

# Использование возобновляемых источников энергии

Географический факультет  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
К.ф.-м.н., в.н.с. НИЛ возобновляемых  
источников энергии Киселева С.В.  
[K\\_sophia\\_v@mail.ru](mailto:K_sophia_v@mail.ru)



**Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)** – источники энергии, образующиеся на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также жизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества

**Выделяют три глобальных источника энергии:**

- энергия Солнца;
- тепло Земли;
- энергия орбитального движения планет

**Примечание:** солнечное излучение по мощности превосходит остальные более чем в 1000 раз.

К ВИЭ обычно относят:

ВИЭ солнечного происхождения:

- Собственно энергия солнечной радиации
- Гидравлическая энергия рек
- Энергия ветра
- Энергия биомассы
- Энергия океана (разность температур воды, волны, разность соленостей морской и пресной воды)

К несолнечным ВИЭ относятся:

- геотермальная энергия,
  - энергия приливов
- 
- Кроме того, к ВИЭ относят различные отходы и источники низкопотенциального тепла в сочетании с тепловыми насосами

# Оценки мирового потенциала возобновляемых источников энергии

## World Potential Renewable Energy

### Wind Energy



### Biomasse



Million Tonnes of Oil Equivalent



### Hydroelectricity



### Solar Energy



# ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ РОССИИ

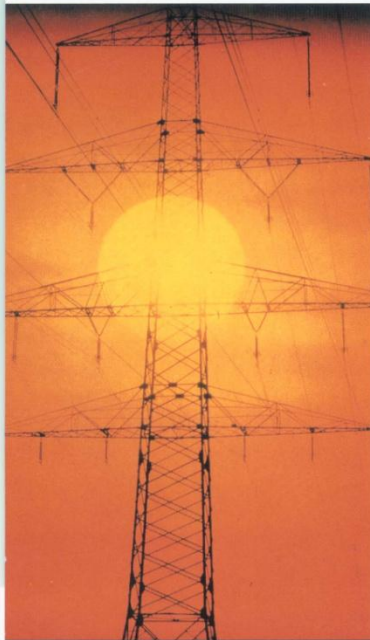


Истощаемые  
энергоресурсы:  
нефть, газ, уголь - 73%

ГЭС - 18%

АЭС - 9%

## ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ И АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ



### ГИДРОЭНЕРГИЯ

Средний многолетний сток рек  
более 5 л/с с 1 кв.км

### СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

суммарный приход  
солнечной радиации  
более 1000 кВтч/кв.м в год

### ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГИЯ

среднегодовые скорости ветра  
более 5 м/с

### ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ

избыточная лесобеспеченность  
куб.м на 1 человека

### ВОЛНОВАЯ ЭНЕРГИЯ

### ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ





**ВОПРОС:** Можно ли построить энергетику, удовлетворяющую современные нужды человечества, на возобновляемых источниках энергии? (**без природного газа, нефти, угля**)

Солнечная энергия,  
Энергия ветра,  
Биомасса,  
Мини и микро-ГЭС,  
Геотермальная энергия,  
Энергия океана

Солнечная энергия,  
Биомасса,  
Геотермальная энергия,  
Природное и сбросное тепло с помощью тепловых насосов

**Водород**, получаемый электролизом из **воды** с использованием различных ВИЭ и из **биомассы** (термохимическая переработка)  
**Биотопливо** из биомассы

**ОТВЕТ:** Принципиально, **ДА!** Но есть много но...!

## **ФАКТОРЫ В ПОЛЬЗУ ВИЭ:**

- ✓ Огромные ресурсы всех видов ВИЭ, во много раз превышающие обозримые потребности человечества
- ✓ Доступность в любой точке земного шара того или иного ВИЭ или их комбинации
- ✓ Экологическая чистота
- ✓ Доказанная, по крайней мере на демонстрационном уровне, жизнеспособность технологий, а в ряде случаев высокая конкурентоспособность
- ✓ Возможность построения на основе ВИЭ как централизованных, так и децентрализованных (автономных) систем энергоснабжения

## **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ШИРОКОЙ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ВИЭ**

(временные и связанные в основном с необходимостью конкурировать с традиционными энергетическими технологиями, базирующимися на пока еще относительно дешевых ископаемых топливах):

- ✓ Высокая стоимость производства энергоносителей (*электричество, тепло, моторное топливо*), несмотря на исходную «дармовую» энергию
- ✓ Неотработанность некоторых технологий в связи с недостаточным финансированием НИОКР

**Вывод: использование ВИЭ в энергетическом балансе стран определяется конкуренцией достоинств и недостатков.**

- Для развивающихся стран ВИЭ имеют социальную значимость



## ПОЧЕМУ ЭНЕРГИЯ, ПРОИЗВОДИМАЯ УСТАНОВКАМИ НА ВИЭ, ОКАЗЫВАЕТСЯ В БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ ДОРОГОЙ?

Основная фундаментальная физическая причина – **низкая плотность потоков энергии и их нерегулярность** (суточная, сезонная, погодная и др.)

### ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ НЕКОТОРЫХ ВИЭ

#### Солнечное излучение:

ясный полдень – **1000 Вт/м<sup>2</sup>**

в среднем за год – **150–250 Вт/м<sup>2</sup>**

#### Ветровой поток:

при  $v=10$  м/с – **500 Вт/м<sup>2</sup>**

при  $v=5$  м/с – **60 Вт/м<sup>2</sup>**

$$\underline{N \sim v^3}$$

#### Водный поток:

при  $v=1$  м/с – **500 Вт/м<sup>2</sup>**

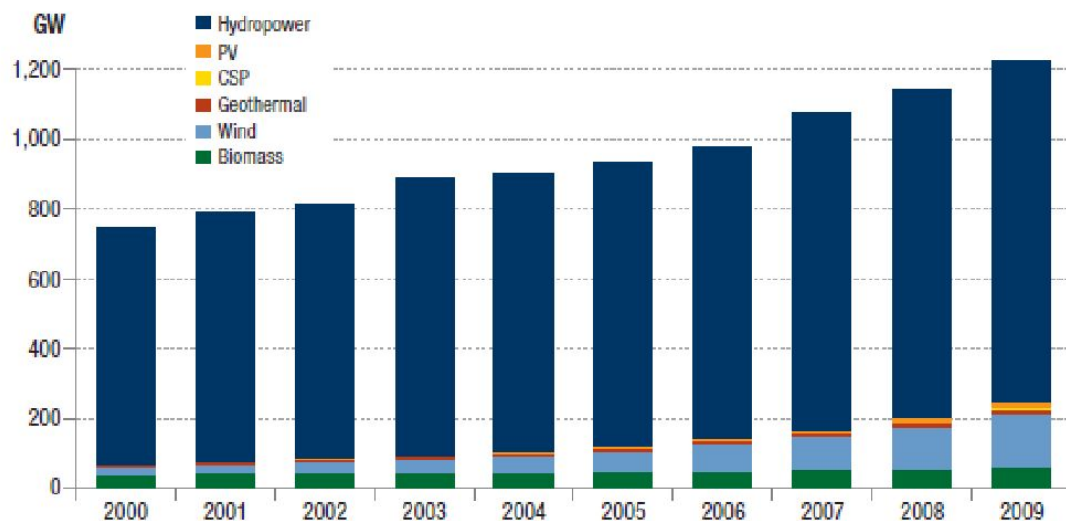
В традиционных энергоустановках плотность энергетических потоков достигает сотен кВт или даже нескольких МВт/м<sup>2</sup>

**Результат:** потребность в больших поверхностях для сбора энергии и необходимость использования больших аккумуляторов энергии, что обуславливает рост стоимости

# Некоторые данные о масштабах ***NREL US-2009***

## Global Renewable Energy Development: Summary

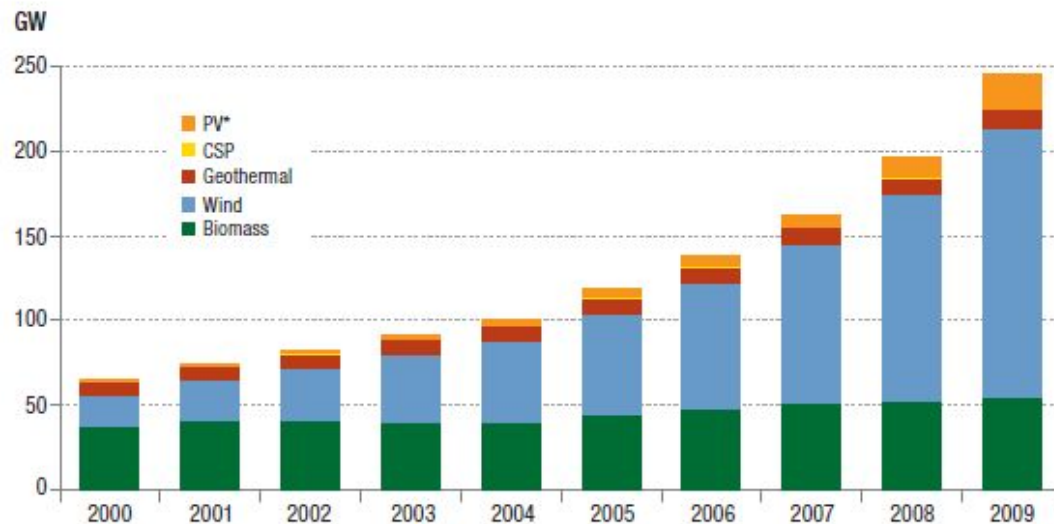
- Global renewable electricity installations (excluding hydropower) have **more than tripled** from 2000–2009.
- Including hydropower, renewable energy accounts for **21%** of all global electricity generation; without hydropower, renewable energy accounts for **3.8%** of global generation.
- Wind and solar energy are the fastest growing renewable energy technologies worldwide. Wind and solar PV generation **grew by a factor of more than 14** between 2000 and 2009.
- In 2009, Germany led the world in cumulative solar PV installed capacity. The United States leads the world in wind, geothermal, biomass, and CSP installed capacity.



## Renewable Electricity Generating Capacity Worldwide (excluding hydropower)

Sources: REN21, GWEC, GEA, SEIA, EIA

44



## World Renewable Cumulative Electricity Capacity Percent Increase from the Previous Year

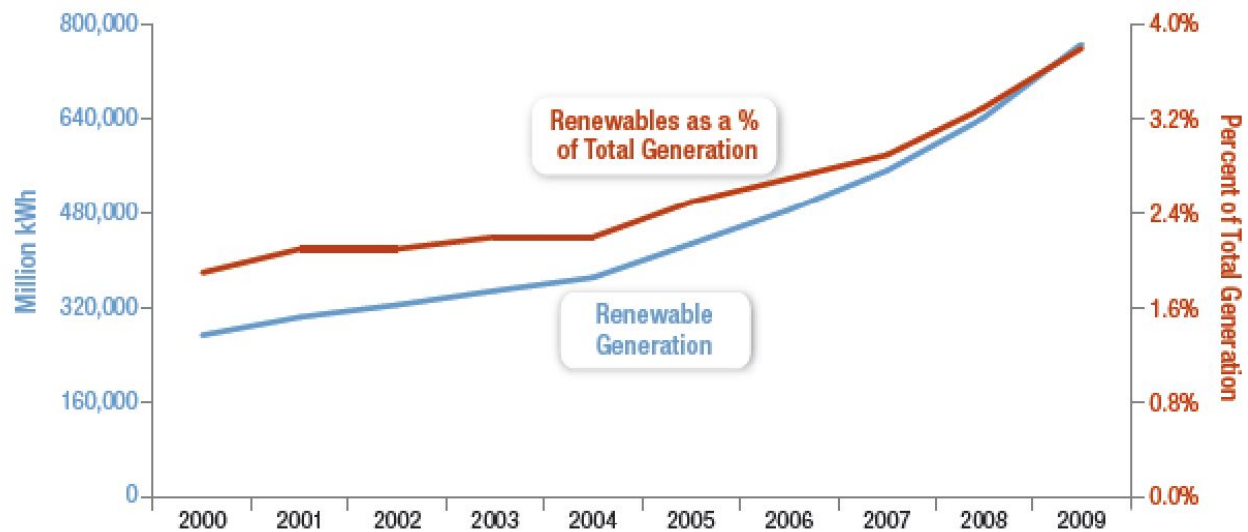
	Hydro	Solar PV	CSP	Wind	Geothermal	Biomass	Renewables without Hydro	All Renewables
2000	0%	22%	0%	31%	0%	6%	11%	1%
2001	5%	29%	0%	33%	0%	8%	15%	6%
2002	2%	33%	0%	29%	2%	0%	11%	3%
2003	9%	25%	0%	29%	9%	-3%	11%	9%
2004	1%	33%	0%	20%	0%	0%	10%	1%
2005	2%	38%	0%	23%	4%	13%	18%	4%
2006	2%	32%	0%	25%	3%	7%	17%	4%
2007	9%	5%	5%	27%	0%	6%	17%	10%
2008	4%	71%	14%	29%	4%	4%	22%	6%
2009	4%	62%	22%	31%	7%	4%	25%	7%

## Некоторые данные о масштабах ***NREL US-2009***

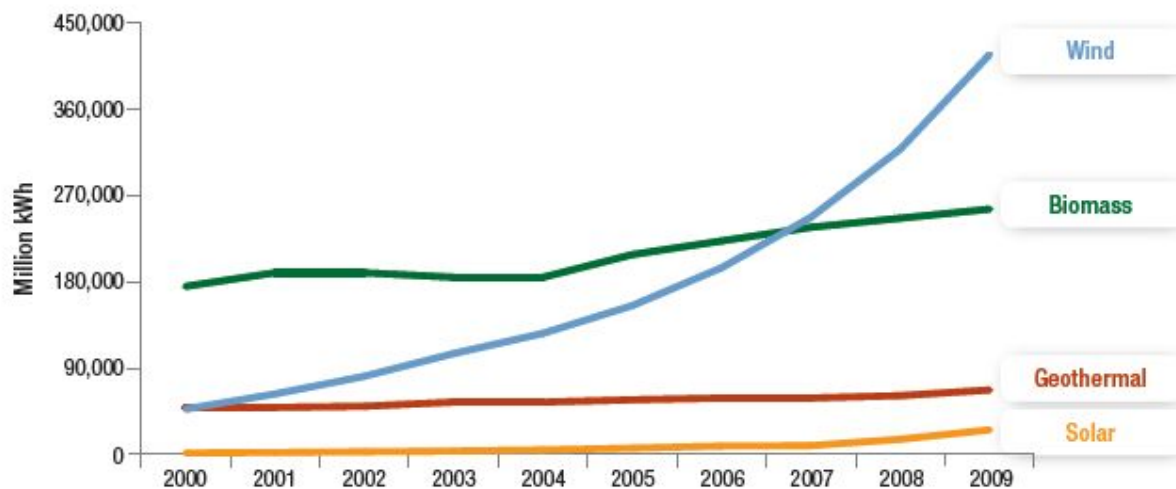
### Renewables as a Percent of Total Installed Nameplate Capacity Worldwide

	Hydro	Solar PV	CSP	Wind	Geothermal	Biomass	All Renewables	Renewables without Hydropower	Renewable Capacity without Hydropower (GW)
2000	19.8%	0.0%	0.0%	0.5%	0.2%	1.1%	21.7%	1.9%	65
2001	20.1%	0.1%	0.0%	0.7%	0.2%	1.1%	22.2%	2.1%	74
2002	19.8%	0.1%	0.0%	0.9%	0.2%	1.1%	22.0%	2.2%	82
2003	20.8%	0.1%	0.0%	1.1%	0.2%	1.0%	23.2%	2.4%	91
2004	20.2%	0.1%	0.0%	1.2%	0.2%	1.0%	22.8%	2.5%	100
2005	19.9%	0.1%	0.0%	1.4%	0.2%	1.1%	22.8%	2.9%	118
2006	19.6%	0.2%	0.0%	1.7%	0.2%	1.1%	22.8%	3.2%	138
2007	20.6%	0.2%	0.0%	2.1%	0.2%	1.1%	24.2%	3.7%	162
2008	20.6%	0.3%	0.0%	2.6%	0.2%	1.1%	24.9%	4.3%	197
2009	20.6%	0.4%	0.0%	3.3%	0.2%	1.1%	25.7%	5.1%	245

# Renewable Electricity Generation Worldwide (excluding hydropower)



## Renewable Electricity Generation Worldwide by Technology (2000–2009)



# Top Countries with Installed Renewable Electricity



# Top Countries with Installed Renewable Electricity by Technology (2009)



Geothermal	
1	U.S.
2	Philippines
3	Indonesia
4	Mexico
5	Italy

Wind	
1	U.S.
2	China
3	Germany
4	Spain
5	India

Solar PV	
1	Germany
2	Spain
3	Japan
4	U.S.
5	Italy

CSP	
1	U.S.
2	Spain

Biomass	
1	U.S.
2	Brazil
3	Germany
4	China
5	Sweden

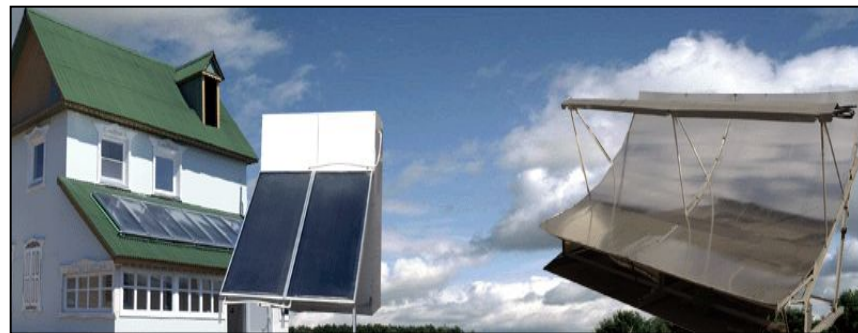
- 1) Экологические аспекты использования различных видов ВИЭ
- 2) Региональные особенности развития ВЭ



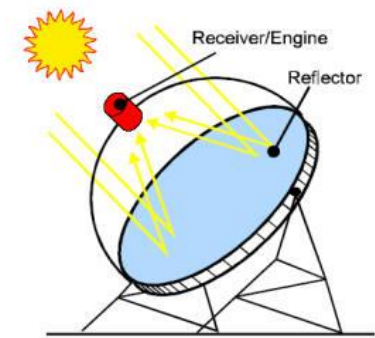
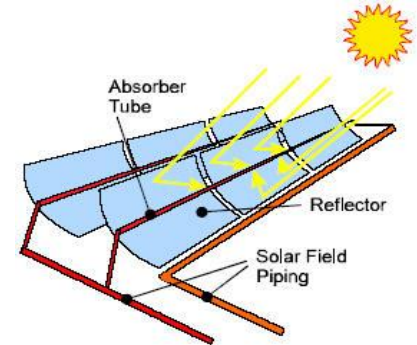
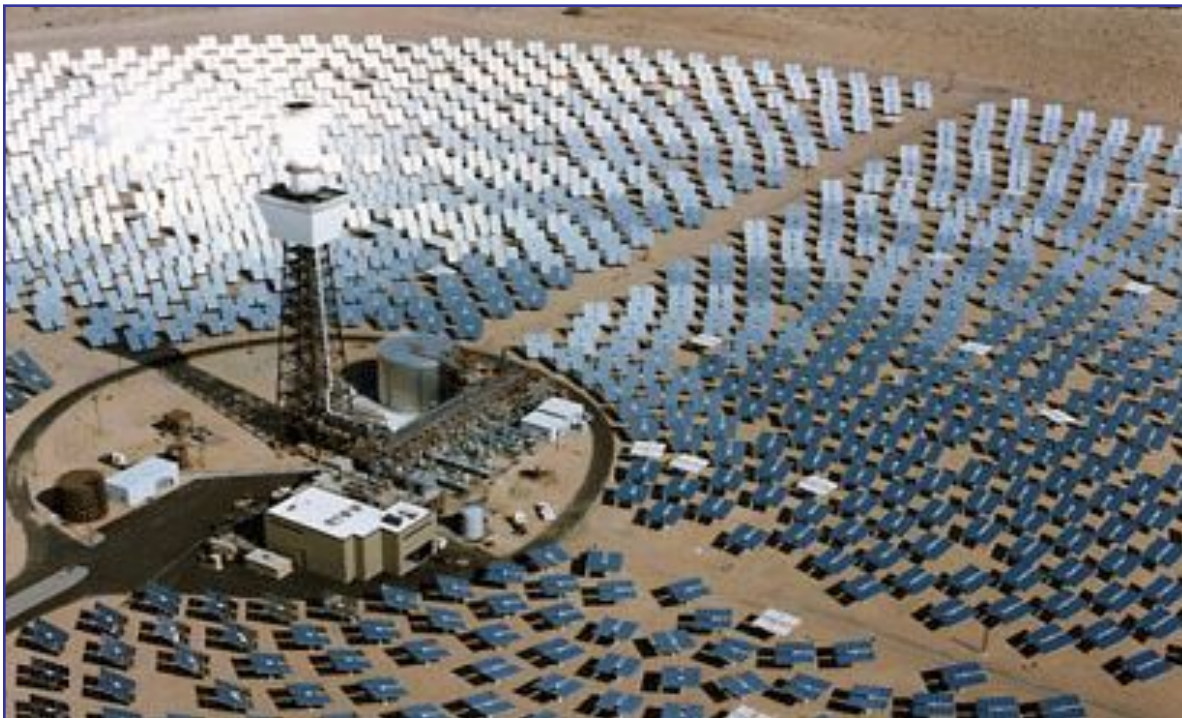
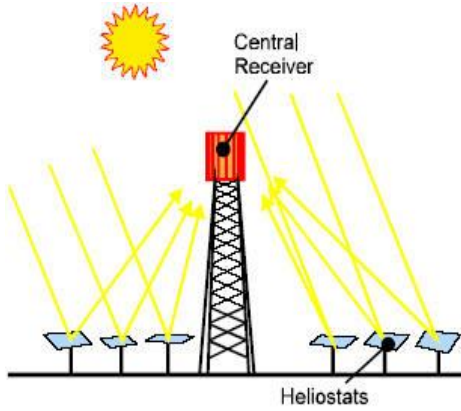
# I. Солнечная энергия

для

- нагрева воды
- обогрева зданий
- сушки с/х продукции



# Солнечные электростанции



# Экологическое воздействие объектов солнечной энергетики - солнечные электростанции (СЭС)

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
<p>Получение на выходе тепловых коллекторов <b>электрической энергии</b>, удобной для транспортировки</p>	<p>Солнечные концентраторы вызывают <b>большие по площади затенения земель</b>, что приводит к сильным изменениям почвенных условий, растительности и т.д.</p>
<p>Возможность получения высоких температур не только для нужд энергоснабжения, но и для получения <b>особо чистых сплавов</b></p>	<p>Возникает нагрев воздуха при прохождении через него солнечного излучения, сконцентрированного зеркальными отражателями; это приводит к <b>изменению теплового баланса, влажности, направления ветра</b>, в некоторых случаях возможны перегрев и возгорание систем использующих концентраторы</p>
<p>Использование солнечного излучения как экологически чистого и <b>неисчерпаемого источника</b>.</p>	<p>Применение <b>низкокипящих жидкостей</b> при неизбежной их утечке может привести к значительному загрязнению поверхностных и грунтовых вод. Особую опасность представляют жидкости, содержащие хроматы и нитраты, являющиеся <b>высокотоксичными</b>.</p>
<p><b>Отсутствуют газовые выбросы</b> при работе СЭС, <b>экономия</b> традиционных видов топлива</p>	<p>Низкий коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую поднимает серьезные проблемы, связанные с охлаждением конденсата; при этом <b>тепловой сброс в биосферу</b> более чем вдвое превышает сброс от традиционных станций, работающих на горючих ископаемых.</p>

### 3) Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии

Фотоэлектрические установки представляют собой параллельно или последовательно соединённые полупроводниковые элементы (фотоэлементы), в которых под влиянием солнечного излучения возникает фотоэлектрический эффект.



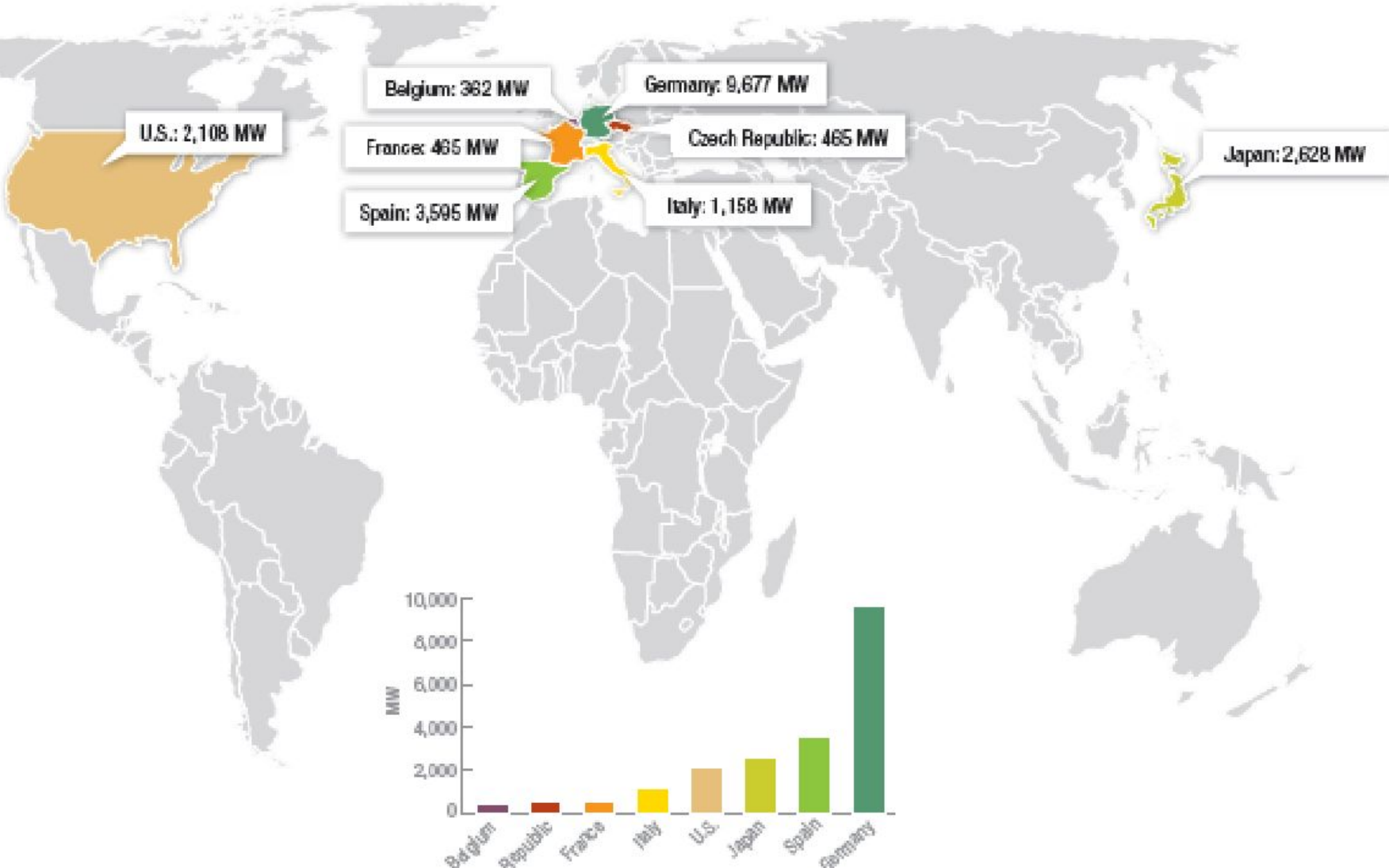
otion Programm for PV\* — TNC Consulting AG, CH-8707 Männedorf



# Экологическое воздействие объектов солнечной энергетики – (фотоэлектрические преобразователи (ФЭП))

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
простота в изготовлении и обслуживании;	—относительно высокая стоимость модульных установок;
долговечность; экологическая чистота в процессе эксплуатации.	—низкий КПД промышленных модулей.
возможность применения в городских условиях (не требует больших площадей и бесшумны);	—выбросы при производстве кремниевой пыли, кадмиевых и арсенидных соединений, опасных для здоровья людей;

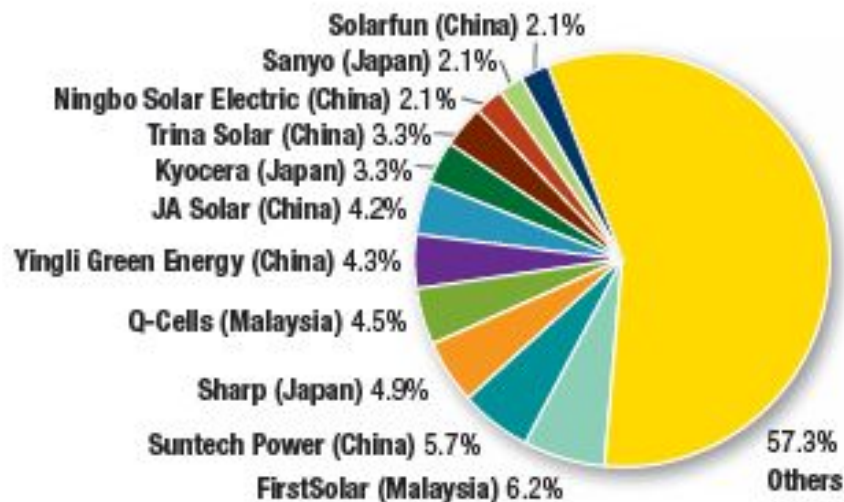
# Solar Energy Installed Capacity (2009) – Select Countries



# Photovoltaic Manufacturing

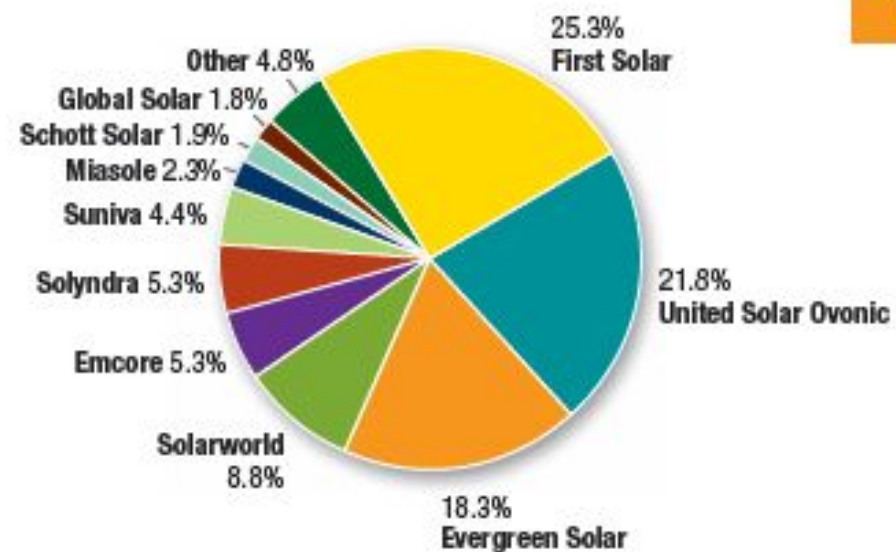
## Global Solar PV Production 2009:

12,258 MW cell production  
19,631.9 MW production capacity



## U.S. Cell Production 2009:

566 MW cell production  
1,871.5 MW production capacity



## II. Использование ветровой энергии



©National Wind Power





## Экологическое воздействие ВЭС

- Крупномасштабное строительство ВЭС в Европе на рубеже третьего тысячелетия привлекло внимание многих экологических служб и общественности с целью выявления тех отрицательных факторов, которые связаны с работой крупных ВЭУ.
- Основные формы воздействия ветроэнергетики на окружающую среду сводятся к следующему:
  1. **воздействие на животный и растительный мир;**
  2. **помехи теле- , радиосвязи;**
  3. **изменение природного ландшафта;**
  4. **отчуждения земель.**
- В настоящее время экологические исследования ВЭС продолжаются в части более глубокого изучения влияния на окружающую среду, особенно в связи с планами освоения прибрежных акваторий. Однако можно считать доказанным, **что экологические проблемы ветроэнергетики в своем комплексе не могут служить препятствием для развития этой отрасли**, которая уже в настоящее время вносит значительный вклад по отдельным странам в замещение ископаемых видов топлив. А с учетом того, что общий годовой потенциал ветровой энергии Земли оценивается в огромную цифру – 17,1 тыс. ТВт.ч и значительно превышает энергетические потребности человечества, можно говорить о неограниченных возможностях использования энергии ветра в обозримом будущем.

# Экологические аспекты ветроэнергетики

## Жизненный цикл ветроэлектростанции

- 1) Производство энергетического оборудования
- 2) Строительство электростанции
- 3) Эксплуатация
- 4) Утилизация

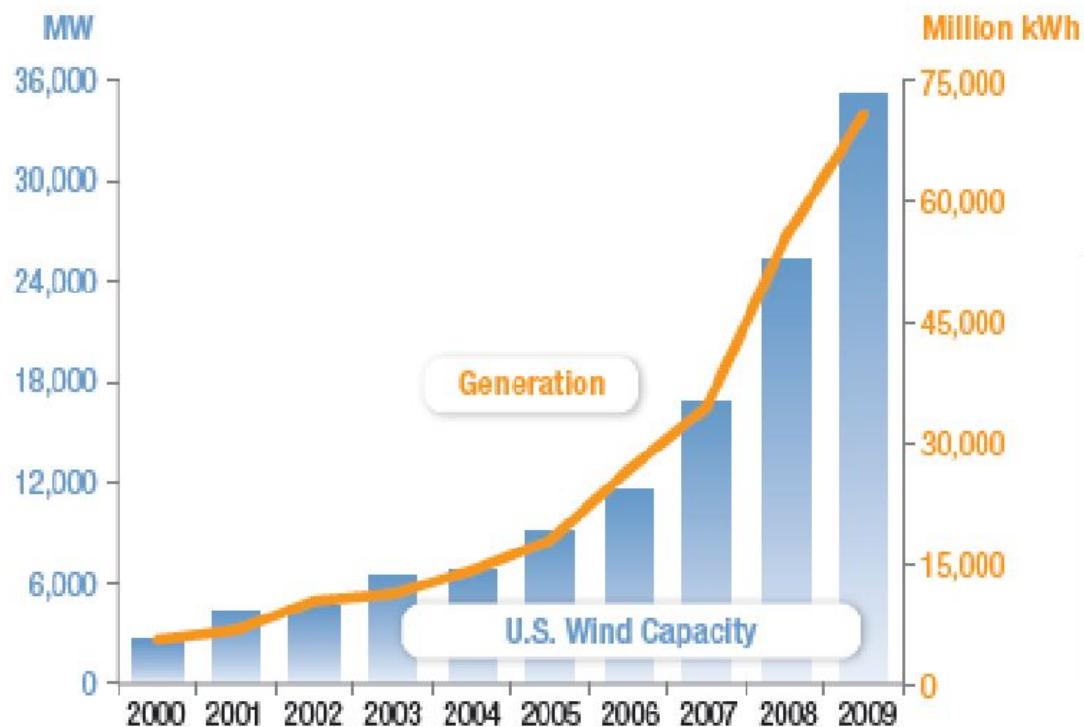
Ссылка: Ермоленко Б.В., Ермоленко Г.В, Рыженков М.А.

**Экологические аспекты ветроэнергетики**// Теплоэнергетика, № 11, 2011

Негативный внешний эффект (евроцент/кВтч)

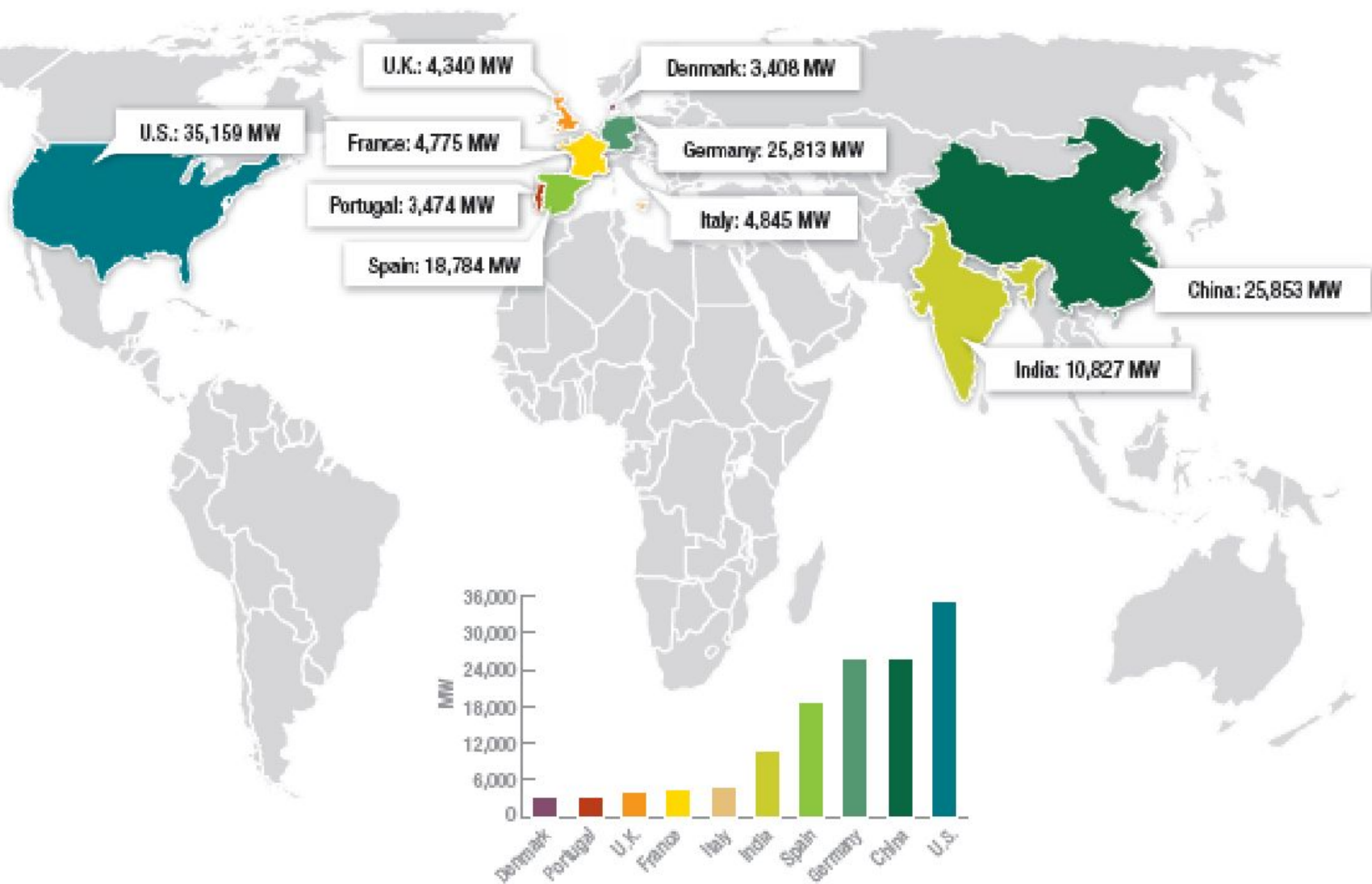
Источник энергии	Эффект
<b>ВЭС</b>	<b>0,15</b>
Природный газ	1,1
Угольная ЭС	2,55

# U.S. Total Installed Wind Energy Nameplate Capacity and Generation



	U.S. Wind Energy Generation (Million kWh)	U.S. Wind Energy Capacity and Percent Increase from Previous Year	
		Total (MW)	% Increase
2000	5,503	2,578	2.6%
2001	6,737	4,275	65.8%
2002	10,354	4,686	9.6%
2003	11,187	6,353	35.6%
2004	14,144	6,725	5.9%
2005	17,811	9,121	35.6%
2006	26,589	11,575	26.9%
2007	34,450	16,812	45.2%
2008	55,363	25,237	50.1%
2009	70,761	35,159	39.3%

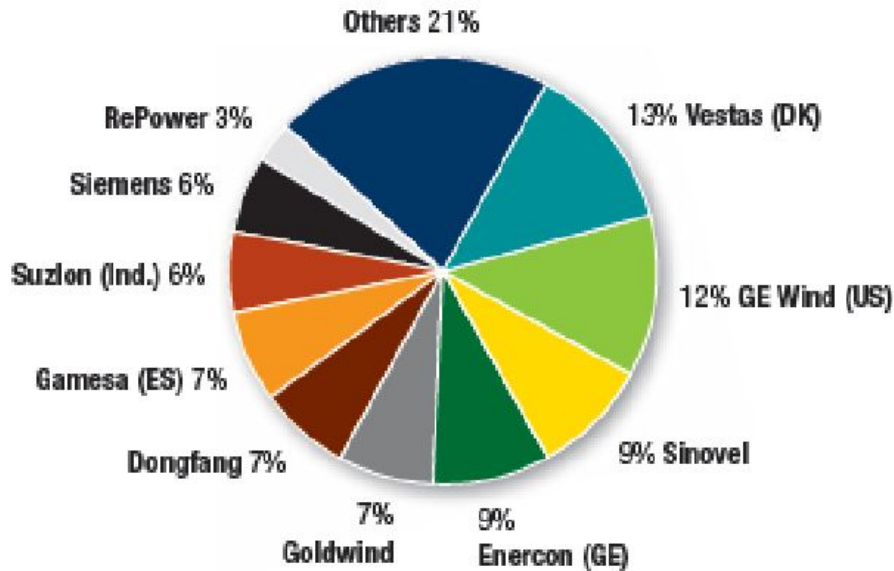
# Wind Energy Capacity (2009) – Select Countries



# Turbine Manufacturing

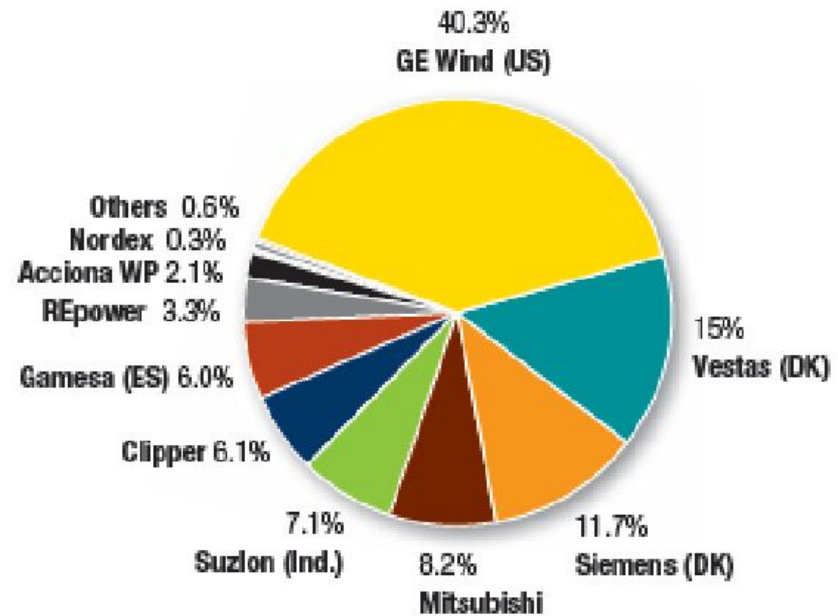
## Global Wind Turbine Market Share 2009

Total Turbine Installations: 38 GW

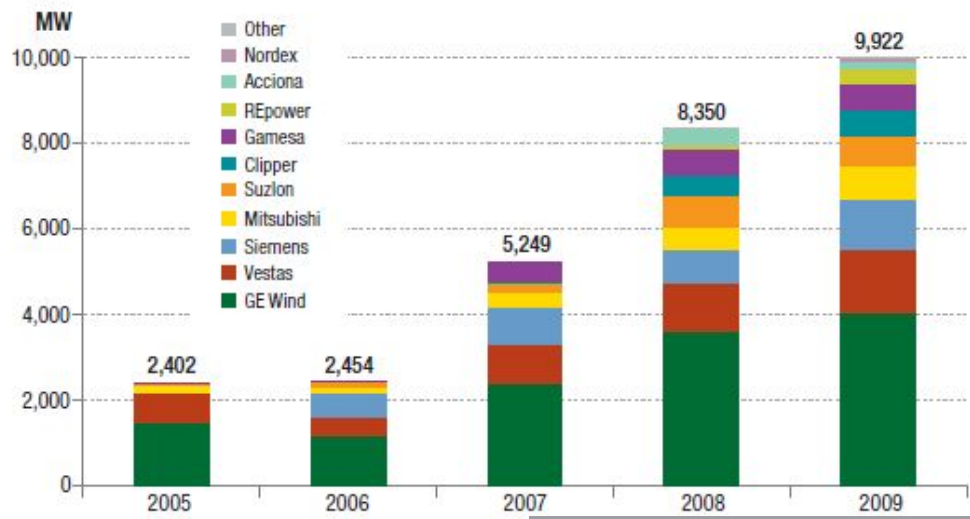


## U.S. Wind Turbine Market Share 2009

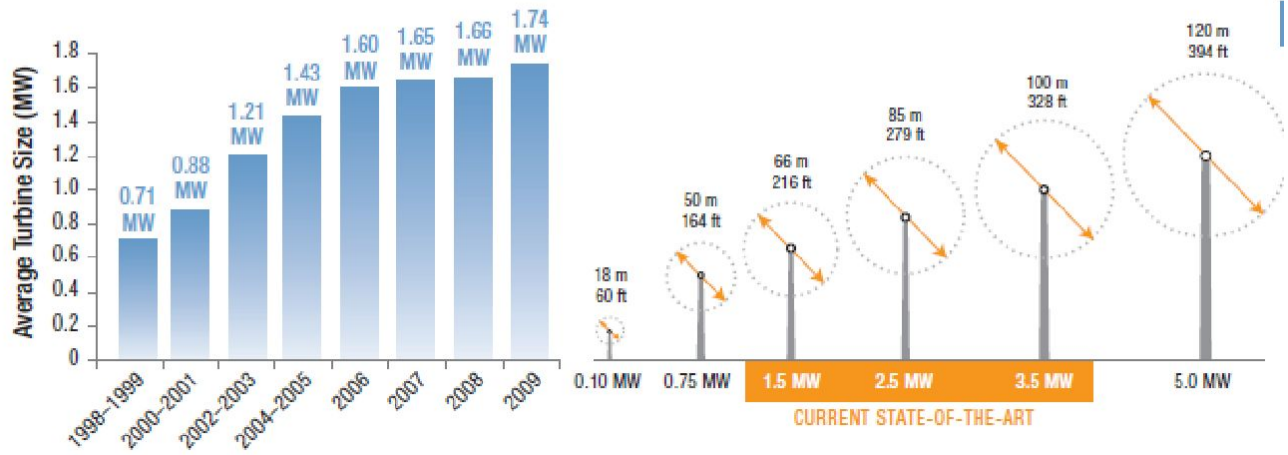
Total Turbine Installations: 9,922 MW



# Annual U.S. Wind Turbine Installations, by Manufacturer (MW)



## Average Installed Turbine Size



# III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА ЗЕМЛИ (ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ)

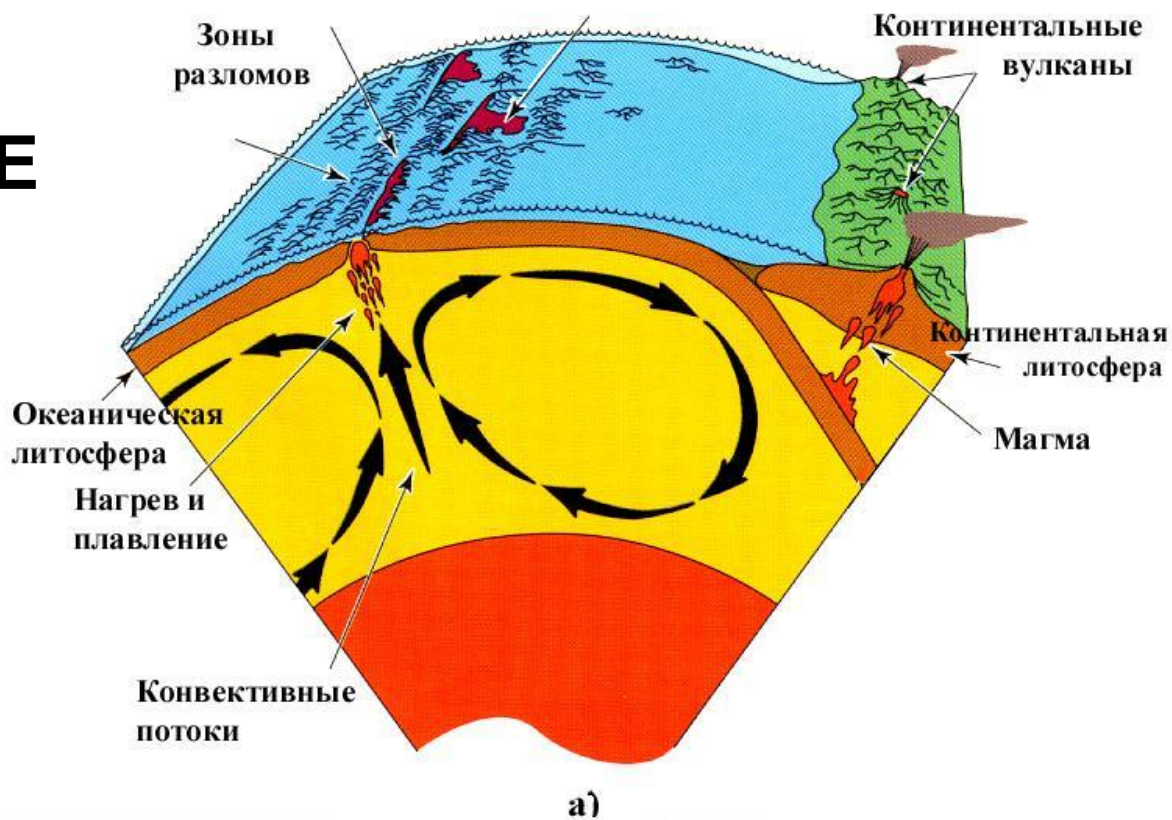
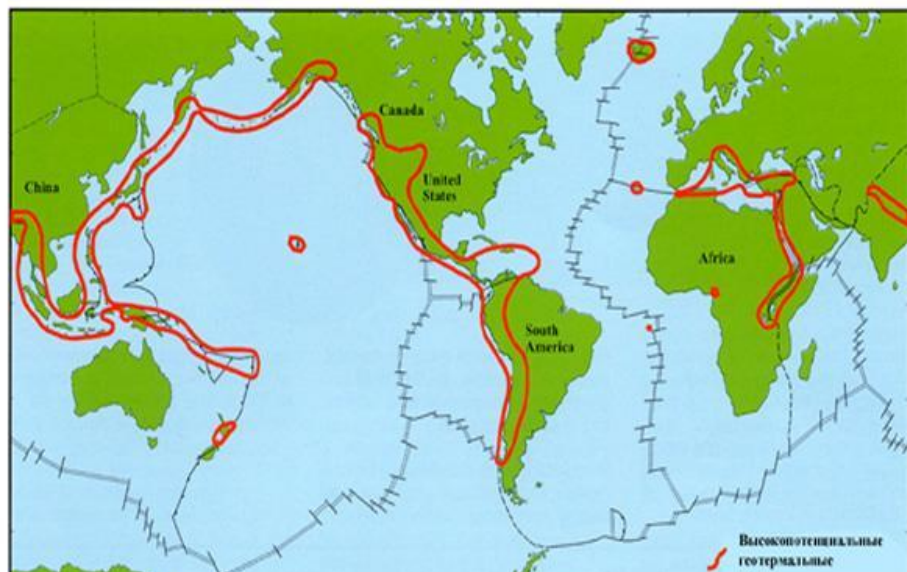


Рис.1. Тепловые потоки  
Земли (а) и расположение  
мировых  
высокопотенциальных  
геотермальных ресурсов (б).

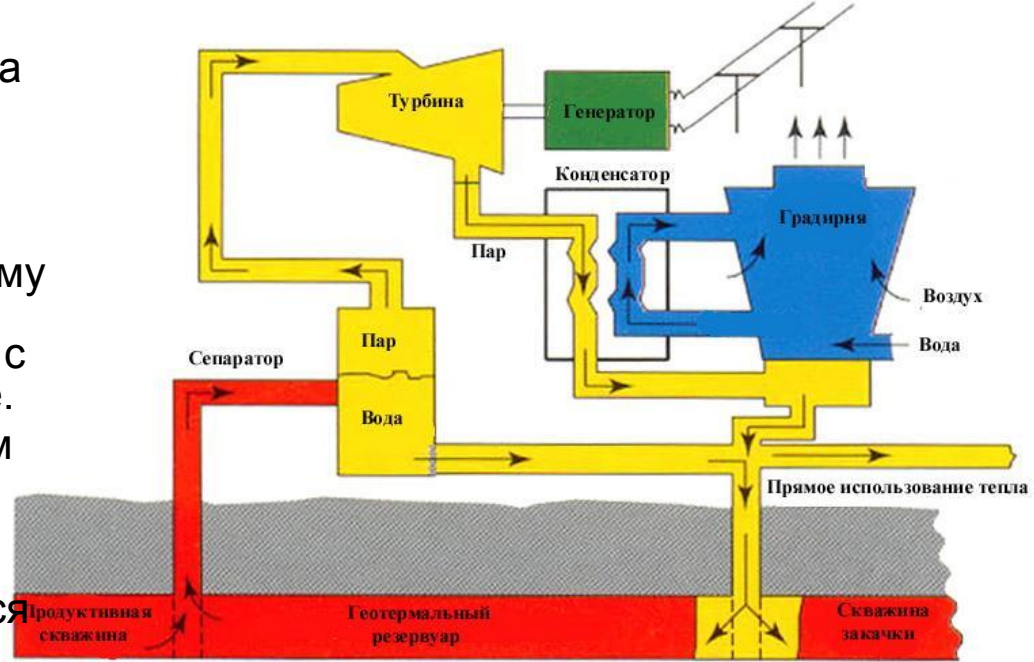


- В России впервые в 1967 году было запатентовано изобретение и реализована на опытно-промышленной Паратунской ГеоЭС (Камчатка) с бинарным циклом технология получения электрической энергии на основе использования геотермальной горячей воды. К настоящему времени более 500 подобных геотермальных энергетических установок с бинарным циклом работают во всем мире.

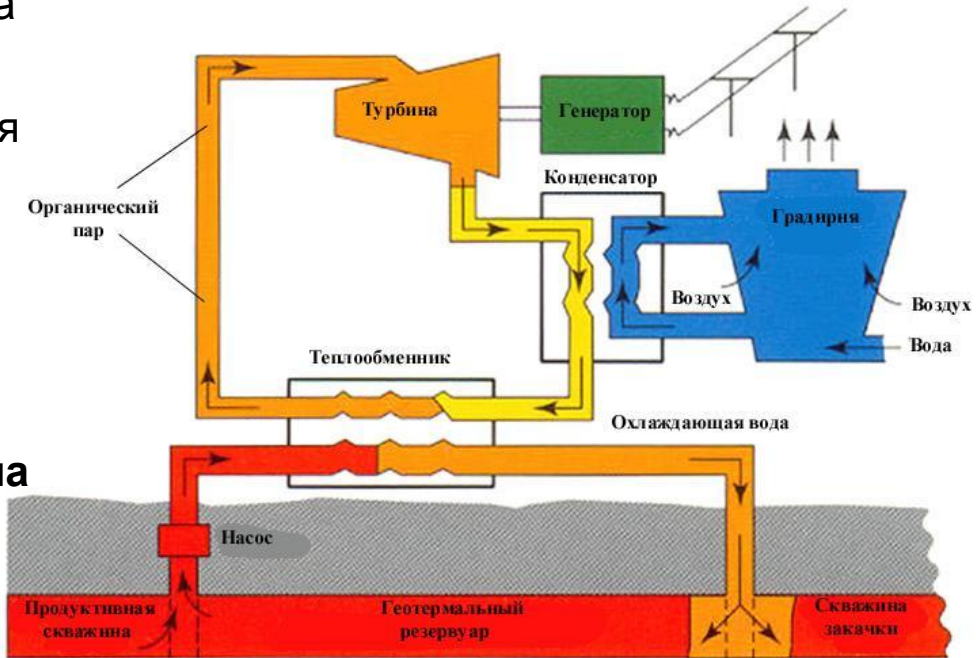
- Двухконтурные ГеоЭС с бинарным циклом позволяют реализовать технологию получения электроэнергии из горячей геотермальной воды. Геотермальный теплоноситель в таких ГеоЭС используется для подогрева и испарения в теплообменнике рабочего низкокипящего тела (например, изопентан) второго контура (см. рис. 2,б), которое в парообразном состоянии совершает работу в бинарной турбине. Затем происходит его конденсация в конденсаторе и весь рабочий цикл повторяется вновь.

- Для обеспечения конденсации пара в конденсаторе применяются различные системы охлаждения, в том числе воздушные градирни (см. рис. 2, а,б).

- **Рис. 2** Принципиальные схемы технологий выработки электроэнергии на традиционных ГеоЭС (а) и на ГеоЭС с бинарным циклом (б).



а)



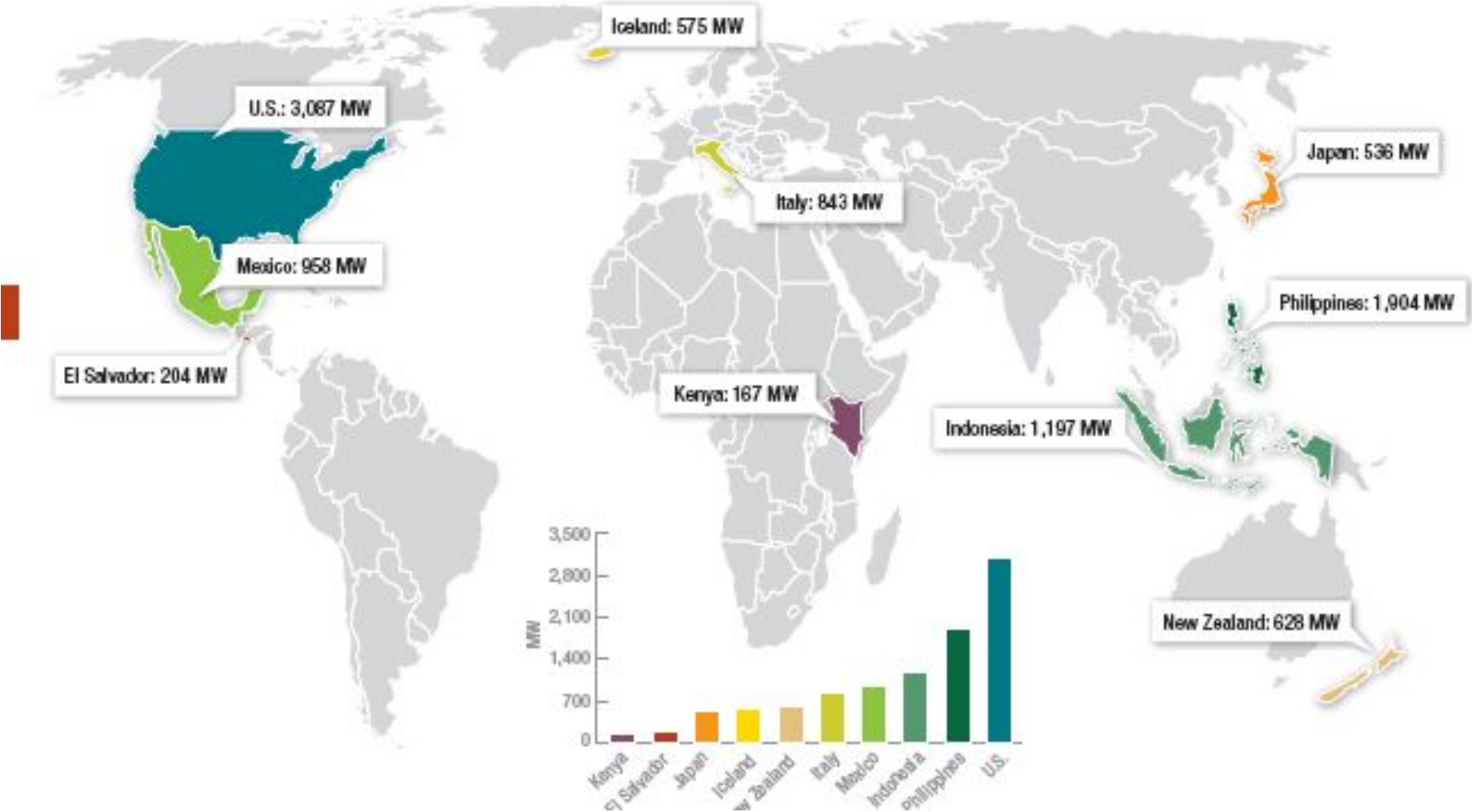
б)



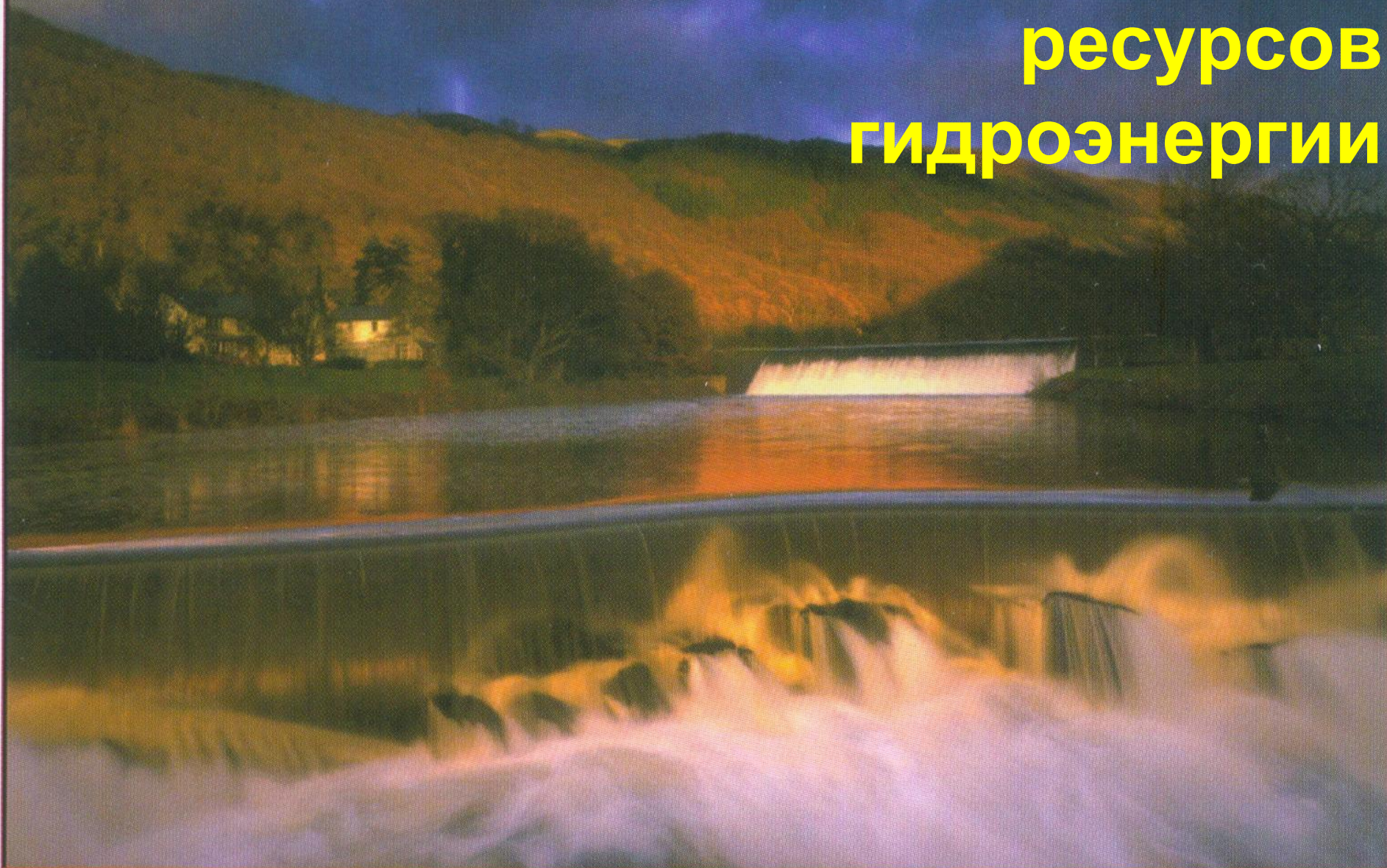
# Geothermal Power Stations of Kamchatka and Kuril Islands



# Global Geothermal Electricity Capacity (2009) – Select Countries

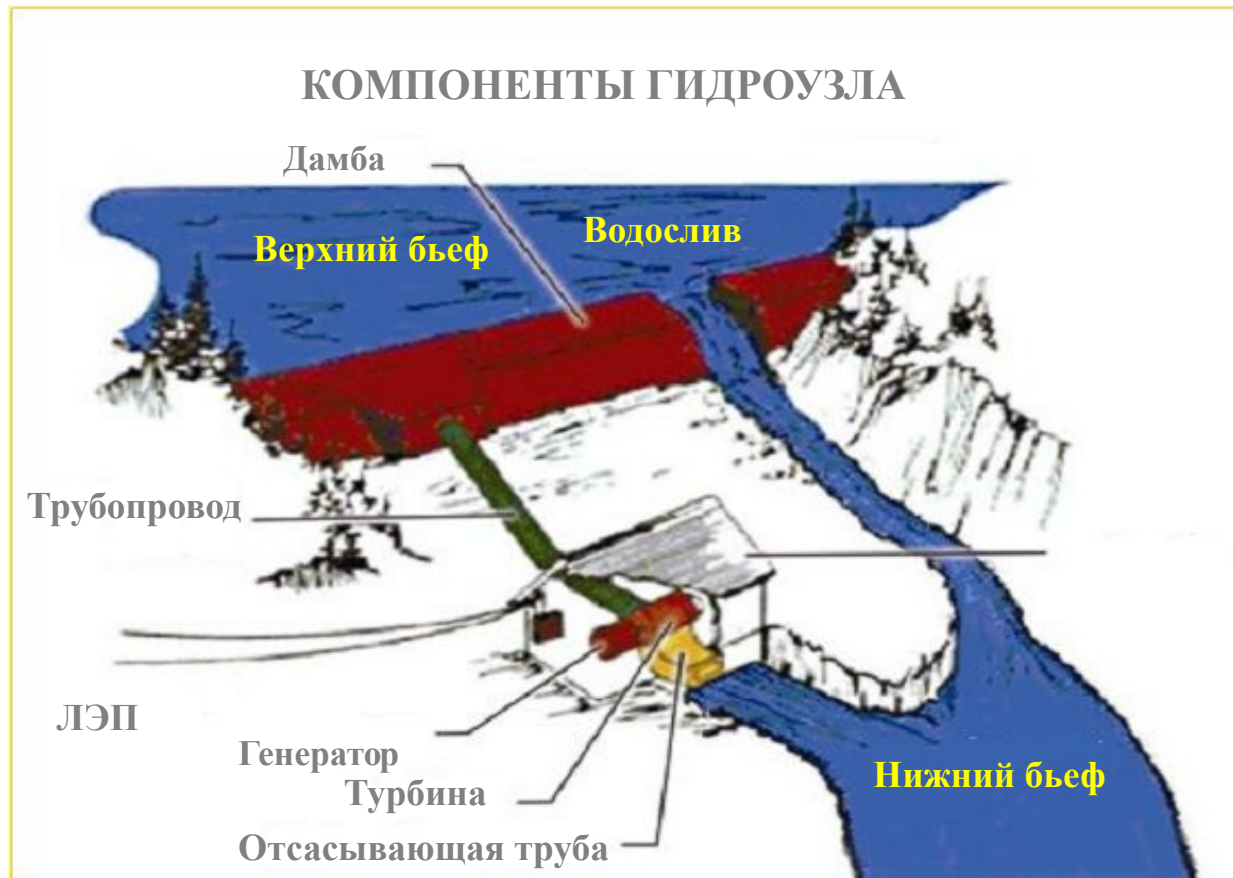


# IV. Использование ресурсов гидроэнергии



# Micro- and Mini-Hydro Power Installations

$N =$  from 10 kW to several MW



# Классификация МГЭС

## По мощности:

- в России – от 0,1 до 30 МВт
- в Европе (ЕСНА) – до 10 МВт
- ООН:
  - микроГЭС - до 0,1 МВт
  - мини-ГЭС - от 0,1 до 1 МВт
  - малые ГЭС - от 1 до 10 МВт

## По способу создания напора:

- плотинные;
- деривационные;
- смешанные (плотинно-деривационные);
- малые ГЭС при готовом напорном фронте (на перепадах каналов, в системах водоснабжения и др.).

## По типу водотока :

- малых реках;
- ручьях;
- озерных водосбросах;
- оросительных водоводах;
- питьевых водоводах;
- технологических водотоках и продуктопроводах предприятий;
- водосбросах ТЭЦ и АЭС;
- промышленных и канализационных стоках.

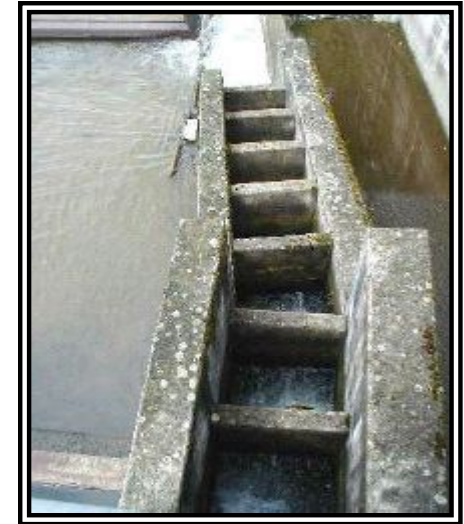
# Характеристики МГЭС

## Экологические аспекты:

- Минимальное затопление земель или их отсутствие (русловые МГЭС)
- Подтопление и переработка берегов присутствует в меньших масштабах
- Улучшение гидрологических условий реки
- Минимальное климатическое воздействие
- Минимальное ландшафтное преобразование
- Не препятствуют процессам водообмена, способствуют аэрации воды
- Не могут спровоцировать землетрясения
- Повышают кормность водоемов, благоприятно влияют на ихтиофауну
- Дают минимальный вклад в эмиссию газов по сравнению со всеми способами производства энергии (по полному циклу производства)

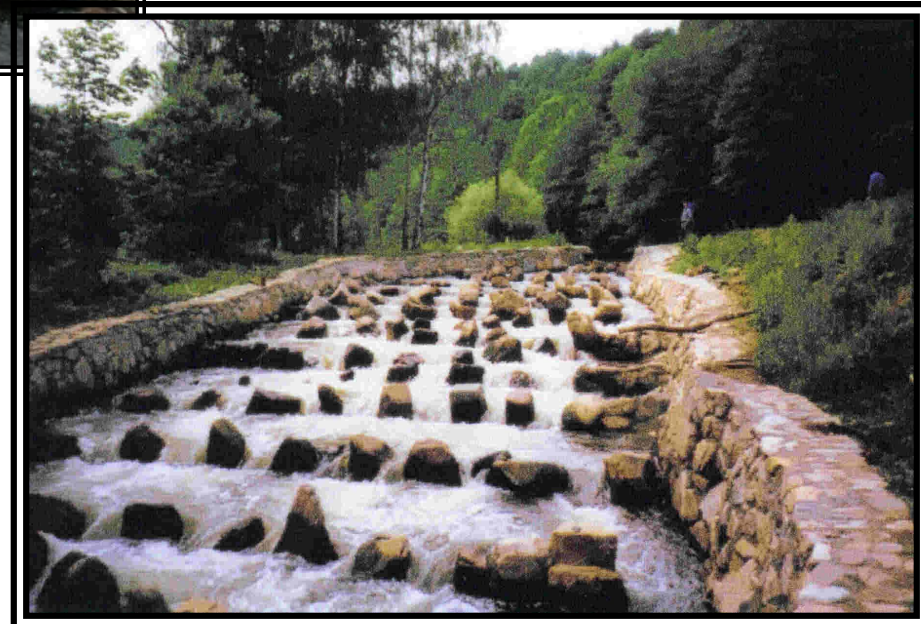
# Рыбоходы

## 1. Лестничный

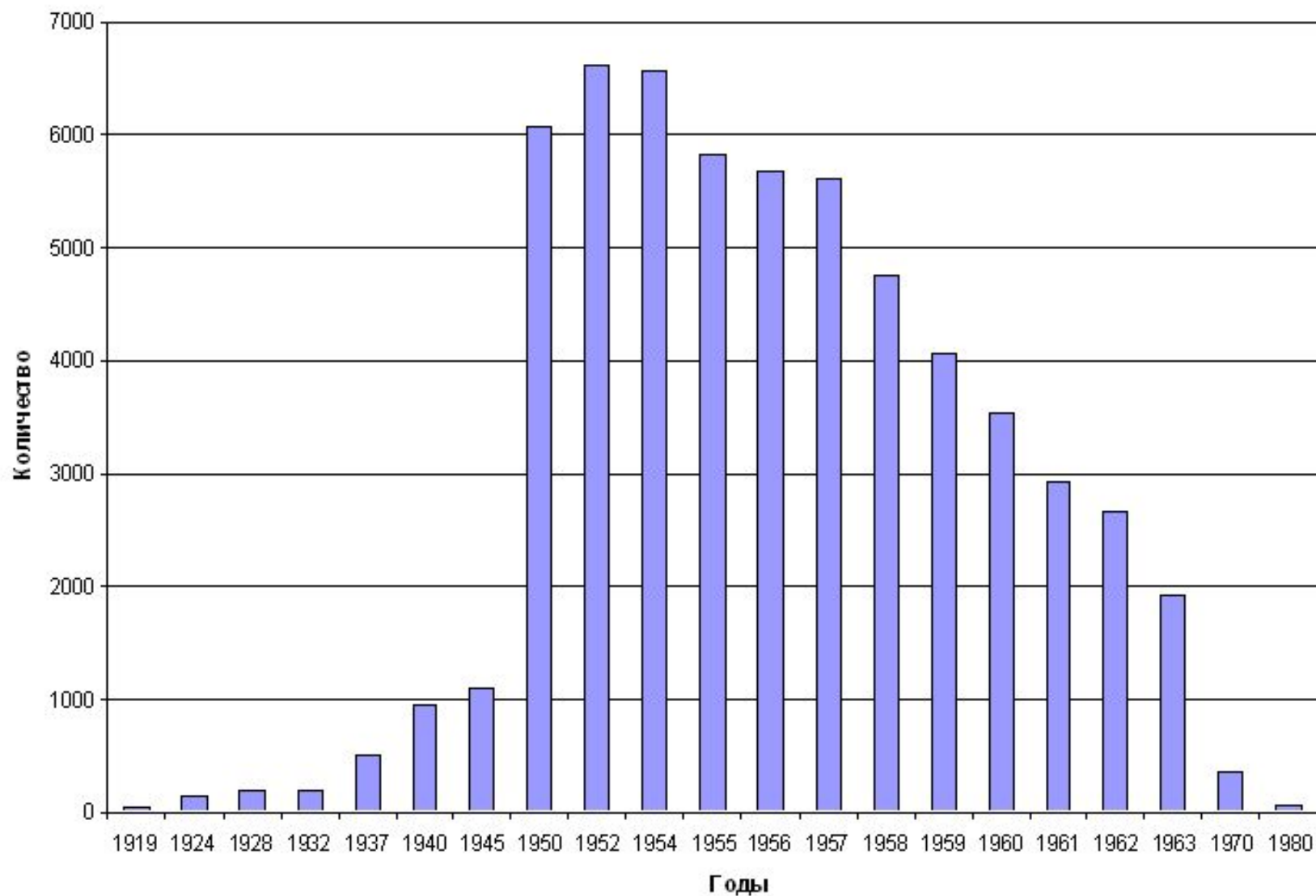


## 2. Лотковый

## 3. Имитирующий природу



## Число малых ГЭС действовавших в России в период с 1919 по 1980 гг.





За последние годы в  
**ЗАО «МНТО ИНСЭТ»**

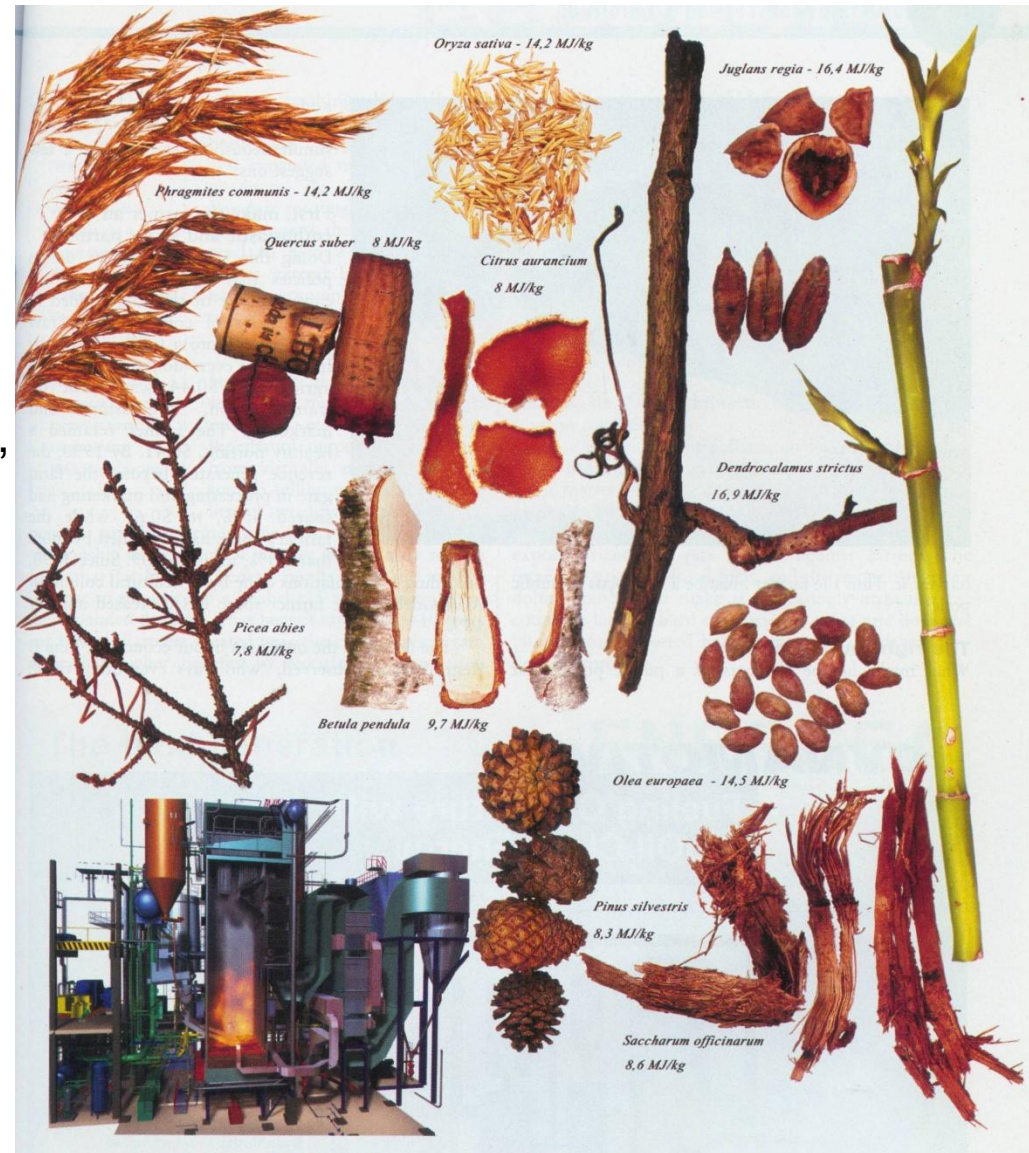
разработаны «Концепции развития и  
схемы размещения объектов малой  
гидроэнергетики»  
для Республик  
Тыва (18 малых ГЭС)  
Алтай (35 малых ГЭС)  
Бурятия (12 малых ГЭС)  
Северная Осетия – Алания  
(17 малых ГЭС)  
общей мощностью более 370 МВт



# V. Направления биоэнергетики

По источникам биомасса делится :

- древесные отходы (отходы лесохозяйственных и строительных компаний);
- лесосечные отходы
- лесные массивы с коротким циклом
- травяные лигноцеллюлозные культуры (мискантус)
- сахарные культуры (сахарная свекла, сахарный тростник, сорго)
- крахмальные культуры (кукуруза, пшеница, зерно, ячмень)
- масляные культуры (рапс, подсолнечники)
- сельскохозяйственные субпродукты и отходы (солома, навоз, компост и т.д.)
- органические фракции коммунально-бытовых твердых отходов и осадки сточных вод
- промышленные отходы (например, от пищевой и бумажно-целлюлозной промышленности)



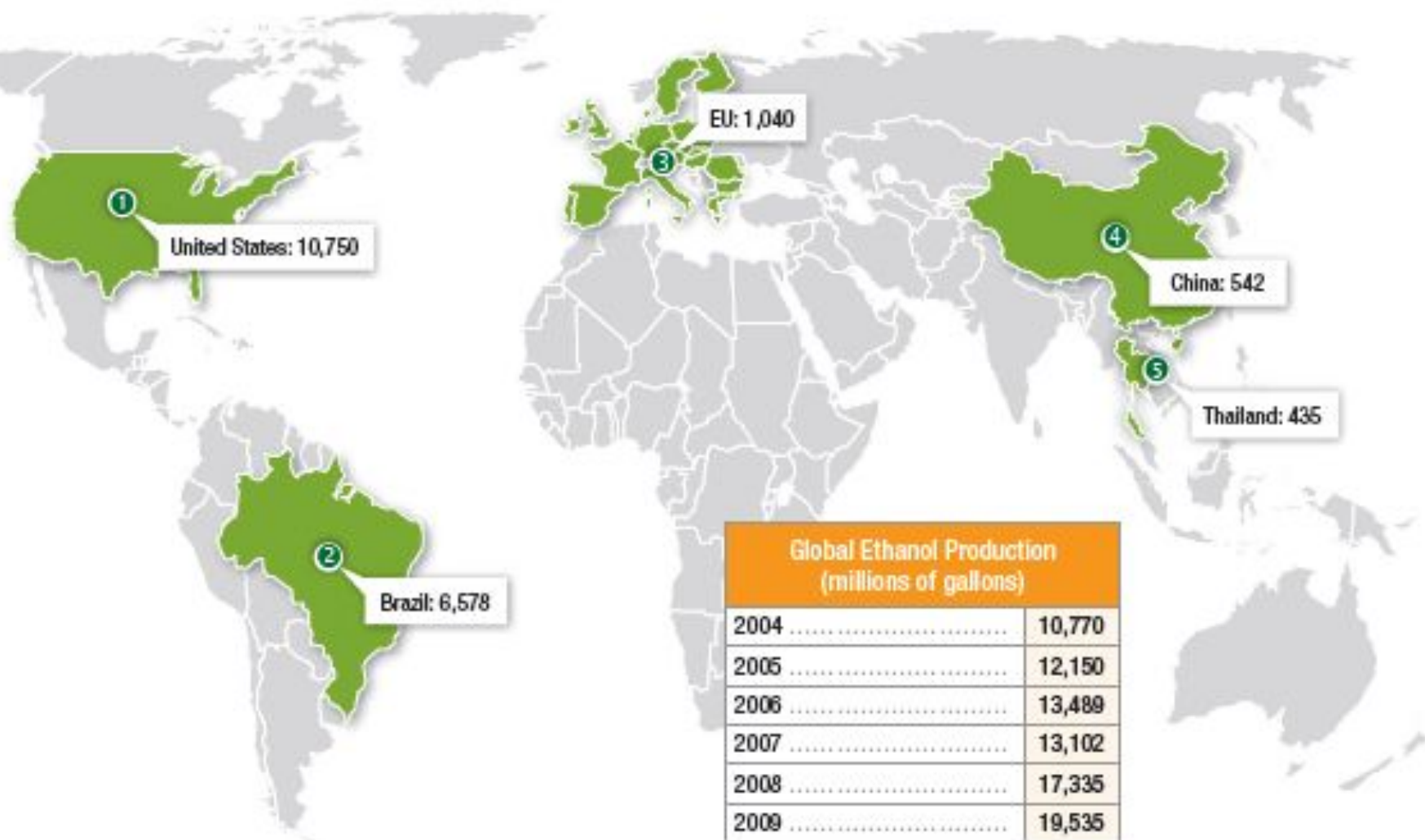
К основным **жидким биотопливам**, получаемым по современным технологиям, следует отнести:

- - **биодизельное топливо (биодизель)** (способ получения: переэтерификация триацилглицеридов (ТАГ) растительных масел и животных жиров; в качестве сопутствующего продукта получается глицерин);
- - **возобновляемый дизель** (способы получения: 1) гидропроцессинг ТАГ; 2) газификация биомассы или продуктов ее пиролиза с последующей каталитической конверсией синтез-газа, в том числе по технологиям Фишера-Тропша (английская аббревиатура процесса - BTL (biomass to liquid));
- - **биоэтанол первого поколения из пищевого сырья** (способ получения: спиртовое брожение углеводсодержащего сырья дрожжами);
- - **биобутанол первого поколения из пищевого сырья** (способ получения: ацетоно-бутиловое сбраживание растворенных сахаров анаэробными клостридиями. В этом процессе образуется бутанол, ацетон и этанол в соотношении 60:30:10, соответственно; побочным продуктом является водород);
- - **биоэтанол второго поколения из целлюлозного сырья** (способы получения: 1) слабокислотный или энзиматический гидролиз лигноцеллюлозной биомассы, делигнификация, брожение и осушка полученного этанола; 2) газификация биомассы с последующей переработкой синтез-газа в этанол; 3) каталитический синтез этанола);
- - **биобутанол второго поколения из целлюлозного сырья** (способы получения: производство основано на ацетоно-бутиловом сбраживании анаэробными клостридиями растворенных сахаров, полученных из целлюлозы);
- - **жидкое пиролизное биотопливо (бионефть)** (способ получения: быстрый пиролиз). Бионефть широко используется как альтернативное топливо малой и коммунальной энергетики, а также в качестве химического сырья и сырья для дорожного строительства

*\*Гидропроцессинг включает гидрокрекинг, гидрогенизацию и гидроочистку.*

# Global Ethanol Production

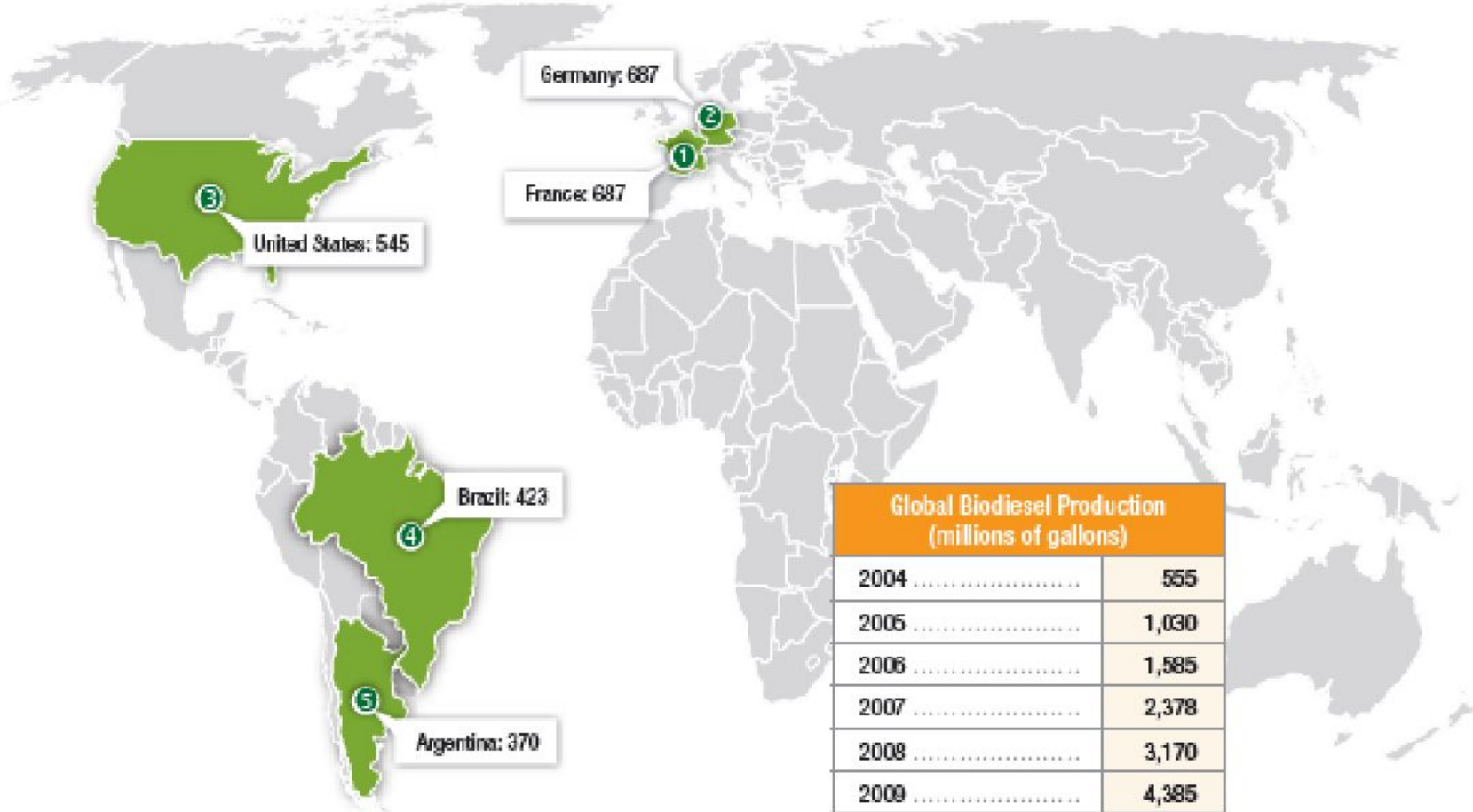
## Top Five Countries (2009) Ethanol Production (millions of gallons)



Global Ethanol Production (millions of gallons)	
2004	10,770
2005	12,150
2006	13,489
2007	13,102
2008	17,335
2009	19,535

# Global Biodiesel Production

Top Five Countries (2009) Biodiesel Production (millions of gallons)



# Топливо третьего поколения из продуктов биосинтеза микроводорослей

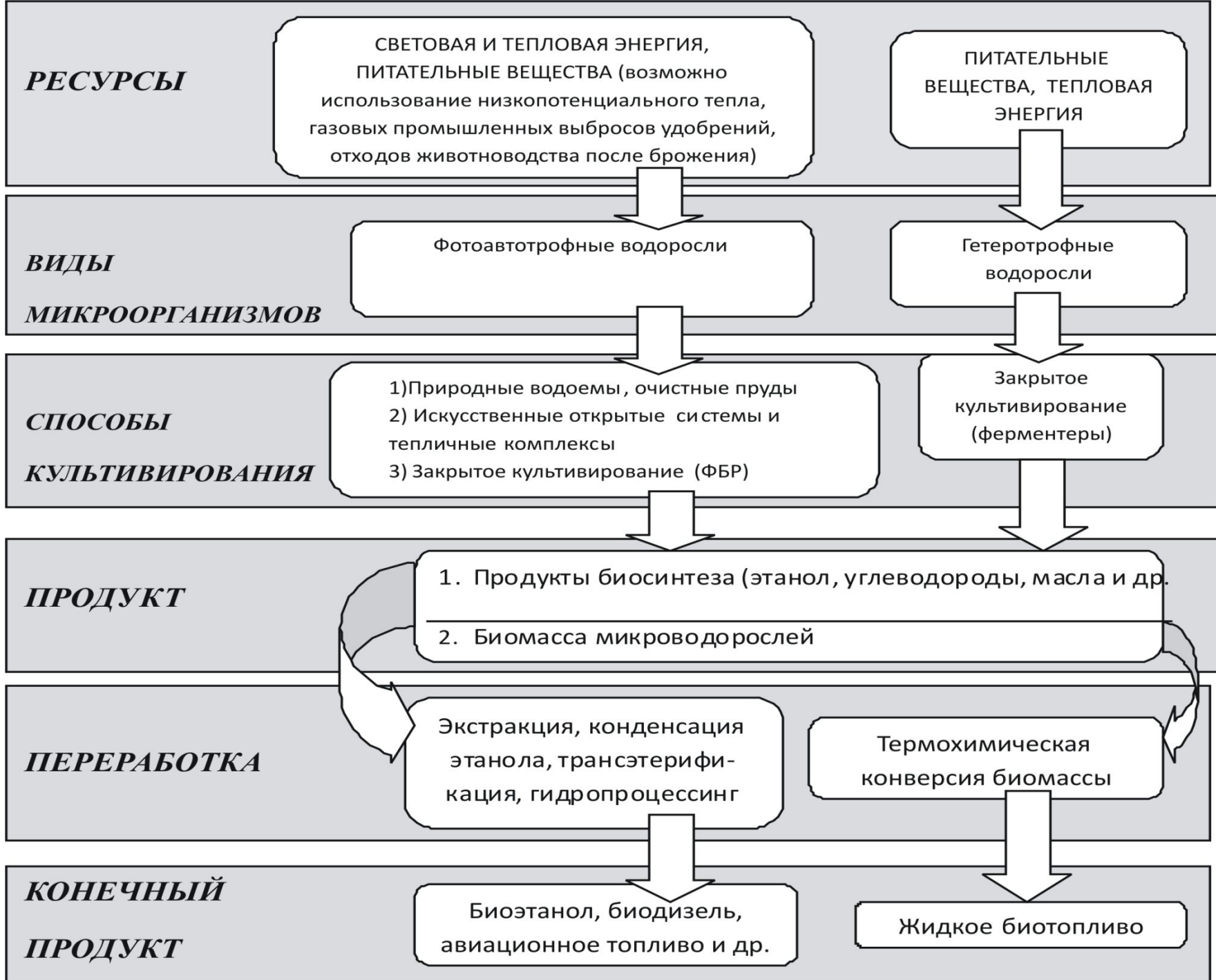
Способ получения:

- 1) биосинтез **этанола и водорода водорослями;**
- 2) биосинтез
  - а) углеводов (с последующим спиртовым или ацетоно-бутиловым сбраживанием до **биоэтанола и биобутанола**),
  - б) углеводородов (с последующим гидрокрекингом до **керосина, бензина, дизеля, мазута и др.**),
  - в) ТАГов (с получением переэтерификацией **биодизеля** и гидропроцессингом - **авиационного топлива**) и др.

При этом сама биомасса микроводорослей или отходы ее переработки могут служить сырьем для производства биотоплива (метана, бioneфти, жидких биотоплив) технологиями второй генерации (рис.1).



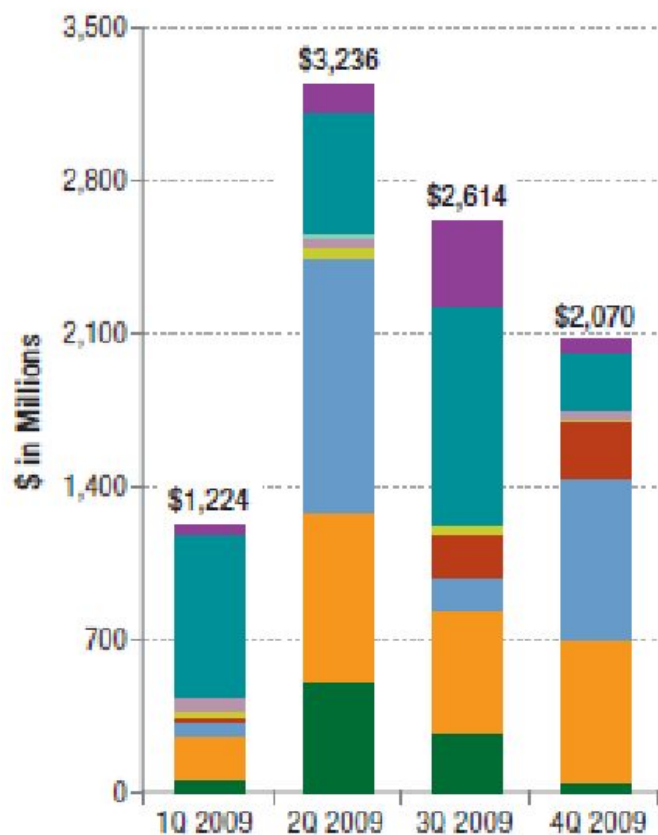
Керосин  
Бензин  
Дизель  
Мазут



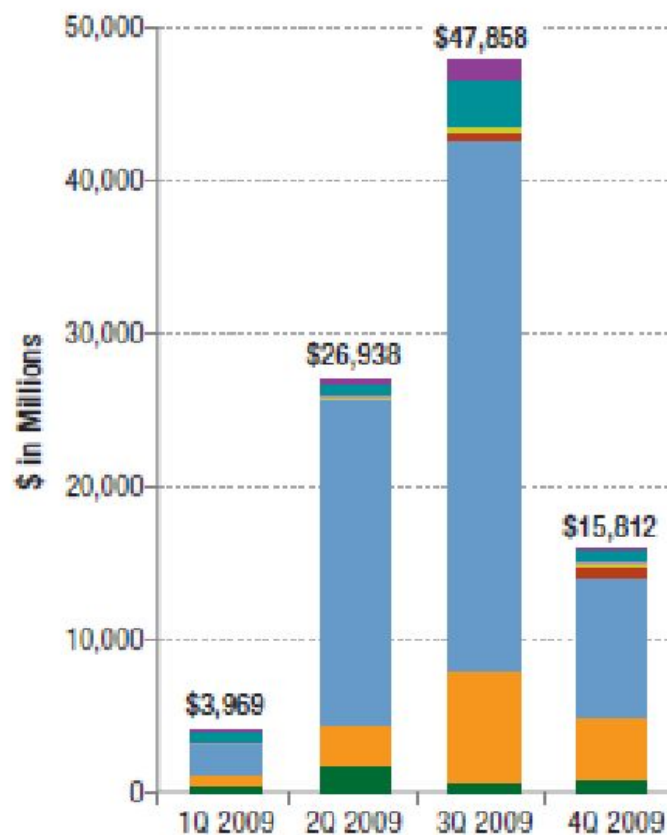


# U.S. and Global Total Investment in Renewable Energy, 2009 (\$ millions)

## U.S. Total Investment



## Global Total Investment



Source: Bloomberg New Energy Finance

Completed and disclosed deals only.

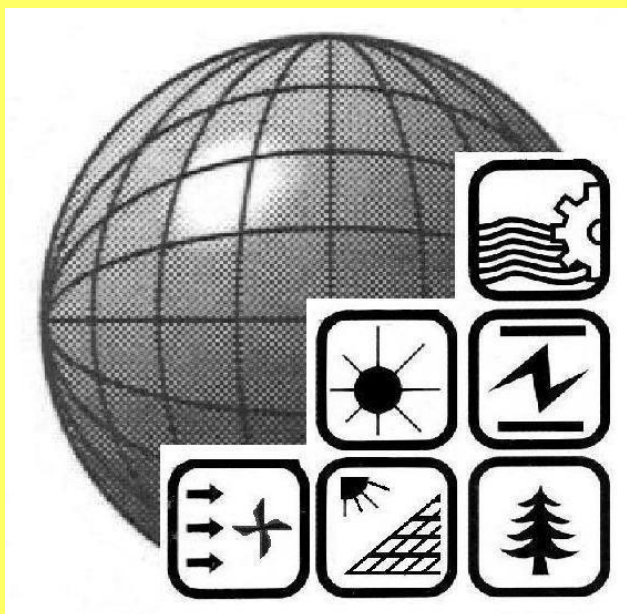
Includes VC/PE, public market activity, asset financing, and acquisition transactions.

# Спасибо за внимание!



**ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
МГУ имени М.В. Ломоносова

119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1,  
Географический факультет МГУ  
имени М.В.Ломоносова



## НИЛ ВИЭ МГУ

<http://www.geogr.msu.ru>

[rsemsu@mail.ru](mailto:rsemsu@mail.ru)

+7 495 939-42-57