



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ТЕЧЕНИЙ И ВОЛН

---

ЛЕКЦИЯ 14

# ЭНЕРГИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

Почти 70% нашей планеты занимают водоемы, которые обладают колоссальными возможностями для усовершенствования технологий получения чистой возобновляемой энергии. Энергия океанов крайне ценна в качестве неисчерпаемого источника энергии.

Средняя глубина Мирового океана составляет примерно 3790 метров. Если бы все воды океанов распределились равномерно по всей поверхности Земли, уровень достиг бы высоты 2200 метров.

Океаны нашей планеты, кроме механической волновой и приливной энергии, заключают в себе потенциальную тепловую энергию.



## Энергетические водные ресурсы

Название	Источник	Оценка потенциальных ресурсов	Оценка себестоимости производства энергии
Энергия приливов	Приливы моря и океана	8-80 тыс. ТВт/год	90-137 уе./МВт
Энергия волн	Волны в океане, прибрежные волны	200 ТВт/год	
Энергия течений	Сильные морские течения	0,8-5 ТВт/год	56-168 уе./МВт
Энергия температурного градиента морской воды	Разница температуры воды у поверхности и на глубине океана	10 тыс. ТВт/год	



Мировые океаны и моря имеют свою систему течений, стратификацию наносов, соленость. Важна температурная стратификация в водоемах.

**Всемирный океанический биопотенциал тепловой энергии достигает 1013 Вт.**

## Энергия волн

Энергия океанских волн отличается намного большей удельной мощностью, чем энергия ветра и солнца.

Средний показатель мощности океанического волнения достигает примерно 15 кВт/м.

Показатель мощности увеличивается с увеличением высоты волны и при 2 м уже составляет 80 кВт/м.



**Волновая электростанция - это гидроэлектростанция, в которой для выработки электричества используется энергия движущейся водяной массы.**

Первой в мире промышленной электрической станцией, использующей энергию волн для производства электрической энергии, является Oceanlinx в Австралии. Она начала работать с 2005 г.

Работа станции основана на принципе «осциллирующего водяного столба» - вследствие действия волн, воздух поступает в турбину, заставляя ее лопасти вращаться.

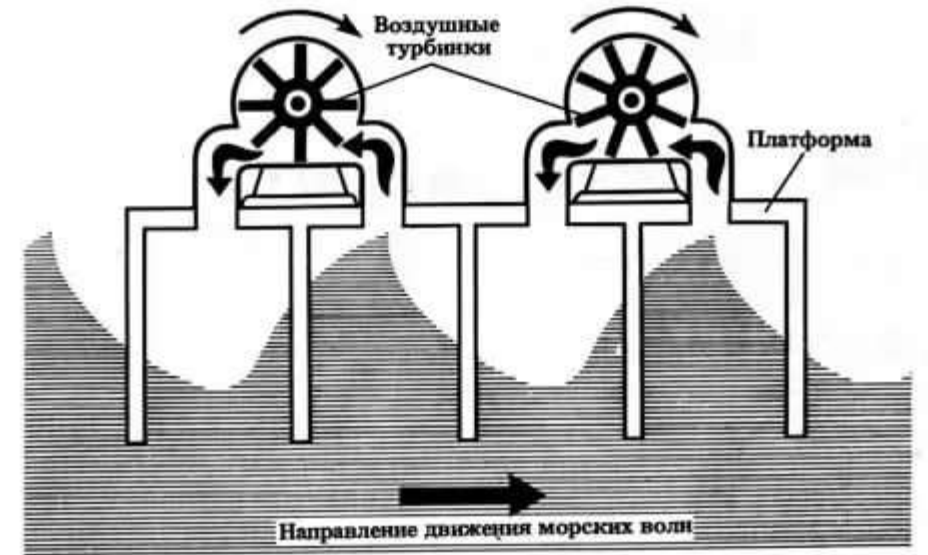
В настоящее время мощность установки составляет 1 МВт.

Станция стоит на дне моря, поднимаясь из воды примерно на 10-15 м.



Преобразование энергии волны происходит разными способами:

- ✓ волна проходит сквозь пустую камеру, выталкивает из нее воздух, под действием которого начинается вращение турбины. Далее вращательное движение передается генератору;
- ✓ волна пропускается через большую трубу с установленными в ней лопастями. Они начинают вращаться и приводят в действие генератор;
- ✓ «колеблющееся тело». Данный вариант предусматривает соединение нескольких плавающих секций в общий конвертер. Между ними устанавливаются подвижные платформы с гидравлическими поршнями. Затем один или несколько поршней соединяются с гидравлическим двигателем, обеспечивающим движение электрического генератора. Волны раскачивают и последовательно приводят в движение всю систему;
- ✓ «искусственный атолл». Представляет собой сооружение из бетона с поверхностью, на которую накатываются волны. Его средняя часть отведена для накопительного резервуара, расположенного выше уровня моря. Вода поднимается в бассейн по специальной наклонной поверхности за счет эффекта набегающей волны. Далее, через отверстие водяной поток попадает на турбину и вращает лопасти.





## Энергия приливов и отливов

Волнение моря, которое проявляется в регулярных подъемах и падениях уровня моря, является результатом приливных сил Луны и Солнца. Форма побережья оказывает большое влияние на высоту приливов. Высокие приливы образуются там, где бурлящая вода устремляется в узкие и длинные заливы. **Самый высокий известный прилив наблюдается у берегов Новой Шотландии в США. Вода там поднимается на целых 20 м.**

В течение лунных суток (т.е. за 24 ч 50 мин и 30 с) одно и то же место дважды сменяется отливом и дважды приливом.

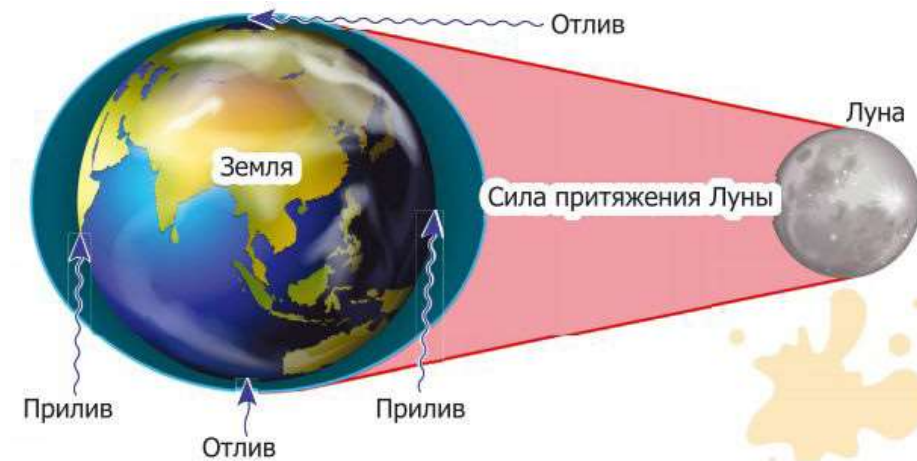
Самым очевидным методом применения океанической энергии является строительство приливных электростанций (ПЭС).

Самая первая такая станция появилась в бухте Ди (около Ливерпуля) в 1813, но просуществовала недолго.

В 1967 году в устье французской реки Ранс на приливах почти 13 метров функционирует ПЭС, которая имеет мощность 240 тыс.

<sup>кВт</sup> Советскому инженеру Бернштейну удалось создать отличный вариант блоков ПЭС, которые буксируются на плаву в необходимые точки водоема. Согласно его идеям и расчетам в 1968 году вблизи Мурманска была построена приливная электростанция.

В 1979 году в районе Гавайских островов была построена теплоэнергетическая установка мини-ОТЕС. Максимальная мощность этой платформы достигала 53 кВт. Часть этой энергии переводилась для зарядки аккумуляторных батарей.



Для выработки электроэнергии электростанции такого типа используют энергию прилива. Первая такая электростанция (Паужетская) мощностью 5 МВт была построена на Камчатке. Для устройства простейшей приливной электростанции (ПЭС) нужен бассейн - перекрытый плотиной залив или устье реки. В плотине имеются водопропускные отверстия и установлены гидротурбины, которые вращают генератор.

**Гидротурбина** это лопаточная машина, приводимая во вращение потоком жидкости, обычно речной воды.

По принципу действия гидравлические турбины подразделяют на:

- ✓ активные (свободоструйные);
- ✓ реактивные (напороструйные).

В зависимости от расположения оси вращения гидрогенераторы:

- ✓ вертикальные;
- ✓ горизонтальные.

Во время прилива вода поступает в бассейн. Когда уровни воды в бассейне и море сравняются, затворы водопропускных отверстий закрываются. С наступлением отлива уровень воды в море понижается, и, когда напор становится достаточным, турбины и соединенные с ним электрогенераторы начинают работать, а вода из бассейна постепенно уходит.

В приливных электростанциях двустороннего действия турбины работают при движении воды из моря в бассейн и обратно. Приливные электростанции двустороннего действия способна вырабатывать электроэнергию непрерывно в течение 4-5 ч с перерывами в 1-2 ч четыре раза в сутки.

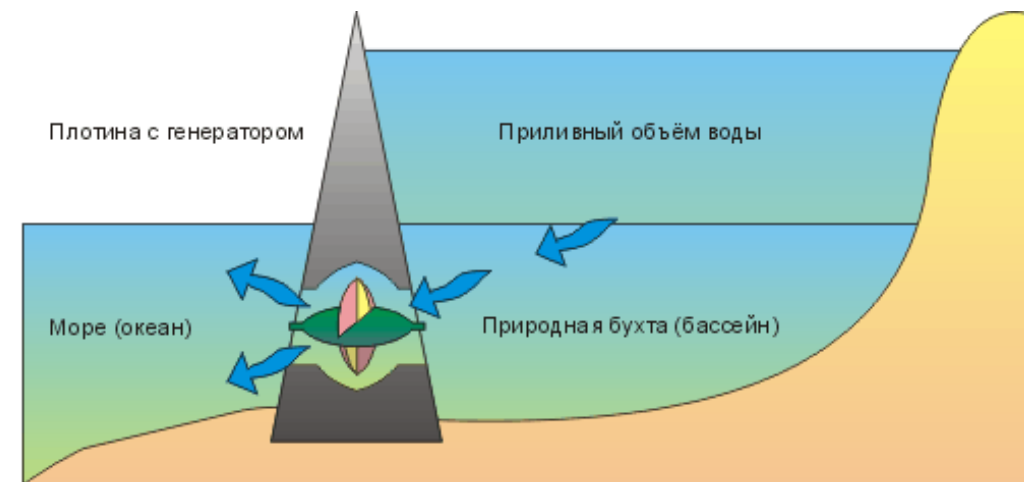


**Паужетская ПЭС**

По частоте вращения:

- ✓ тихоходные (до 100 об/мин)
- ✓ быстроходные (свыше 100 об/мин).

**Мощность гидрогенераторов от нескольких десятков до нескольких сотен МВт.**



Показаны районы с наибольшими значениями амплитуды колебаний приливов и отливов. Среди таких районов особый интерес представляет Ла-Манш, на берегах которого **средняя амплитуда приливов составляет 14,1 м.**

В связи с проявлением кориолисовой силы амплитуда приливов особенно велика в южной части Ла-Манша, у побережья Франции, у берегов островов Гернси и Джерси.

По оценкам специалистов, общая электрическая энергия, которую могли бы выработать приливы Ла-Манша, равна не менее 10-20 ГВт.

В соответствии с одним из проектов освоения этой энергии здесь должны быть построены плотины общей длиной около 100 км, которые соединят южный и восточный берега залива Сен-Мало с островом Джерси и отсекут часть моря площадью около 2200 км<sup>2</sup>.

Гарантированная мощность электростанции, использующих энергию приливов в этой сравнительно небольшой части Ла-Манша, составляет 4 ГВт; годовая производительность электроэнергии, по расчетам проектировщиков, составит 34 ГВт/ч.



Схема распределения основных ресурсов энергии приливов в проливе Ла-Манш.

Мощность приливной волны, ГВт:

- 1 - пересекающей определенный траверс,
- 2 - поглощаемая в каждой зоне

$1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$

## Энергия прибоя

Характер морских волн существенно меняется, когда они достигают мелководья. Когда волны ударяются о морское дно, их длина и высота меняются. При увеличении характеристик морских волн, гребни волн ломаются.



### Сила прибоя во время больших штормов невероятна.

Во Франции волны прибоя выбрасывали через каменный волнорез высотой 7 м валуны весом до 3,5 т и передвигали бетонный блок весом 65 т на расстояние 20 м.

Большая сила прибоя еще очень мало используется, в том числе и потому, что в местах сильного прибоя нет крупных городов и крупных промышленных предприятий.

В Японии была построена водяная турбина с вертикальным валом, пригодная для обоих направлений потоков воды. Ее лопасти самостоятельно раскрываются примерно на половину окружности в сторону против течения воды. Возникающий дисбаланс создает крутящий момент. Четырехлопастные турбины имеют диаметр до 700 мм и высоту до 150 мм.



**Энергия волн океана - самая слаборазвитая отрасль чистой энергетики.**



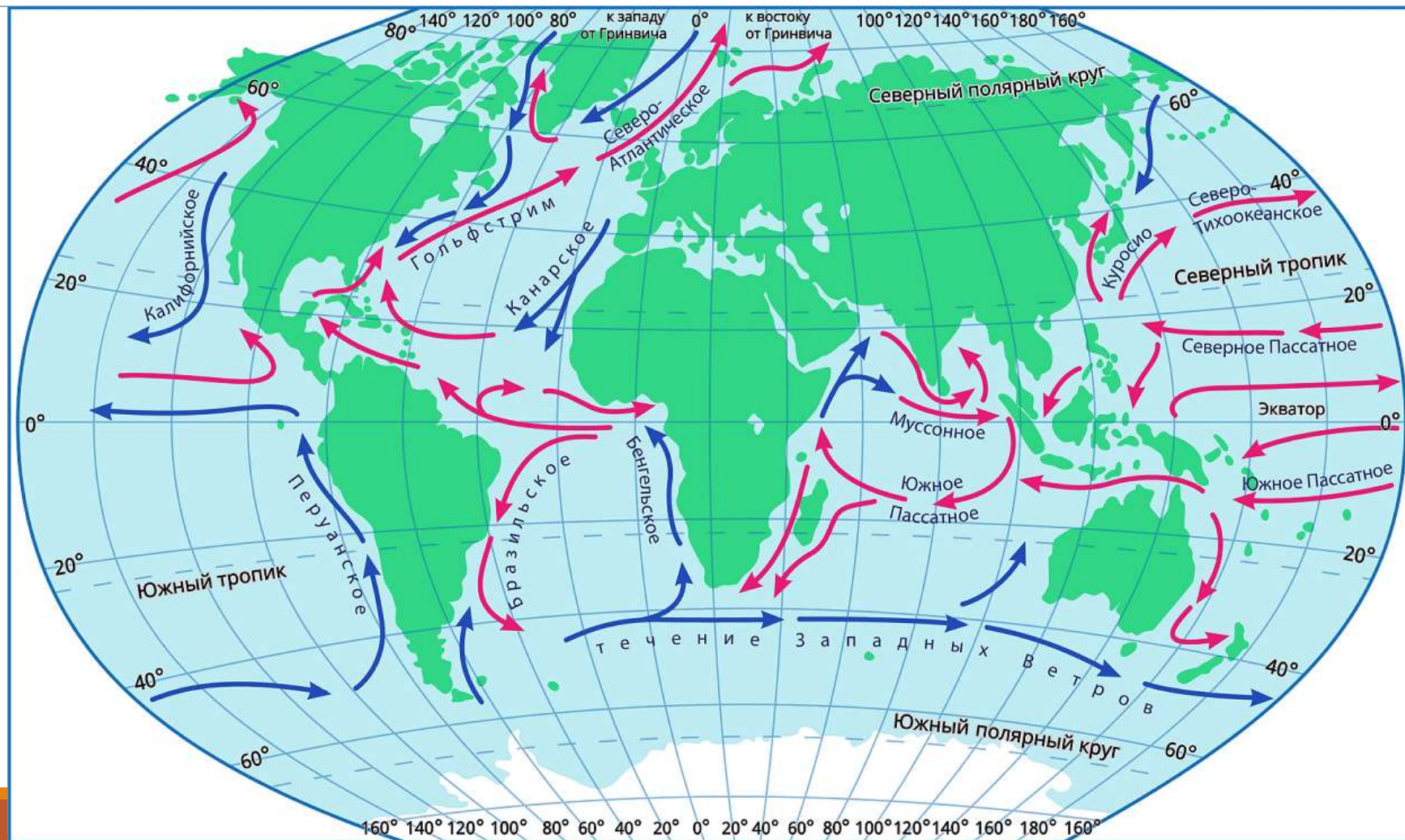
## Энергия морских течений

Океанические течения возникают в результате дифференциального нагрева поверхности моря солнцем. Для некоторых течений свой вклад в формирование вносят и разная соленость, плотность воды, рельеф морского дна и вращение Земли. Морские течения относительно постоянны и всегда текут в одном направлении.

Самое мощное теплое течение Мирового океана – Гольфстрим. Его скорость достигает 3,2 км/ч у дна и 8 км/ч на поверхности между Флоридой и мысом Хеттерас.

Одна тысячная его энергии могла бы питать 35 процентов Флориды.

Хотя океанские течения медленнее ветра, они несут гораздо больше энергии из-за плотности воды.



США, Япония и Китай думают об использовании морских течений. Разрабатываются различные типы турбин.

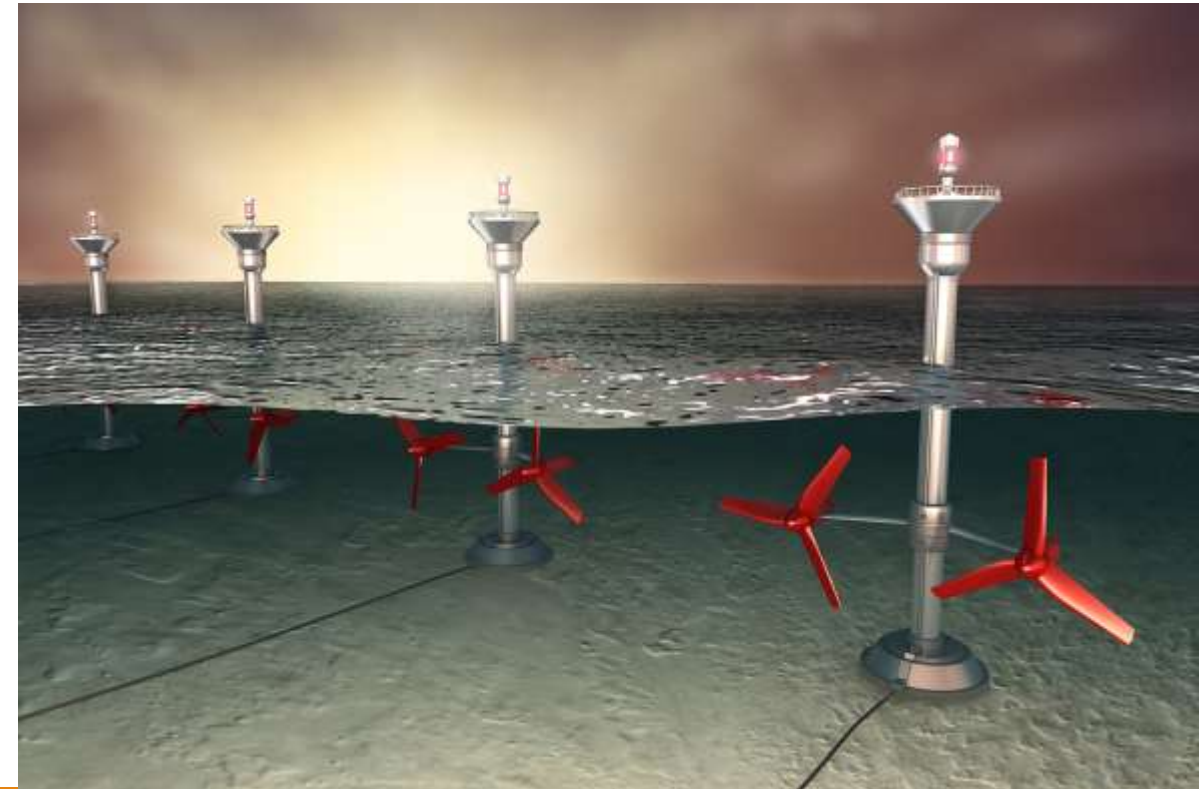
Одним из проектов предусмотрено использование больших турбин диаметром около 170 м, с двумя лопастями рабочего колеса, которые будут вращаться со скоростью 1 оборот в минуту. Турбины должны быть закреплены стальными тросами к тяжелым анкерам на глубине от 30 до 130 м от поверхности. Их взаимное расстояние составило бы 100 м водопропускных труб для прохода крупных судов.

**Гольфстрим может замедлиться, и возможные катастрофические последствия трудно предсказать.**

Француз Морион предлагает погрузить в морское дно огромные диски, которые вращались бы с морским течением. Турбина имела бы диаметр более 100 м. Он предлагает разместить эти электростанции на побережье Франции, Японии и Пиренейских островов. Испытательный проект проводился у южного побережья Сицилии.

В мире существует значительный интерес к этому проекту еще и потому, что он не угрожает стабильности течений и не сопряжен с экологическими рисками.

**Все проекты, использующие океанские течения, сопряжены с большим риском.**



**Будущее морской энергетики связано с использованием сильных океанских течений, приводящих в движение приливные турбины**



## Тепловая энергия моря

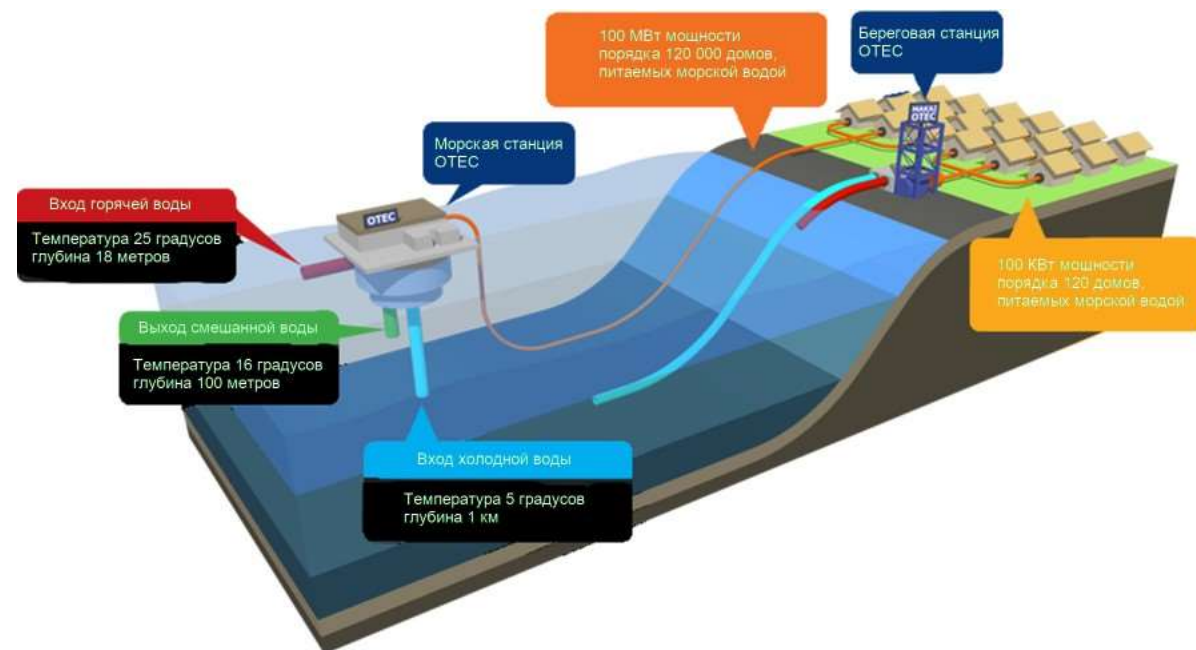
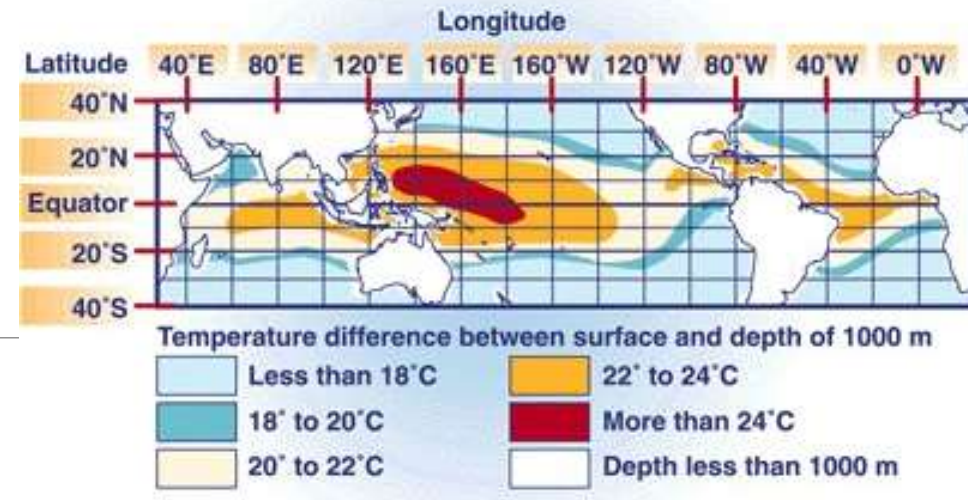
В Мировом океане содержится огромное количество тепловой энергии. Энергия температурного градиента морской воды (англ. Ocean Thermal Energy Conversion) - один из видов возобновляемой энергии, позволяющий получать электроэнергию, используя разницу температур на поверхности и глубине мирового океана.

Существуют системы преобразования тепловой энергии океана **открытого и замкнутого цикла**.

В **замкнутом цикле** Ренкина используется теплообменная среда (например, аммиак), которая испаряет температуру поверхностной воды, образующийся пар приводит в действие турбину низкого давления, а более холодная морская вода снова конденсирует среду.

В **открытых циклах** в качестве рабочего тела используется морская вода, которая испаряется за счет снижения давления. После прохождения турбины и конденсации вода опресняется и становится пригодной для питья.

Специальный арктический вариант такой системы использует разницу между температурой теплой воды подо льдом 2 °С и холодным воздухом до -50 °С.



В августе 1979 вблизи Гавайских островов начала работать теплоэнергетическая установка мини-ОТЕС.

Вблизи островов тропические воды встречаются с арктическим потоком, разница температур на поверхности и на глубине 450-600 м достигает 22°C.

Установка мини-ОТЕС была смонтирована на барже.

Под ее днищем помещен длинный трубопровод для забора холодной воды. Трубопроводом служит полиэтиленовая труба длиной 700 м с внутренним диаметром 50 см. В установке мини-ОТЕС теплые, поверхностные воды океана, прокачиваются насосом через теплообменник испарителя и превращают в газ рабочее тело с низкой температурой кипения (аммиак, фреон, пропан). Создается пар повышенного давления, который расширяется через турбину в холодильник, где конденсируется во втором теплообменнике, омываемом водой, закачиваемой из глубинных слоев океана.



Установки такого принципа работы называются установками закрытого цикла. Именно на Гавайях впервые в истории техники установка ОТЕС смогла отдать во внешнюю нагрузку полезную мощность, одновременно покрыв и собственные нужды. Опыт, полученный при эксплуатации мини-ОТЕС, позволил быстро построить мощную теплоэнергетическую установку ОТЕС-1 и приступить к проектированию еще более мощных систем подобного типа. Станции ОТЕС могут располагаться на материке или около него, на шельфе и в открытом океане (море).



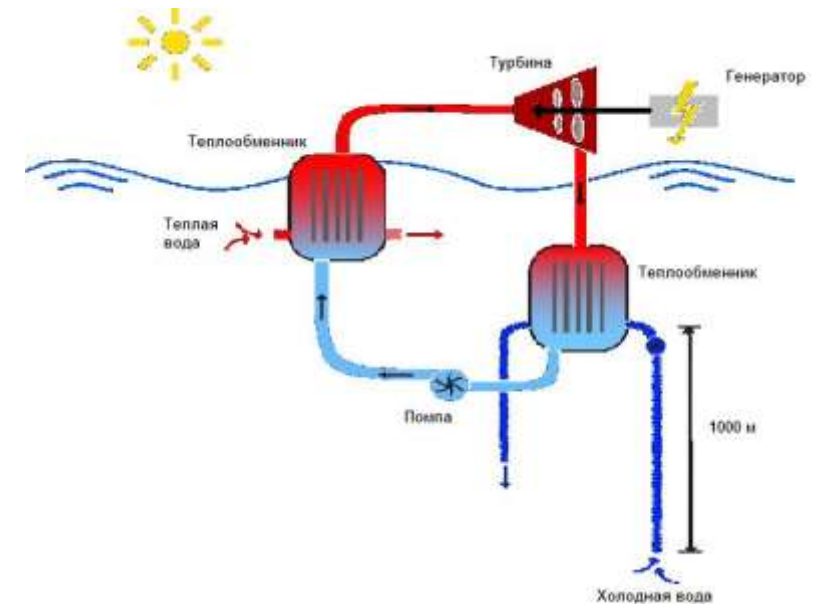
Простейшие системы использования тепловой энергии океана уже нашли реальное воплощение.

В районе Нью-Йорка построена электростанция мощностью 7180 киловатт, что использует тепло океанской воды. Отработанный пар, не сбрасывается в море, а конденсируется с образованием пресной воды. Таким образом, кроме электроэнергии станция еще производит 22680 тонн пресной воды в сутки.

В апреле 2015 состоялся пуск новой тепловой станции, построенной компанией Makai Ocean Engeneering на Гавайских островах. Планируется выход на 105 кВт мощности, что хватит для освещения 120 домов. В будущем планируется выйти на мощности порядка 10 МВт для одной станции, что обеспечит электроэнергией 120 000 домов. По расчетам, 12 таких станций полностью обеспечат Гавайи электроэнергией.



Остров Реюньон был объявлен президентом Франции национальной лабораторией для создания океанической тепловой электростанции. В перспективе, к 2030 г. построенные здесь ОТЭС должны полностью обеспечить потребности в электроэнергии всего острова.



Сегодня освоение тепловой энергии океана входит в национальные программы США, Франции, Японии, Швеции, Индии.