

# \*Геотермальная энергия

# \* Подземные термальные воды (гидротермы)

**Вода** – подвижный и теплоемкий энергоноситель в земной коре, насыщающий породы осадочных и гранитных оболочек. Она играет важную роль в тепловом балансе.

По всему земному шару, на определенной глубине, зависящей от геотермических особенностей, залегают пласты, содержащие термальные воды – **гидротермы**, и создающие гидротермальную оболочку. В районах вулканизма она местами выходит на поверхность – горячие источники, гейзеры, парогазовые струи.

**Температура** подземных вод колеблется в широких пределах. В зависимости от температуры на устье скважины геотермальные воды классифицируются на: а) *слаботермальные* ( $37^\circ < t < 40^\circ$ ), б) *термальные* ( $40^\circ < t < 60^\circ$ ), в) *высокотермальные* ( $60^\circ < t < 100^\circ$ ), г) *перегретые* ( $t > 100^\circ$ ).

Кроме того, геотермальные воды классифицируются по химическому и газовому составу: по *минерализации* (пресные, соленые), по *жесткости*, по *кислотности* (кислые, нейтральные, щелочные), по *газовому составу* (сероводородные, углекислые, метановые, азотные и т.д.), по *газонасыщенности*.

Встречаются экзотические виды: сверхкрепкие рассолы (минерализация  $> 600\text{г/л}$ ), с растворенными агрессивными газами (атомарный водород) и т.д.

Могут быть использованы все виды вод: перегретые – электроэнергетика, пресные термальные – теплообеспечение, солоноватые – медицина, рассолы – промышленное сырье.

## \* Происхождение термальных вод

Образуются чаще – за счет постепенного отбора тепла у пород:

**Инфильтрационные** – проникающие через поры с поверхности Земли в глубину.

Водостоки постепенно нагреваются, в равнинных районах становятся термальными на глубине ~1 км. При быстром подъеме наверх по крупным дефектам коры не успевают остыть – горячие ключи. Можно получать искусственно бурением скважин: с глубины до 4 км – вода до 100°.

Образуются реже – из тепловых очагов:

**Ювенильные** – конденсируется из паровых струй, вырвавшихся из расплава магмы.

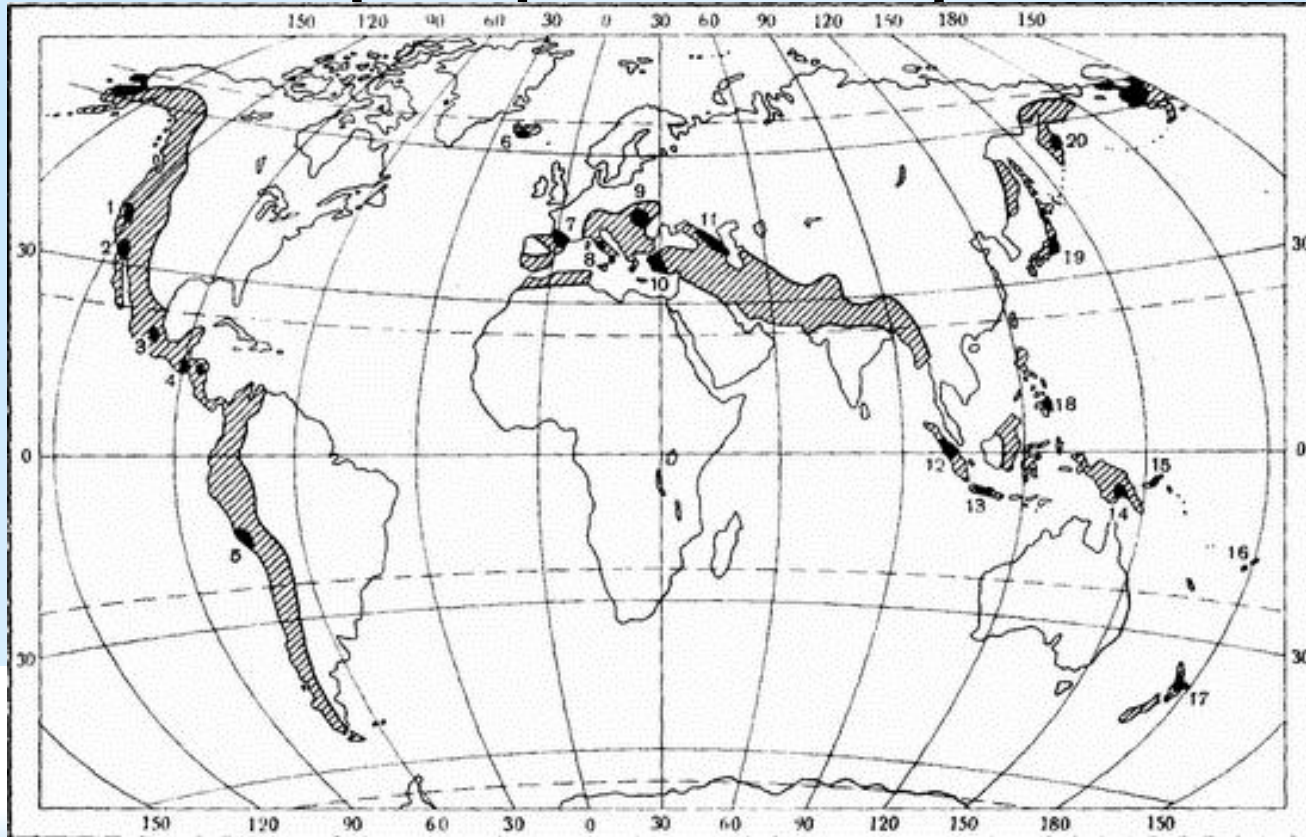
**Вулканические** – инфильтрованная вода, перегретая расплавом магмы – гейзеры, грязевые грифоны и котлы, паровые струи и т.д.

## Типы месторождений термальных вод

**Конвекционное происхождение** – в районах современной или недавней вулканической деятельности и в рифтовых зонах (тектоническая активность, повышенный температурный градиент – 45-70°/км). На поверхность выходят горячие воды и пароводяная смесь. Нынешние ГеоТЭС работают в таких районах.

**Кондуктивный прогрев** – воды сосредоточены в платформенных и предгорных впадинах – геотермический градиент нормальный (33°/км). Бурением обнаружены сотни бассейнов в несколько млн.км<sup>2</sup>. Перспектива: с глубин до 15 км – до 350°.

# \* Распространение термальных вод



Максимально «теплые» земные недра в России – Курило-Камчатская вулканическая зона.

Температура пород и содержащихся в них вод зависит от глубины залегания и от близости к центрам геотермической активности (вулканы, разломы и т.д.)

# \* Использование геотермальной энергии

## Прямое использование геотермальной энергии

Геотермальные станции в вулканических районах базируются на месторождениях пароводяной смеси, добываемых из природных коллекторов с глубины 0.5-3 км. Средняя обеспечиваемая мощность скважины ~ 4 МВт.

**ГеоТЭС с непосредственным использованием природного пара:** подается прямо в турбину и далее уходит на сброс. Стоимость минимальна, т.к. состоит только из турбины и генератора, может использоваться как передвижная. *Пример:* Италия, станция мощностью *16 МВт* (4 генератора по *4 МВт*), снабжается паром от 8 скважин.

**ГеоТЭС с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара:** конденсат отработанного пара направляется для охлаждения в градирню и далее используется для охлаждения нового отработанного пара. *Пример:* Лардерелло-3 (Италия): 4 генератора по *26 МВт*; 2 - по *9 МВт* (покрытие собственных нагрузок).

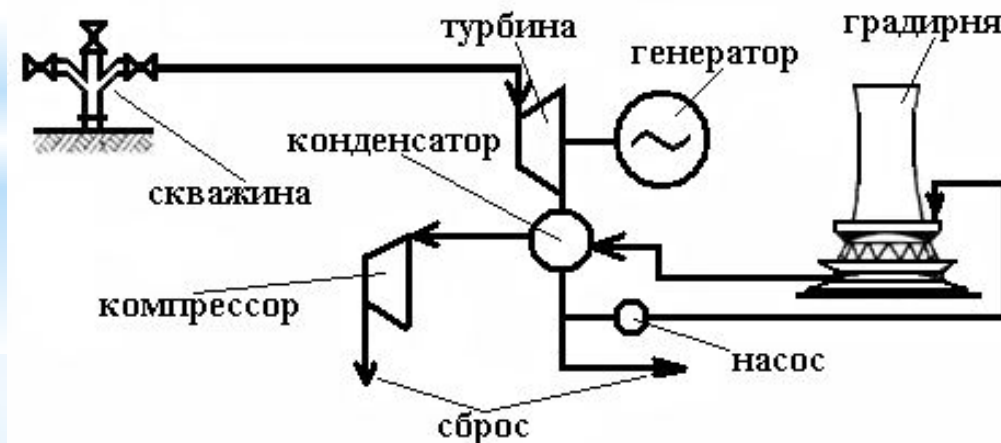
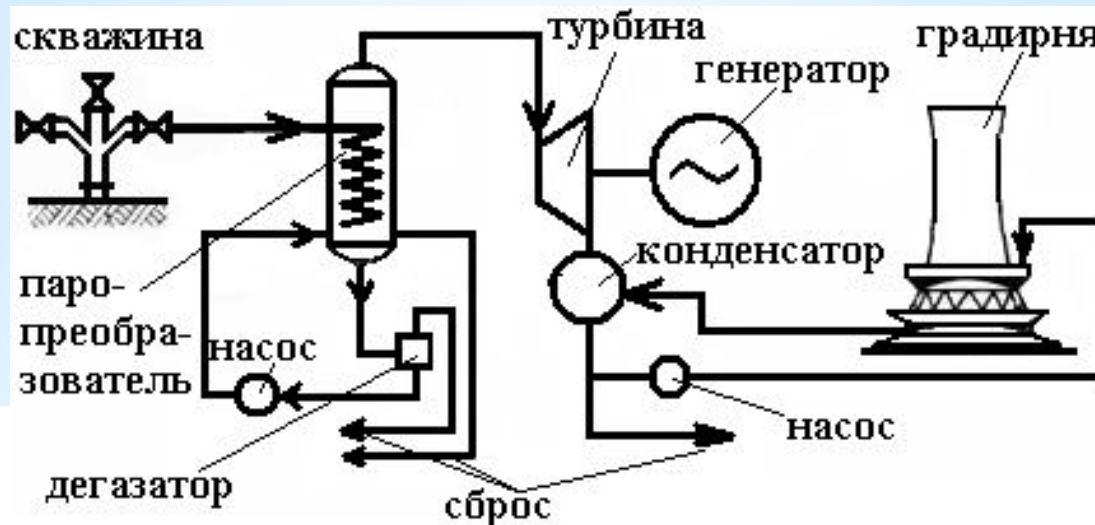


Схема ГеоТЭС с прямым использованием природного пара

# ГеоТЭС с бинарным циклом

Такие станции выгодны там, где природный пар имеет высокую температуру и большое содержание газов. Природный пар в паропреобразователе отдает тепло чистому вторичному теплоносителю, идущему на турбину. Природный пар идет на дегазатор.



*Схема ГеоТЭС с паропреобразователем*

Строительство незначительно дороже ГеоТЭС с конденсационной турбиной и прямым использованием пара. Пример: Ландарелло-2 (Италия), 7 турбин по 11 МВт.

По похожему принципу строятся ГеоТЭС на отсепарированном паре, если в паре большое содержание воды. Примеры: Паужетское месторождение (Россия), Хверагерди (Исландия).

Преимущество схемы в том, что чистый пар облегчает работу турбин.

# \* Состояние геотермальной энергетики в России

1. [Верхне-Мутновская ГеоТЭС](#) (Камчатка) – 3 скважины, 3 турбины по 4 МВт обслуживающей Петропавловск-Камчатский промышленный район. План: аммиачный модуль на 6 МВт, работающий на тепле сбросного пара ( $150^{\circ}$ ) => себестоимость энергии снизится на 20-30%.
2. [Океанская ГеоТЭС](#) (о. Итуруп) – остров обладает значительными запасами разведанных геотермальных вод. На 2009 г.- 2.5 МВт. План – 30 МВт, .
3. [Паужетская ГеоТЭС](#) (Камчатка) – используется отсепарированный пар, 14.5 МВт (2004 г.). Остаток (80% воды  $120^{\circ}$ ) сбрасывается => потери теплового потенциала, ухудшение экологии. Реконструкция 2010 г.: сбросная вода – в двухконтурную установку на низкокипящем рабочем теле (изобутан), добавочная мощность – 2.5 МВт, выходная температура -  $55^{\circ}$ .
4. [Мутновская ГеоТЭС](#) (Камчатка) – комбинированного типа. Отработанный пар направляется в конденсатор, одновременно являющийся парогенератором для второго контура с турбинами на низкокипящем незамерзающем рабочем теле. Облегчается эксплуатация в суровых зимних условиях. 50 МВт на 2007 г.

Также планируются к постройке [Нижне-Кошелевская ГеоТЭС](#) (Камчатка) и [Ставропольская ГеоТЭС](#) (Предкавказье). 7

## \* Экономическое обоснование для ГеоТЭС

Электро- станции	Затраты, млн \$// Экономия топлива, млн \$.		
	1998-2000	2001-2005	2006-2010
Мутновская	0//0	160//25	0//40
Верхне-Мутновская	25//2.8	0//3.0	0//6.0
Паужетская (реконструкция)	10//4.5	0//10	0//10
Океанская	0//0	25//2.0	30//15

Перспективный район использования ГеоТЭС в России – Камчатка и Курилы – отличаются суровым климатом, что с одной стороны увеличивает затраты на строительство и эксплуатацию ТЭС, с другой – доставка дизельного топлива для ДЭС также дорога.

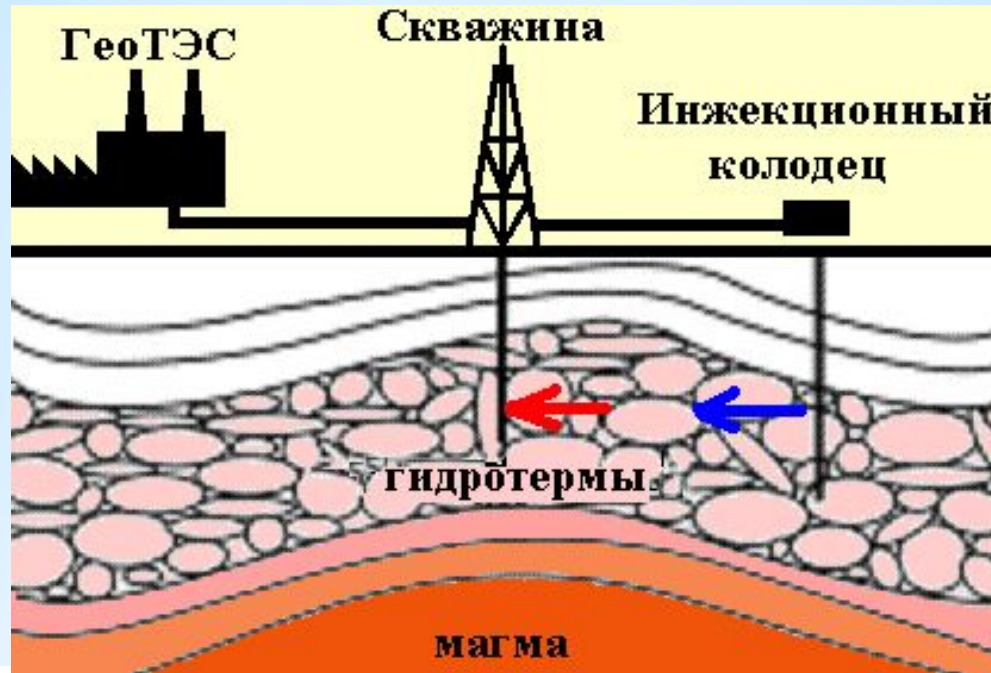
**Минусы:** нетранспортабельность, рассредоточенность источников, территориальная ограниченность зон применимости.

**Плюсы:**

- Расчетная стоимость энергии на оптимизированной ГеоТЭС – в 2.5 раза ниже, чем на ДЭС
- Значительное улучшение экологической обстановки



## \* Перспективы использования гидротерм



Новое направление – циркуляционные геотермальные системы с закачкой холодной воды в термоводоносный проницаемый горизонт с дальнейшим извлечением разогретой. Может применяться на малой глубине (~100-200 м).

Основное приложение – использование относительно низкотемпературных вод для отопления. Затраты на сооружение в 2 раза больше, чем на котельную, на эксплуатацию – на 60% меньше, топливо не требуется => окупается за 4-8 лет.

Лидер такого использования – США (3.8 ГВт). В России предполагается начать использование в Дагестане и Чечне.