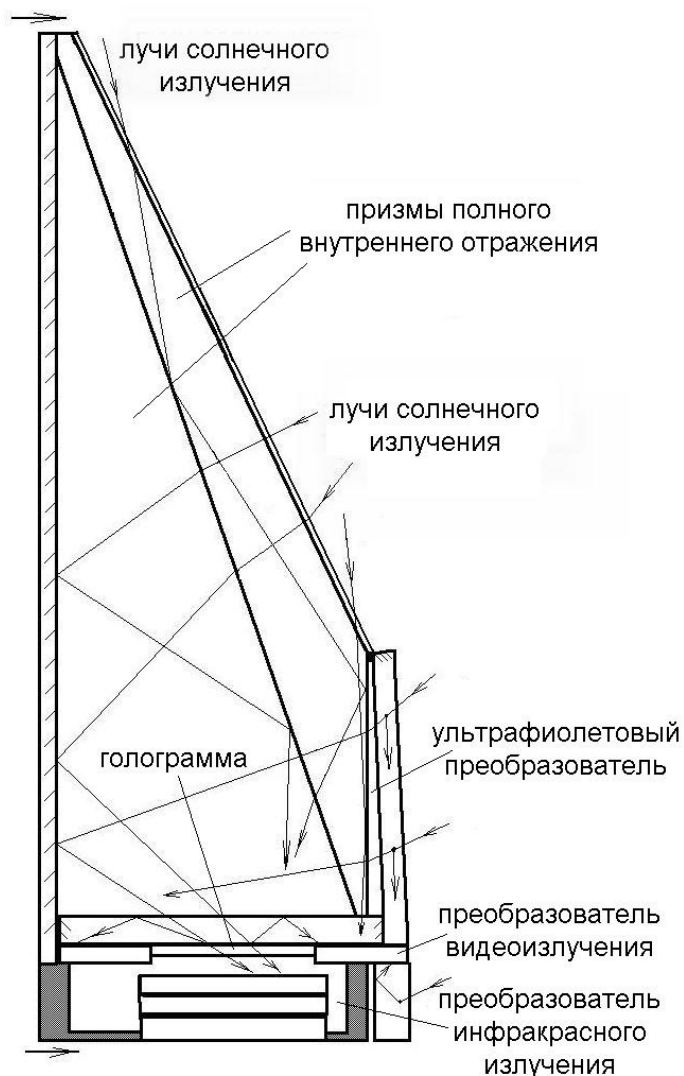


Оригинальные конструкции высокоэффективных фотоэлектрических модулей с разделением спектра сконцентрированного солнечного излучения, как минимум, на два участка и последующим их преобразованием в электричество

I. Фотоэлектрический модуль с концентрацией солнечного излучения с помощью линз Френеля и отдельного преобразования видимого и инфракрасного спектров

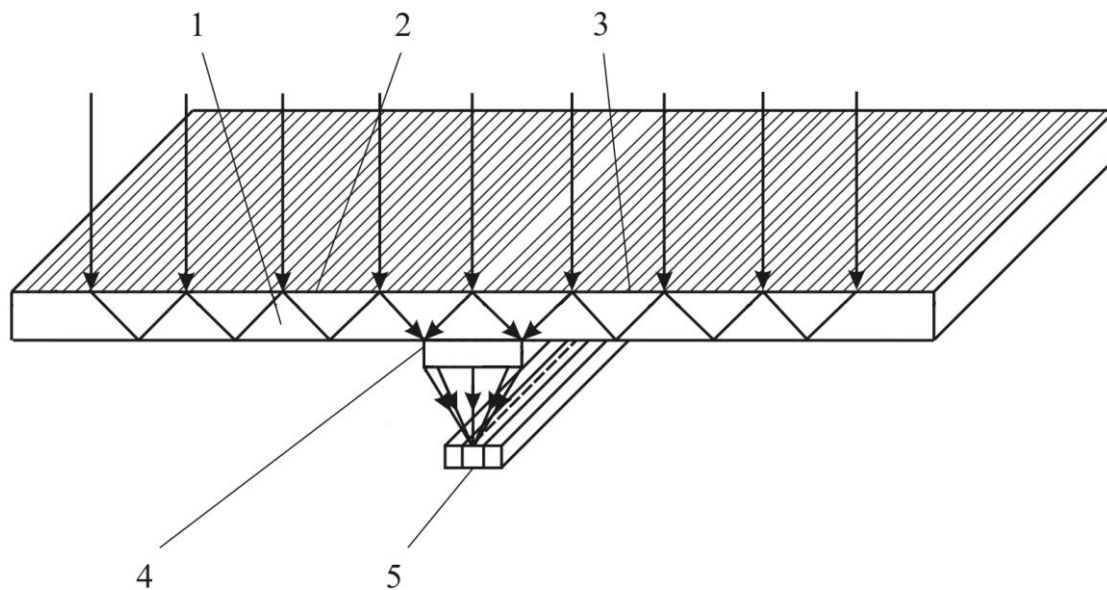


## II. Фотоэлектрический модуль с комбинированной концентрацией солнечного излучения с помощью призм полного внутреннего отражения и голограмм, отслеживающий углы падения солнечного излучения и преобразованием ультрафиолетового, видимого и инфракрасного спектров солнечного излучения



### III. Голографический концентратор солнечного излучения

Метод концентрации солнечного излучения за счет преобразования его пространственных характеристик на фазовых голограммах, многократного полного внутреннего отражения в светопроводе и дальнейшего преобразования пространственных характеристик при фокусировке в линию. Практическая значимость метода заключается в возможности существенного увеличения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую.



1 – плоская прозрачная пластина;

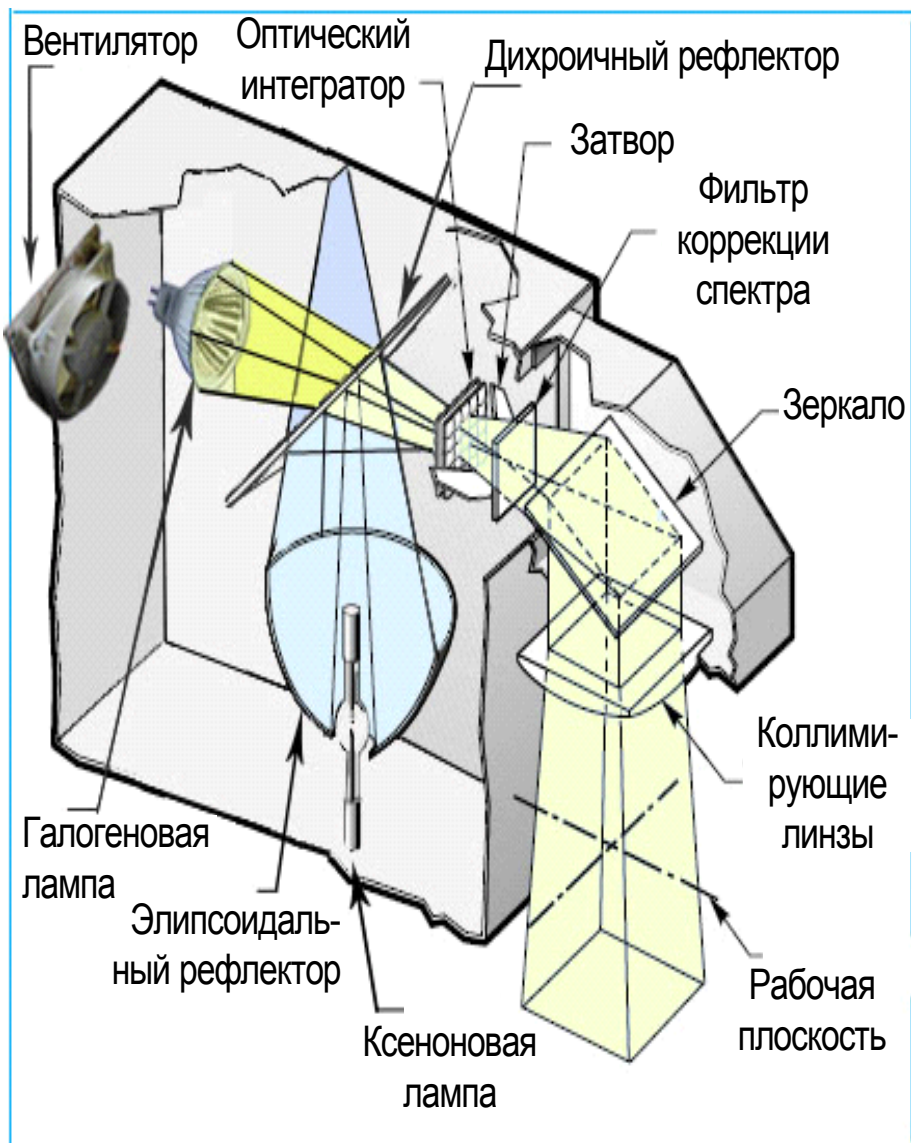
2 – первая голографическая решетка;

3 – вторая голографическая решетка;

4 – фокусирующий элемент;

5 – блок селективных линейных фотопреобразователей

# Имитаторы солнечного излучения

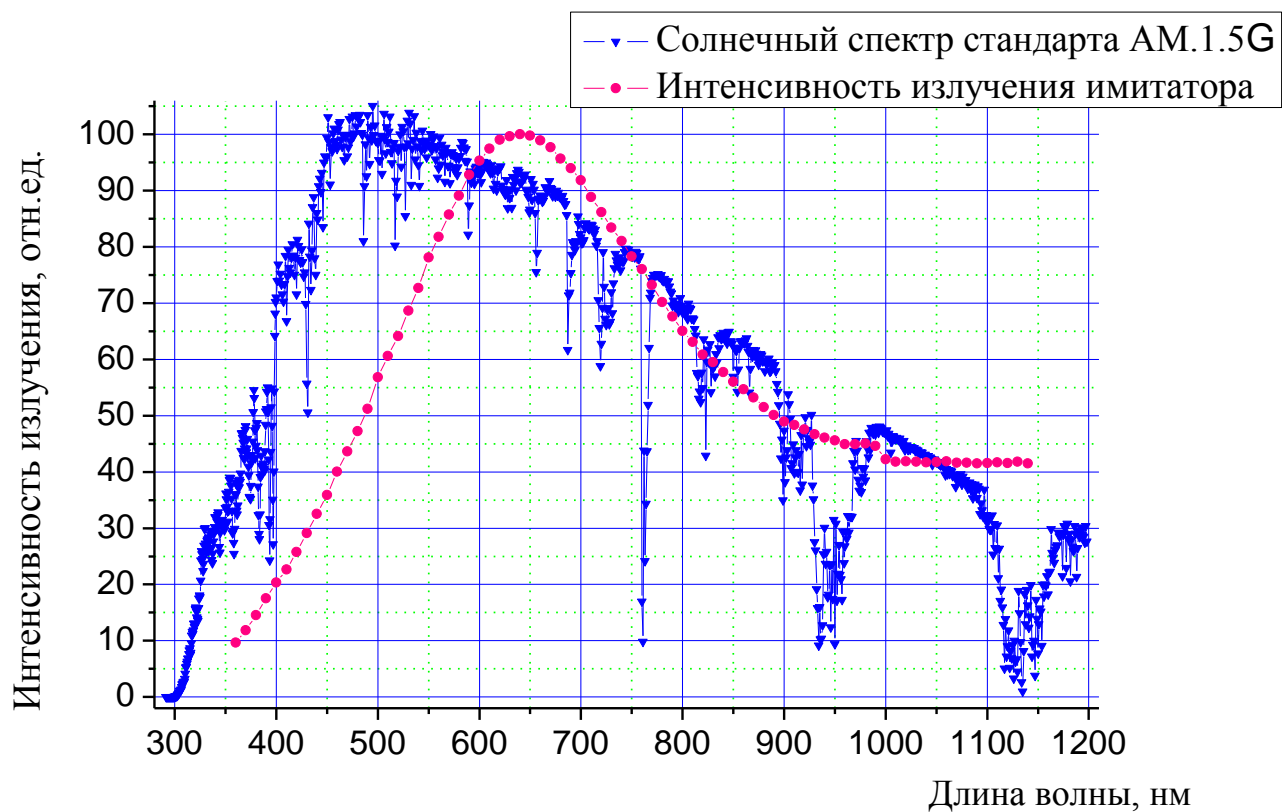


# Лабораторный имитатор солнечного излучения



Подсчет	
Start	
Stop	
Se=	0.4635 cm <sup>2</sup>
PI=	1000 W/m <sup>2</sup>
Voc =	0.393 V
Isc =	19.62 mA
Isc =	42.32 mA/S
Im =	14.81 mA
Im =	31.94 mA/S
Vm =	0.27 V
Pm =	3.993 mW
Pm =	8.616 mW/S
Rs =	6.02 Ом
Rs =	13 Ом/S
Rsh =	94.4 Ом
Rsh =	204 Ом/S
FF =	51.8 %
M =	2
IO =	9.38E-6 A
IO =	2.02E-5 A/S
If =	20.95 mA
If =	45.21 mA/S
EM=	8.616 %
Rs =	0.0 Ом
Rs =	0.0 Ом/S
Rsh =	0.0 Ом
Rsh =	0.0 Ом/S
M =	0.0
IO =	0.0 A
IO =	0.0 A/S
If =	0.0 mA
If =	0.0 mA/S
FF=	0.0 %

# График спектра стандарта AM1.5G и спектр имитатора



# Автоматизированный измерительный комплекс для измерения ВАХ и ВФХ





# Публикации, подтверждающие оригинальность рассмотренных разработок

## • МОНОГРАФИЯ

• Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. «Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов» – Минск: Изд. Центр БГУ, 2007. – 224 с.

## • ПАТЕНТЫ:

1. Фотоэлектрический модуль: пат.11981 Респ. Беларусь, МПК G02B 6/26 / В.Б. Залесский, А. К. Есман, В. К. Кулешов; ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси», - № а 20071487; заявл. 03.12.2007; опубл. 30.06.2009//Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. Уласнасці.– 2009.- №3.
2. Способ преобразования энергии Солнца в электрический ток: пат.11981 Респ. Беларусь, МПК G02B 6/26 / В.Б. Залесский, А. К. Есман, В. К. Кулешов; ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси», - № а 20071272; заявл. 17.10.2007; опубл. 30.06.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. - № 3.
3. Солнечный элемент: пат. на пол. модель 6182 Респ. Беларусь, МПК H01 L 21/00 / В.Б. Залесский, А.К. Есман, В.К. Кулешов, Г.Л. Зыков; ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси», - № и 20090870; заявл. 26.10.2009. опубл. 30.04.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. - № 2.
4. Фотоэлектрический модуль: патент 2382952 Российской Федерации, МПК F24J 2/08 / В.Б. Залесский, А.К. Есман, В.К. Кулешов, ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси», - № 2009110780; заявл. 24.03. 2009; опубл. 27.02.2010 // Бюл. -2010. № 6.
- Патент **РБ № 11392** на изобретение: Е.П. Зарецкая, В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, Залесский В.Б. // **Способ получения  $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$  тонких пленок**. Заявка на патент **№ 20061076** поданная в РБ, приоритет от 31.10.2006.
- Патент **РБ № 11393** на изобретение: В.Ф. Гременок, Е.П. Зарецкая // **Способ формирования пленок соединений  $Cu_2ZnSn(Se,S)_4$** . Заявка на патент **№ 20061166** поданная в РБ, приоритет от 23.11.2006.
- Патент **РБ № 11399** на изобретение: В.А. Иванов, В.Ф. Гременок, В.Б. Залесский // **Способ получения тонких пленок соединений  $Cu(InXZn_{1-X})(SeY,S_{1-Y})_2$** . Заявка на патент **№ 20070644** поданная в РБ, приоритет от 28.05.2007.
- Патент **Российской Федерации № 2347299** на изобретение: В.Ф. Гременок, Е.П. Зарецкая // **Способ получения поглощающего слоя  $Cu_2ZnSnS_4$  для солнечных элементов**. Заявка на патент **№ 2007124415** поданная в Российскую Федерацию, приоритет от 28.06.2007.
- Патент **Российской Федерации № 2347298** на изобретение: Е.П. Зарецкая, В.Ф. Гременок, В.Б. Залесский // **Способ получения  $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$  тонких пленок**. Заявка на патент **№ 2007124396** поданная в Российскую Федерацию, приоритет от 28.06.2007.

# Спасибо за внимание

## Контактная информация:

Государственное научное учреждение «Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»

Минск, Логойский тракт 22

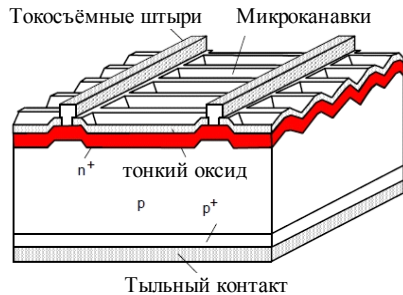
Залесский Валерий Борисович, к.т.н.

e-mail: [zalesski@inel.bas-net.by](mailto:zalesski@inel.bas-net.by), тел/факс: +375-17-281-32-29

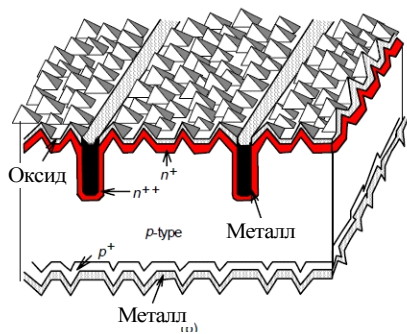
Пилипович Владимир Антонович, академик

e-mail: [pilipovich@inel.bas-net.by](mailto:pilipovich@inel.bas-net.by), тел. +375-17-281-35-17

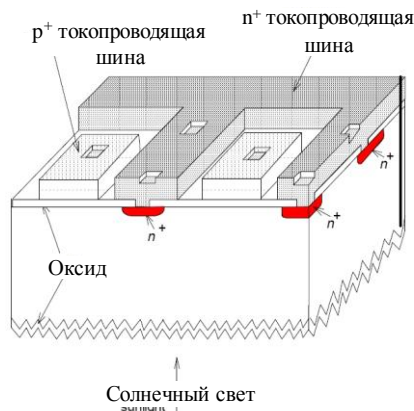
# Первые кремниевые солнечные элементы с КПД выше 20 %



Солнечные элементы с пассивированным эмиттером и микроканавками, 1985 год (PESC СЭ)



Солнечные элементы с заглубленным контактом



Солнечный элемент с точечными тыльными контактами (1988 год) (тыльная сторона - наверху)

# Использование лазеров в производстве солнечных элементов и модулей

- Измерительное и аналитическое оборудование
- Разделение на элементы (скрайбирование)
- Обрезание фасок (пассивирование)
- Формирование конструкции (нарезка канавок, вжигание металла)

# Заключение

- Показано, что по уровню солнечной освещенности РБ имеет большой потенциал для развития фотовольтаики, при этом рынок сбыта продукции практически неограничен, как в РБ, так и поставок на экспорт.
- В ИФ НАНБ сформирована измерительная и технологическая база для развития направления фотовольтаики
- Лазерное технологическое оборудование является наиболее эффективным при производстве СЭ на любых материалах