

Нефтегазовая гидрогеология

Лекция 8. Основы гидрогеотермии. Полезные воды и техногенез в недрах

Щербакова Наталья Сергеевна,

Доцент кафедры динамической геологии и гидрогеологии

1

e-mail: natalya.sher.2020@gmail.com

План занятий по курсу

№

Тема лекции

Контроль

1 Введение в дисциплину (история возникновения науки, ученые; приведение примера по практической значимости науки).
Условия нахождения и виды вод в горных породах, условия залегания вод в земной коре

К.т. 1

2 Основы гидрохимии

~~3 Элементы гидрогеомеханики. Формирование водных растворов в литосфере~~

4 Формирование водных растворов в литосфере – продолжение

5 Органическое вещество и микроэлементы в водах НГ бассейнов

6 Гидрогеологические условия миграции, аккумуляции, консервации и деструкции нефти и газа

К.т. 2

7 Резервуары подземных вод

8 **Основы гидрогеотермии. Полезные воды и техногенез в недрах**

9 Гидрогеологические изыскания и исследования

10 Палеогидрогеология

11 Нефтегазопромысловая гидрогеология

12 Нефтегазопромысловая гидрогеология

~~Гидрогеологические исследования при разработке нефтяных и газовых~~

К.т. 3

~~13 месторождений на примере ЗСМБ. Проблемы ППД и сохранения промышленных~~

- Основы гидрогеотермии
- Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов:
 - 1) Конденсационные воды
 - 2) Воды, насыщенные углеводородными газами
 - 3) Промышленные воды
 - 4) Минеральные воды и рассолы лечебного значения
 - 5) Пресные воды, пригодные для бытового, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения
 - 6) Термальные воды
- Гидрогеологические аспекты техногенеза

Основы гидрогеотермии

Гидрогеотермия — раздел гидрогеологии, посвященный изучению закономерностей теплопереноса и теплообмена в водоносных толщах литосферы

Гидрогеотермические исследования позволяют оценить роль природных вод в формировании и распределении теплового поля, то есть участие вод в термическом режиме Земли

Знание температур водных растворов литосферы позволяет использовать воды

- в энергетических и лечебных целях
- при оценке перспектив нефтегазоносности недр
- при поисках, разведке и разработке залежей УВ

Основы гидрогеотермии

- Источники тепловой энергии, определяющие тепловой режим подземных вод:
 - **Внешние** (космические) – солнечная радиация
 - **Внутренние** (планетарные) – радиогенная энергия, выделяющаяся в результате распада радиоактивных элементов (урана, тория и др.)
- В литосфере теплоперенос осуществляется главным образом за счет теплопроводности и конвекции
- Среди осадочных пород **наибольшей теплопроводностью** обладают **каменная соль, ангидрит, наименьшей – глины**. Песчаники, алевролиты, известняки и доломиты характеризуются средней теплопроводностью
- **Минимальной теплопроводностью** обладает **глинистый цемент, максимальной – кварцевый**
- Существенное влияние на величину теплопроводности оказывает влагонасыщенность: у сухих пород она ниже, чем у водонасыщенных. Понижается теплопроводность и в нефтенасыщенных породах

Основы гидрогеотермии

- Под **конвекцией** понимается передача теплоты в горных породах движущимся потоком подземных вод
- При увеличении скорости фильтрационного потока, тепловое воздействие вод пропорционально возрастает
- Основными геотермическими параметрами при изучении теплового режима литосферных вод являются геотермический градиент и геотермическая ступень

Основы гидрогеотермии

Геотермический градиент — прирост температуры на единицу глубины:

$$\Gamma = (t_2 - t_1) / (h_2 - h_1)$$

t_1, t_2 – температуры пород, определенные на глубинах соответственно h_1 и h_2

Обычно геотермический градиент относят к интервалу глубин 100 м, в этом случае он выражается в °С/100 м

Основы гидрогеотермии

Геотермическая ступень – расстояние по вертикали, на протяжении которого температура изменяется на 1 °С:

$$G = (h_2 - h_1) / (t_2 - t_1)$$

Геотермический градиент, отнесенный к интервалу 100 м, и геотермическая ступень связаны соотношением:

$$\Gamma_{100} = 100 / G$$

Основы гидрогеотермии

В вертикальном разрезе земной коры имеет место **геотермическая зональность**

Большинство исследователей выделяют **две зоны**:

Гелиотермозона: включает верхнюю оболочку земной коры, в пределах которой гидрогеотермический режим формируется под воздействием солнечной радиации

Геотермозона: включает нижние слои земной коры и верхнюю мантию; гидрогеотермический режим в пределах геотермозоны зависит от эндогенных источников тепла

Температура подземных вод нефтегазоносных бассейнов изменяется в широких пределах: от отрицательных значений в области развития криолитозоны до нескольких сот градусов в наиболее погруженных частях осадочных бассейнов и прогибов.

Основы гидрогеотермии

Величины геотермических градиентов в нефтегазоносных регионах

- Величины геотермического градиента в осадочном чехле разновозрастных структур изменяются в широком диапазоне.
- Наибольшие величины геотермического градиента фиксируются в Восточном Предкавказье в Терско-Каспийском прогибе — до 5 °С /100 м.

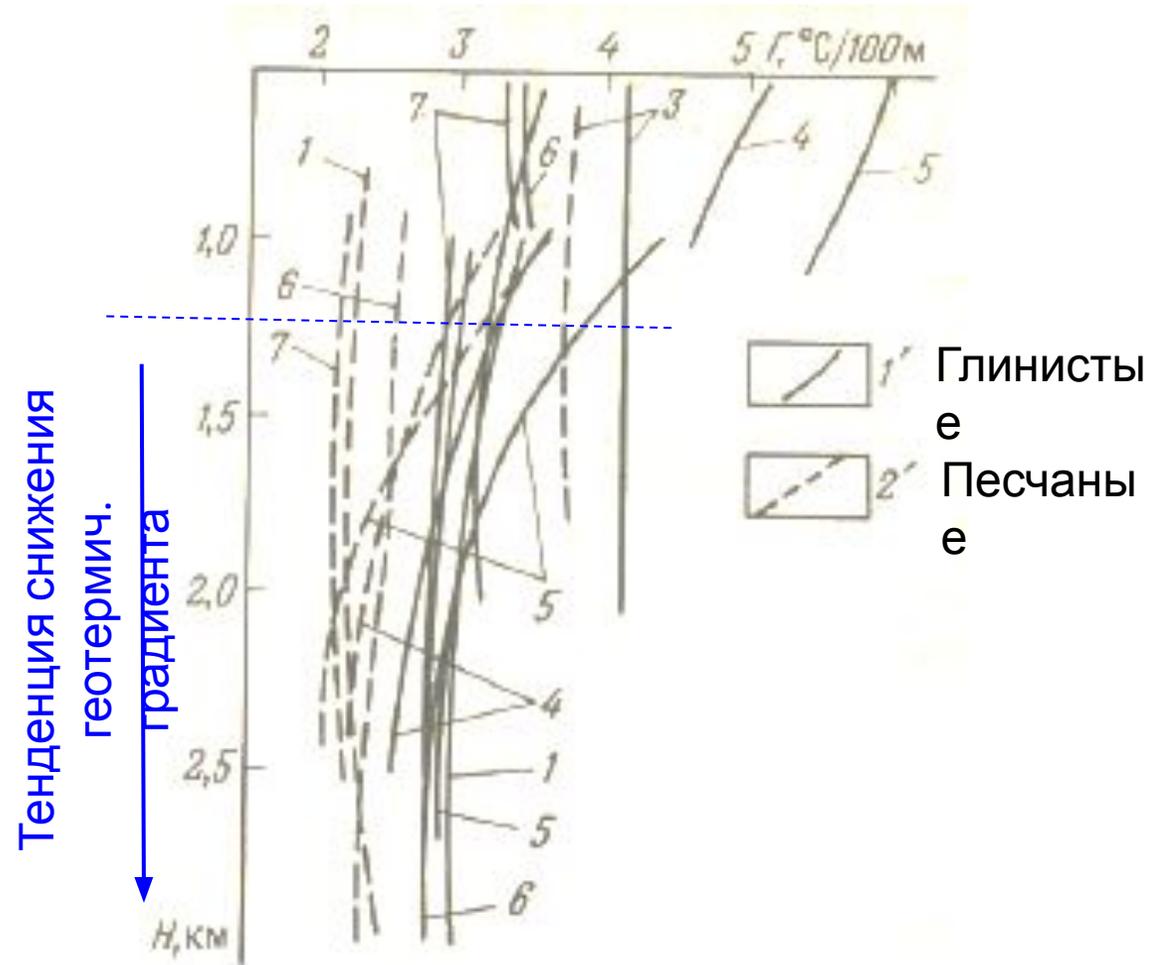
| Регион, структура | Интервал глубин, км | G , °С/100 м | Исследователи |
|---|---------------------|--------------------------------------|---|
| Печорская синеклиза | 0,5 – 2,5 | 1,3 – 4,1 2,7 | Г.Н. Богданов, Д.И. Дьяконов и др. |
| Волго-Уральская нефтегазоносная провинция | 0,5 – 2,5 | 0,7 – 2,9 1,8 | Д.И. Дьяконов, Б.Г. Поляк, В.А. Покровский и др. |
| Днепровско-Донецкая впадина | 0,5 – 3,5 | 1,4 – 3,5 2,7 | М.Ф. Беляков, А.Е. Бабинцев, Е.А. Любимова и др. |
| Припятский прогиб | 0,5 – 3 | 1 – 2,4 1,4 | М.Ф. Беляков, Г.В. Богомолов и др. |
| Прикаспийская мега-синеклиза | 0,5 – 3 | 0,5 – 3,7 2 | В.С. Жеваго и др. |
| Центральное Предкавказье | ≲ 3,5 | 3 – 4,4 3,7 | В.Н. Корценштейн, Ф.А. Макаренко, М.В. Мирошников, А.И. Хребтов |
| Восточное Предкавказье (Терско-Каспийский прогиб) | ≲ 2,5 | 3 – 5 (в anomaly-малых 8 ÷ ÷ 9) 4 | Г.М. Сухарев, В.Н. Николаев |
| Бухаро-Хивинский район | ≲ 2 | 2 – 4 3 | В.Н. Корценштейн |
| Южно-Мангышлакская впадина | ≲ 2,5 | 3 – 4,5 3,75 | В.Н. Корценштейн, В.С. Жеваго |
| Сурхан-Дарьинская впадина | ≲ 2,0 | 2 – 4 3 | Б.А. Бедер, В.Н. Крат и др. |
| Куринская впадина | ≲ 2,5 | 3 – 4 3,5 | Д.В. Голубятников, М.А. Абрамович, С.А. Алиев и др. |
| Рионская впадина | ≲ 3,0 | 2,2 – 3 2,6 | Д.И. Дьяконов, И.М. Бувацидзе и др. |
| Западно-Сибирская мегасинеклиза | ≲ 3,5 | 2,7 – 4 3,4 | Б.Ф. Маврицкий |

Основы гидрогеотермии

- Величины геотермических градиентов зависят от многих факторов, прежде всего от термических свойств горных пород (теплопроводности), а также от их состава, водонасыщенности и т.п.
- Геотермические градиенты песчаных и глинистых пород различны
- Ниже уровня 1,2 км отмечается тенденция снижения геотермического градиента
- Температура на заданной глубине в однородных по теплофизическим свойствам породах определяется по формуле

$$t_H = t_1 + \Gamma_{\text{ср}} (H - H_0)$$

- t_1 – фактическая температура на глубине замера H_0
- H – заданная глубина экстраполяции
- $\Gamma_{\text{ср}}$ – среднее значение геотермического градиента



Основы гидрогеотермии

- В перераспределении теплоты **в нефтегазоводоносных комплексах** пластовые воды играют существенную роль
- При движении вод от областей питания через прогибы в направлении платформ в водоносных комплексах происходит **перераспределение тепловой энергии**
- Наличие **тектонических нарушений** (преимущественно проводящих) способствует проникновению в вышележающие водоносные толщи вод с повышенной температурой и образованию **гидрогеотермических аномалий**

Основы гидрогеотермии

Количество теплоты, приносимое водным потоком, оценивается исходя из **уравнения теплового баланса**:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3$$

Q – избыток тепловой энергии, приносимый подземным потоком

Q_1, Q_2 – количество теплоты, соответственно приобретенное в зоне максимального прогрева и заключенное в потоке после прохождения им изучаемого участка

Q_3 – потеря тепловой энергии потоком за счет радиации при движении от зоны максимального прогрева до изучаемого участка

$$Q_3 = (\lambda(t_2 - t_1) / l) S \tau$$

$(t_2 - t_1)$ – перепад температур от нагретого слоя до поверхности

λ – коэффициент теплопроводности перекрывающей толщи

l – мощность перекрывающей толщи

S – площадь, для которой рассчитывается потеря теплоты

τ – время

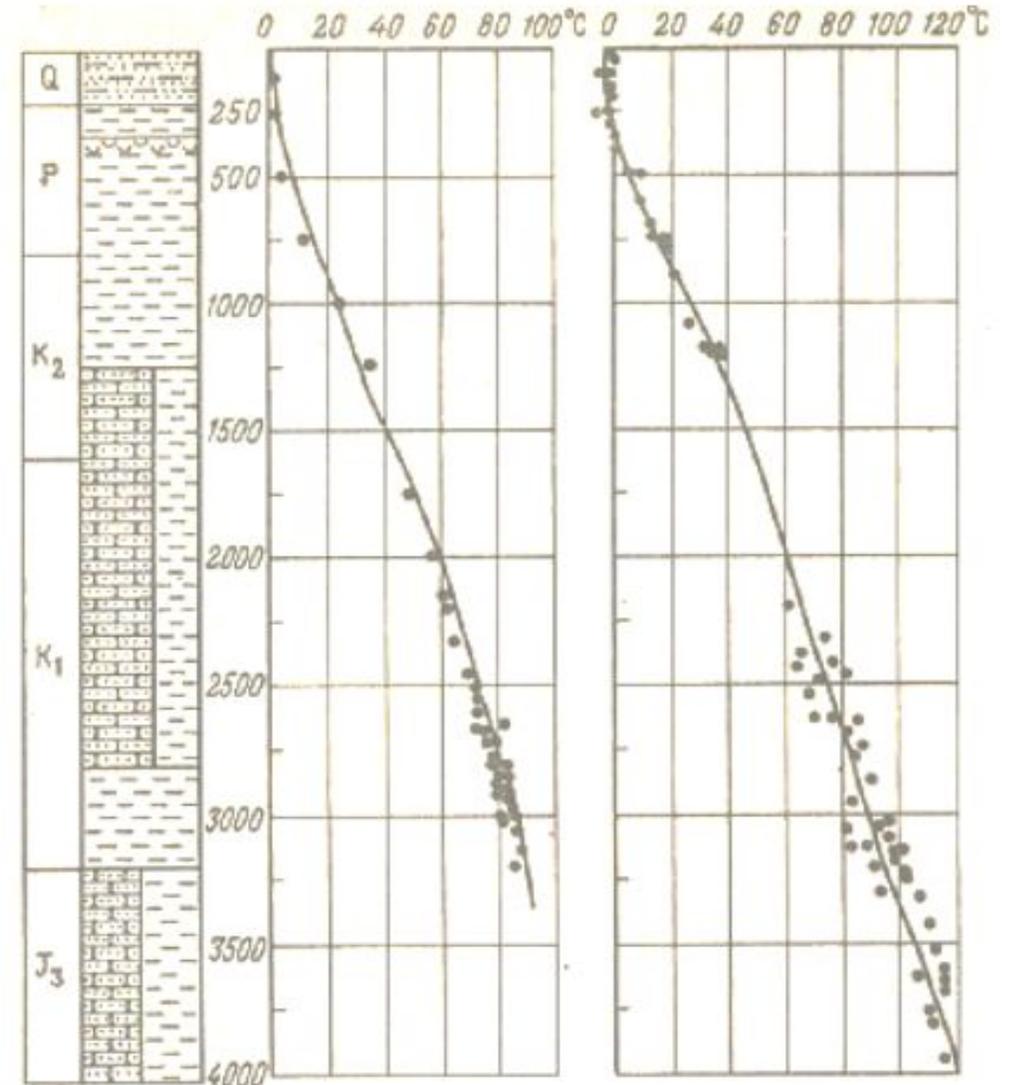
Основы гидрогеотермии

- Исходным материалом для гидрогеотермических исследований служат замеры температуры в скважинах, проводимые электрическими и ртутными термометрами
- На основе обработки полученных данных строятся гидрогеотермические разрезы, отражающие закономерности распределения температур на нефтяных и газовых месторождениях

Распределение температур в продуктивных частях разреза

Уренгойское м-е

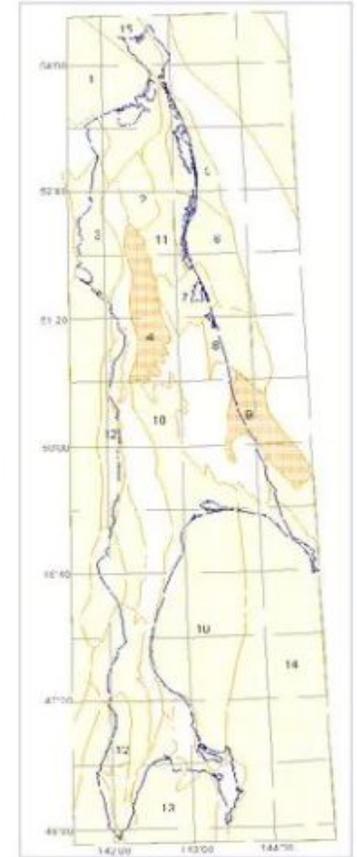
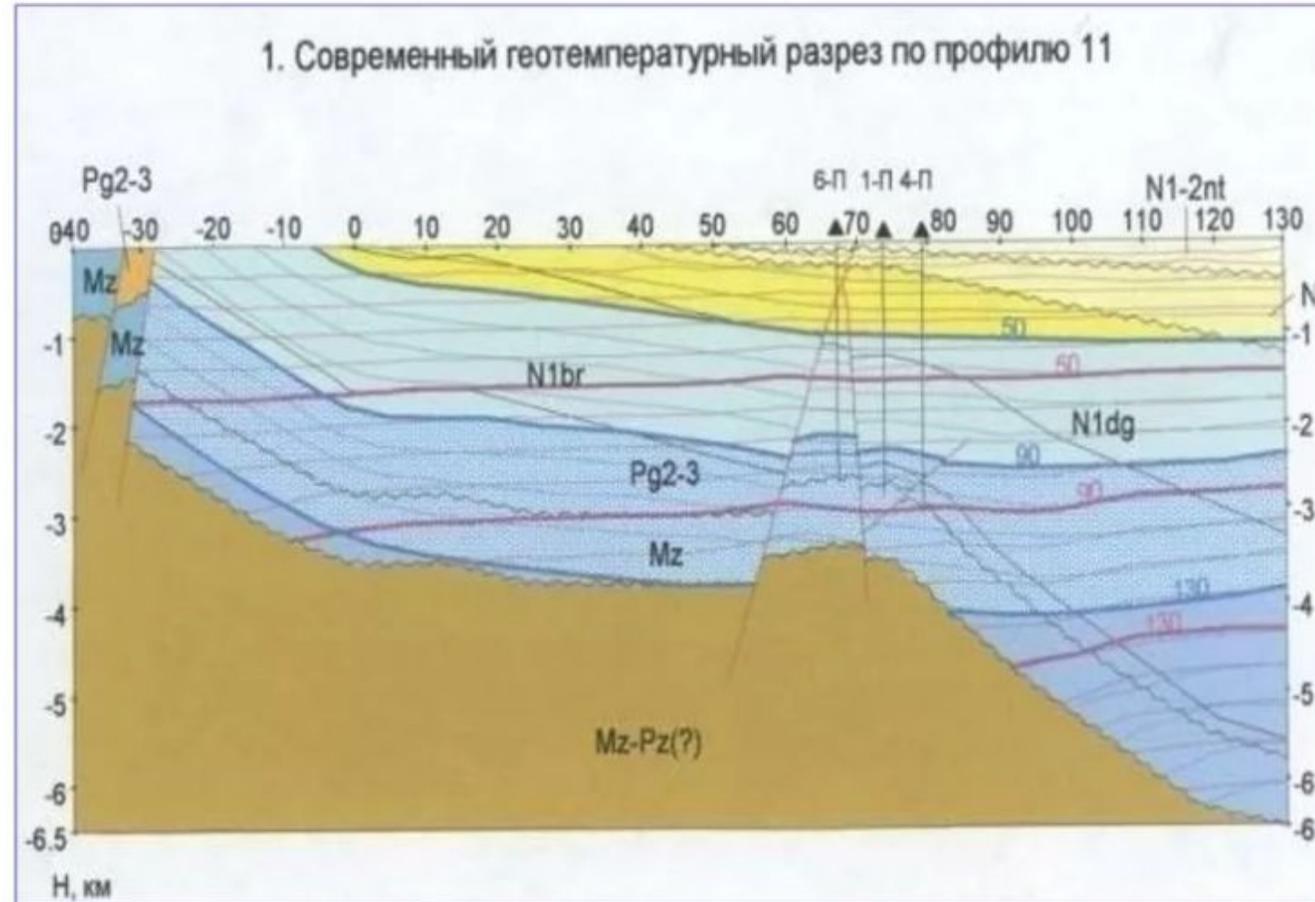
Медвежье м-е



Основы гидрогеотермии

Естественное тепловое поля. Профили геоизотерм.

Составляются карты геоизотерм, карты-срезы, на которых показаны изменения температур на определенных гипсометрических отметках, карты геотермических параметров, гидрогеотермические и профильные разрезы:



Основы гидрогеотермии

- Получаемые гидрогеотермические данные широко используются при решении вопросов **нефтегазовой геологии**
- Сведения о геотермическом режиме недр позволяют судить о процессах **нефтегазообразования** и **нефтегазонакопления** в осадочной толще земной коры, поскольку температурные условия оказывают решающее влияние на степень преобразования ОВ, на фазовое состояние УВ и их миграционные свойства
- Температура существенно влияет на свойства флюидов — воды, нефти, газа
- Учет этих свойств, характерных для пластовых и поверхностных условий, необходим при подсчете запасов нефти и газа и при разработке нефтяных и газовых месторождений
- В последнее время геотермические исследования проводятся при геологическом картировании и выявлении нефтегазоносных структур не только на континенте, но и в пределах шельфовых зон
- В комплексе с электроразведочными, радиометрическими и геохимическими исследованиями геотермический метод позволяет существенно повысить эффективность геологоразведочных работ на нефть и газ

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

В недрах нефтегазоносных бассейнов (НГБ) содержатся огромные запасы гидроминерального сырья, которые могут использоваться в хозяйственной деятельности:

- 1) Конденсационные воды
- 2) Воды, насыщенные углеводородными газами
- 3) Промышленные воды
- 4) Минеральные воды и рассолы лечебного значения
- 5) Пресные воды, пригодные для бытового, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения
- 6) Термальные воды

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

• Пластовые конденсационные воды

Конденсационные воды

Конденсационные – получаемые попутно из недр с углеводородными газами (из 1 м^3 газа выделяется 28-53 г воды)

Солюционные – выделившиеся из нефти (из 1 м^3 нефти выделяется до $0,01\text{ м}^3$ воды)

- Конденсационные и солюционные воды имеют низкую минерализацию – 1 г/л и менее,
- Относительно обогащены гидрокарбонат-ионом, диоксидом углерода, летучими ОВ и микроэлементами (ртуть, сурьма, сера),
- Из растворенных солей в них преобладают хлориды и бикарбонаты натрия
- Минерализация и состав конденсационных водных растворов определяется:
 - **Термобарическими** условиями растворения подземных вод в углеводородах и
 - Условиями **последующей сегрегации** газовых и жидких растворов

• Техногенные конденсационные воды

Конденсирующиеся из парогазовой смеси **при эксплуатации скважин** – так же имеют большое значение (как и природные)

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Объем растворенных газов в пластовых водах нефтегазоносных бассейнов

Воды, насыщенные углеводородными газами

- В пластовых водах ППБ содержится огромное количество растворенных углеводородных газов
- Содержание растворенных газов в водах отдельных бассейнов изменяется в широких пределах и зависит от
 - ✓ мощности и коллекторских свойств водовмещающих толщ
 - ✓ интенсивности генерации и рассеяния УВ
 - ✓ газоемкости пластовых вод

| Регион | Нефтегазоносные бассейны | Объем газов, трлн. м ³ |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|
| Восточно-Европейская платформа | Прибалтийский | 0,01 |
| | Львовский | 17 |
| | Тимано-Печорский | 280 |
| | Прикаспийский | 980 |
| | Волго-Уральский | 140 |
| Сибирская платформа | Ангари-Ленский | 32 |
| | Тунгусский | 167 |
| | Приверхоянско-Виллюйский | 355 |
| Западно-Сибирская геосинеклиза | Западно-Сибирский | 1000 |
| Скифская и Туранская плиты | Азово-Кубанский | 180 |
| | Среднекаспийский | 259 |
| | Южно-Каспийский | 120* |
| Туранская плита | Кызылкумский Каракумский (совместно с Устюртским) | 86 |

* рассчитано только для продуктивной толщи

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Содержание некоторых ценных элементов, мг/кг, в подземных водах

Особенности литосферных водных растворов (рассолов) как источников ряда металлов (в первую очередь в НГБ):

Промышленные подземные воды и рассолы

- большие **запасы** сырья
- **отсутствие затрат на горные работы** (часто используют уже пробуренные для других целей скважины)
- возможность получения продукции с **большими глубинами** и с **большой площадью**;
- возможность попутного получения ряда **солей** (хлориды натрия, калия, магния, кальция и др.)
- **комплексность** полезного ископаемого
- возможность использования водных ресурсов – **отходов действующих производств** (нефтегазодобывающего, йодо-бромного, калийного и др.)

| Элемент | Содержание элементов в литосферных водных растворах | | Наиболее распространенное содержание элементов в хлоридных рассолах НГБ Русской плиты |
|----------|---|--|---|
| | максимальное | минимальное, представляющее промышленный интерес | |
| Литий | 500 | 10 | 5-20 (до 1000) |
| Калий | 40000 | 1000 | 500-3000 |
| Рубидий | 200 | 3 | 1-5 (до 200) |
| Цезий | 20 | 0,5 | 0,1-0,5 (до 20) |
| Стронций | 30000 | 300 | 200-2000 |
| Бром | 10000 | 300 | 150-2000 |
| Йод | 1000 | 10 | 5-20 |

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Практически все воды и рассолы в

нефтегазоносных бассейнах обладают **лечебными свойствами**

Большая часть их ресурсов сосредоточена именно в НГБ, хотя в них представлены далеко не все типы этих вод

Для нефтяных и газовых месторождений характерны следующие **типы** подземных минеральных лечебных вод:

- **Метановые** и **азотно-метановые** минерализованные воды морских отложений (подтипы – нафталанский, охинский, майкопский)
- Воды и рассолы **засоленных осадочных пород** (подтипы – ишим-байский, зевардинский)
- **Сульфидные** воды и рассолы (подтипы – кзылмуштукский, каякентский, краснокамский, балыхтинский)

Характеристика йодистых, йодисто-бромистых и бромистых минеральных вод и рассолов в нефтегазоносных районах

| Подгруппа | Тип | Содержание биоактивных компонентов, мг/л | Минерализация, г/л | Районы |
|-------------------|---------------------------|--|--------------------|--------------------------------|
| Йодистая | Сиазанский | 25-55 | 5-35 | Афруджа |
| Йодисто-бромистая | Нафталанский Тюменский | | | Нафталан Тобольск Сургут |
| | Хадыженский Майкопский | | | Челекен Хыдырлы |
| Бромистая | Устькачкинский | 700-850 | 150 | Краснокамск |

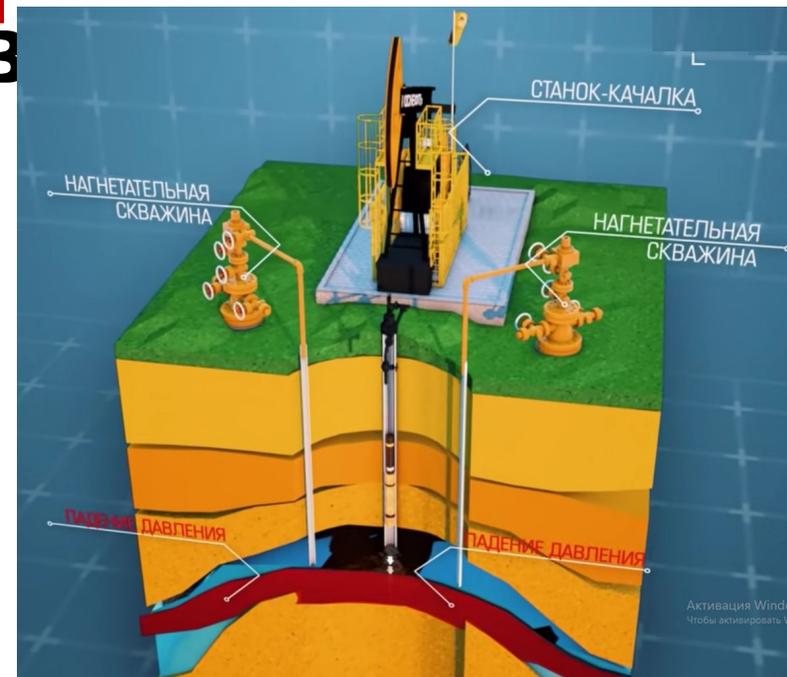
- Существуют также **йодистые**, **бромистые**, **радиевые** и некоторые другие специфические виды минеральных лечебных вод и рассолов, характерных для нефтяных и газовых месторождений

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

- Пресные подземные воды являются **ценнейшим полезным ископаемым**

Пресные подземные воды

- Обычно встречаются в разрезах НГБ выше продуктивных горизонтов
- Доля пресных вод, получаемых из земных недр, в общем водопотреблении в последнее время неуклонно растет, и это при очень большом росте всего водопотребления. Такое положение объясняется, прежде всего, опережающим **загрязнением поверхностных – речных и озерных вод**, а также в связи с использованием пресных подземных вод в **системах поддержания пластового давления на нефтепромыслах (ППД)**
- Более половины городов нашей страны **в качестве основного источника водоснабжения** используют подземную воду. Во многих других странах роль недр в водоснабжении еще больше (в Дании, например, 100%)
- Ввиду исключительной ценности пресных вод важной задачей является использование этих вод при освоении нефтегазоносных бассейнов



Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

К **термальным** обычно относят воды **с температурой выше 20 °С**, которая составляет максимальную среднесуточную температуру воздуха на земном шаре.

В гидрогеологии широко распространена классификация, в которой выделяются три группы вод:

□ **Холодные**. Выделяются следующие подгруппы с температурой, °С:

- <0 – **переохлажденные**
- 0-10 – **очень холодные**
- 10-20 – **холодные**

□ **Низкотермальные**. Выделяются следующие подгруппы с температурой, °С:

- 20-37 – **теплые**
- 37-50 – **горячие**

□ **Высокотермальные**. Выделяются следующие подгруппы с температурой, °С:

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Термальные воды

- Термальные воды имеют **лечебное** и **энергетическое** значение
- Лечебные свойства термальных вод нефтяных и газовых месторождений определяются преимущественно **высокой минерализацией**, содержанием в них различных **химических элементов** и составом **водорастворенных газов** (углекислота, сероводород, азот и т.п.)
- В ряде случаев воды нефтяных и газовых месторождений обогащены **йодом, бромом, железом**, а также **различными микроэлементами**, имеющими **бальнеологическое** значение
- Нередко термальные воды содержат в достаточно высоких концентрациях различные элементы, например, **литий, рубидий, цезий, мышьяк** и в случае их высоких концентраций могут рассматриваться как жидкие руды
- Запасы **геотермальной энергии** в пределах земного шара огромны и

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Для нефтегазовой гидрогеологии наибольший интерес представляют термальные воды гидрогеологических бассейнов, содержащих залежи УВ

С теплоэнергетических позиций термальные воды подразделяются на

- Низкопотенциальные ($t < 70$ °С)
- Среднепотенциальные ($t = 70-100$ °С)
- Высокопотенциальные ($t > 100$ °С)

Генетическая классификация термальных вод нефтегазоносных бассейнов

Термальные воды

| Бассейны | Минимальная температура (определена в скважинах), °С | Максимальная минерализация вод, г/л | Типичные месторождения |
|------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| межгорных впадин | до 100 в палеозое, до 200 в мезозое-кайнозое | 350 | Челекенское |
| краевых прогибов | до 100 в палеозое, до 200 в мезозое-кайнозое | 300 | Махачкалинское, Майкопское |
| платформ | до 75 (реже более 75) в палеозое, до 180 в мезозое-кайнозое | 450 | Омское |

- Для использования термальных вод в качестве источника тепловой энергии важно знание **тепловой и энергетической мощности** их месторождений, т.е. **количества теплоты** или **электроэнергии**, которое можно получить при их эксплуатации
- Наибольшей тепловой и энергетической мощностью характеризуются месторождения термальных вод **в районах современного вулканизма**
- К наиболее перспективным месторождениям пластового типа следует относить такие, **геотермический градиент которых не ниже 3 °С/100 м**. В таких случаях можно получить воду с температурой 100 °С и выше с глубин менее 2,5-3 км

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Оценка потенциальных эксплуатационных запасов термальных вод по России и СНГ применительно к двум методам эксплуатации скважин – фонтанному и насосному:

Термальные воды

Потенциальные запасы термальных вод в нефтегазоносных бассейнах

- На ближайшую перспективу освоение пластовых термальных вод нефтегазоносных бассейнов должно вестись в первую очередь в пределах южных районов Западной Сибири, Предкавказья, Азербайджана, Сахалина

| Бассейны | Водоносные комплексы | Группа вод | | Запасы вод м ³ /сут. при способе эксплуатации | |
|---|--------------------------------|--------------------|----------------------|--|----------|
| | | по температуре, °С | по минерализации, °С | фонтанном | насосном |
| Южно-Каспийский, западная часть (Азербайджан) | от Майкопского до Апшеронского | 70 | <35 | 28 | 434 |
| | | 70 | >35 | – | 18 |
| | | 70-100 | <35 | 15,5 | 133 |
| | | 70-100 | >35 | 41,5 | 319 |
| | | 100 | >35 | 5 | 58 |
| Средне-Каспийский (западная часть) | Миоценовые и Нижнемеловые | 70 | <35 | 29 | 189 |
| | | 70-100 | <35 | 27 | 285 |
| | | 70-100 | >35 | 44 | 425 |
| | | 100 | >35 | 129 | 707 |
| Западно-Сибирский | Альб-сеноманский | 70 | <35 | 129 | 13500 |
| | Неокомский | 70-100 | <35 | 130 | 1867 |
| Сахалинский | Неогеновый | 60-70 | <20 | 9 | 335 |

Гидрогеологические аспекты техногенеза

Под техногенными процессами следует понимать **совокупность** тесно связанных между собой и обуславливающих друг друга гидрогеологических и инженерно-геологических **процессов**, проявляющихся особенно интенсивно при водохозяйственной деятельности человека и **определяющих изменение геологической и окружающей среды в целом**

Наиболее интенсивно техногенные гидрогеологические процессы проявляются:

- при эксплуатации **обводнительных** объектов — на орошаемых землях, в сфере влияния ирригационных и транспортных каналов, равнинных водохранилищ, на нефтяных месторождениях при их заводнении и т. д.
- при эксплуатации **осушительных** объектов — на площади осушения заболоченных территорий, при горных разработках, работе подземных городских сооружений, в сфере влияния водозаборов и т. п.

Гидрогеологические аспекты техногенеза

По условиям формирования теплообмена можно выделить **три типа техногенных процессов** (такое разделение особенно существенно с точки зрения влияния техногенеза на гидрогеологическую обстановку):

- **инжекционные** — привнос вещества в литосферу; вещество представлено в основном водными растворами. Заболачивание и подтопление территорий, прилегающих к ирригационным и гидротехническим сооружениям; опреснение минерализованных литосферных вод; загрязнение литосферных вод; межпластовые перетоки и грифонообразования; землетрясения
- **эжекционные** — изъятие вещества из литосферы; вещество представлено водными растворами, твердым веществом пород, газами, нефтью, однако важно, что при изъятии других веществ практически всегда происходит и извлечение вод. Истощение запасов литосферных вод; просадки и провалы земной поверхности; засоление и опреснение (вод, почв и т. п.), межпластовые перетоки и т. д.
- **сложные техногенные процессы**, совмещающие привнос и изъятие вещества литосферы, в том числе вод; разделение массопереноса по

Гидрогеологические аспекты техногенеза

Большое значение приобретает **прогнозная оценка** возможного развития техногенных процессов и на ее основе – **проектирование профилактических мер**

The image shows an oil field with several pumpjacks (jack-o'-lanterns) silhouetted against a bright, hazy sky at sunset or sunrise. The sun is positioned behind one of the pumpjacks, creating a lens flare effect. The ground is flat and appears to be a mix of dirt and gravel. The overall scene is industrial and atmospheric.

Спасибо за внимание!