



Лекция 9. Основы гидрогеотермии. Полезные воды и техногенез в недрах

Гидрогеологические исследования на месторождениях углеводородного сырья

Тілеуберді Нұрбол,
Ассоц. профессор кафедры ГИИНГГ
e-mail: n.tileuberdi@satbayev.university

- 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 °C /100 м.

Регион, структура	Интервал глубин, км	Γ , °C/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. Буачидзе и др.
Западно-Сибирская мега-синеклиза	≤ 3,5	2,7 – 4 3,4	Б.Ф. Маврицкий

Основы гидрогеотермии

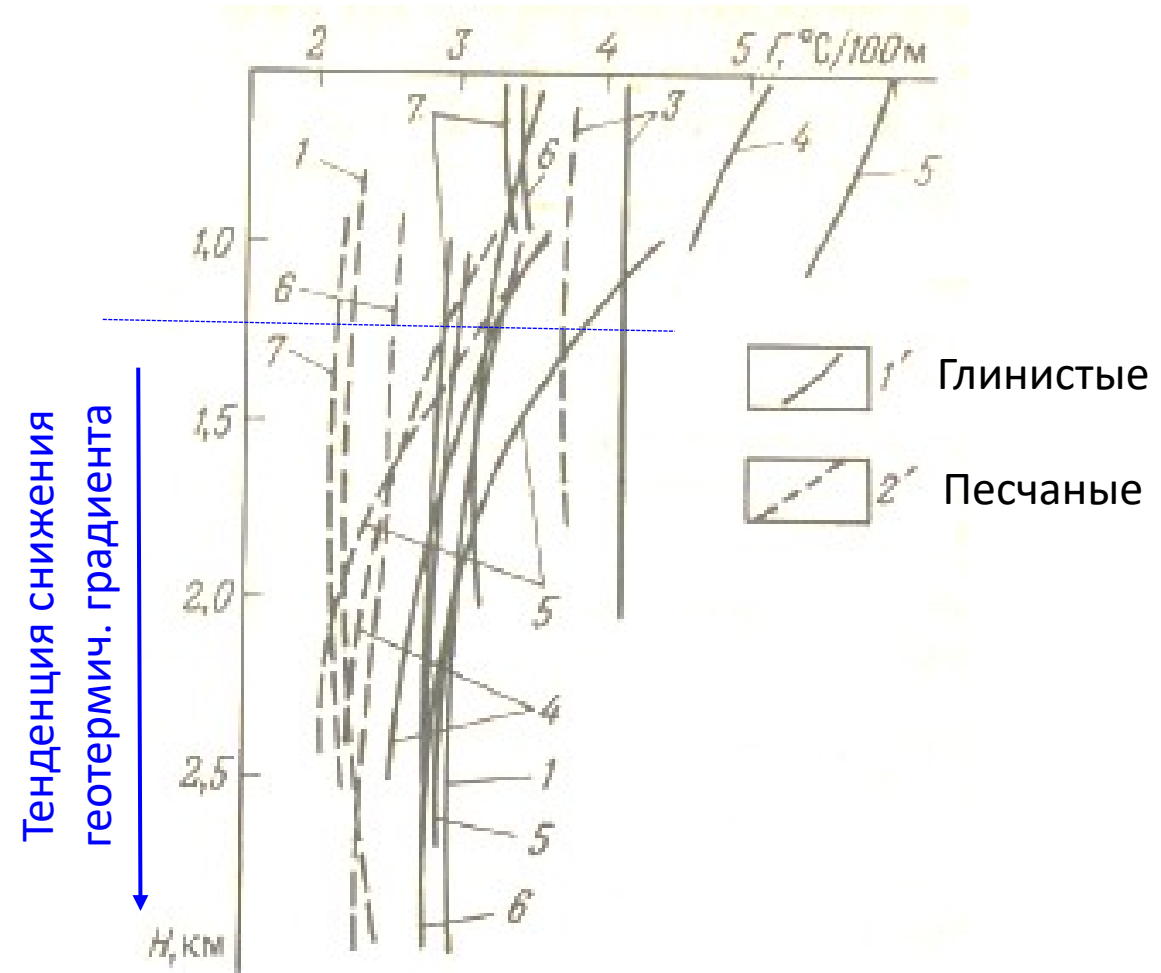
- Величины геотермических градиентов зависят от многих факторов, прежде всего от термических свойств горных пород (теплопроводности), а также от их состава, водонасыщенности и т.п.
- Геотермические градиенты песчаных и глинистых пород различны
- Ниже уровня 1,2 км отмечается тенденция снижения геотермического 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

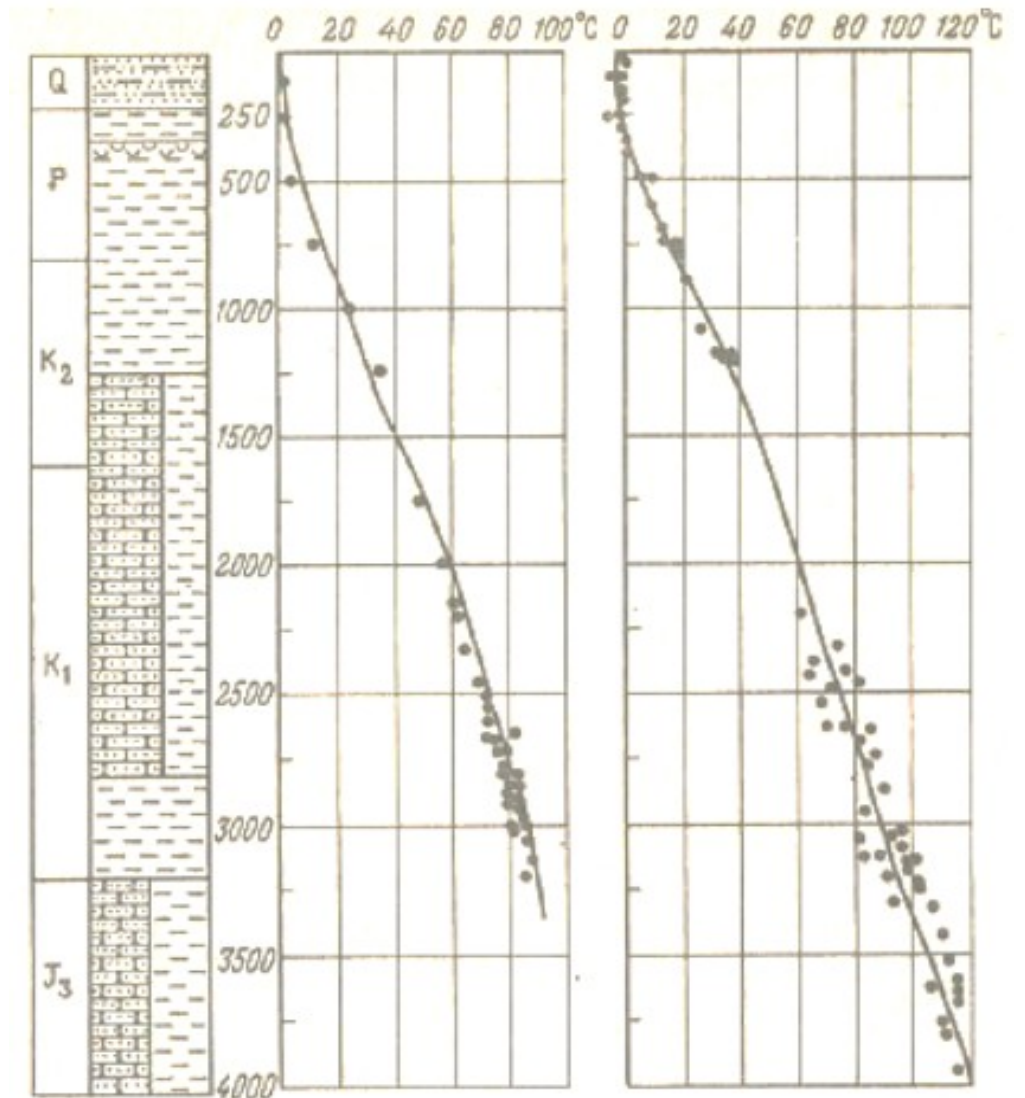
Основы гидрогеотермии

- 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

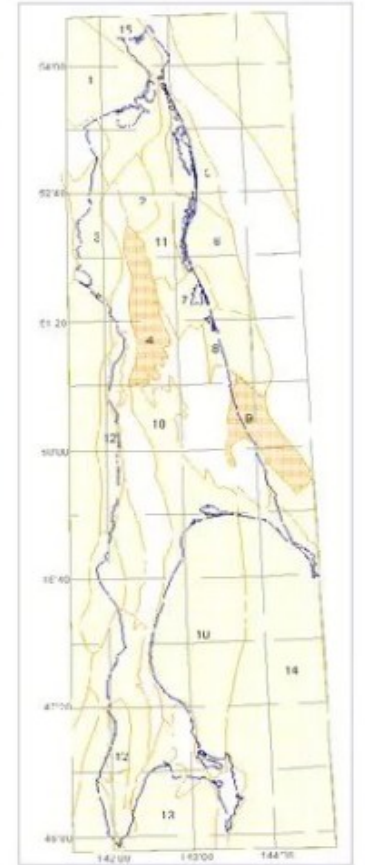
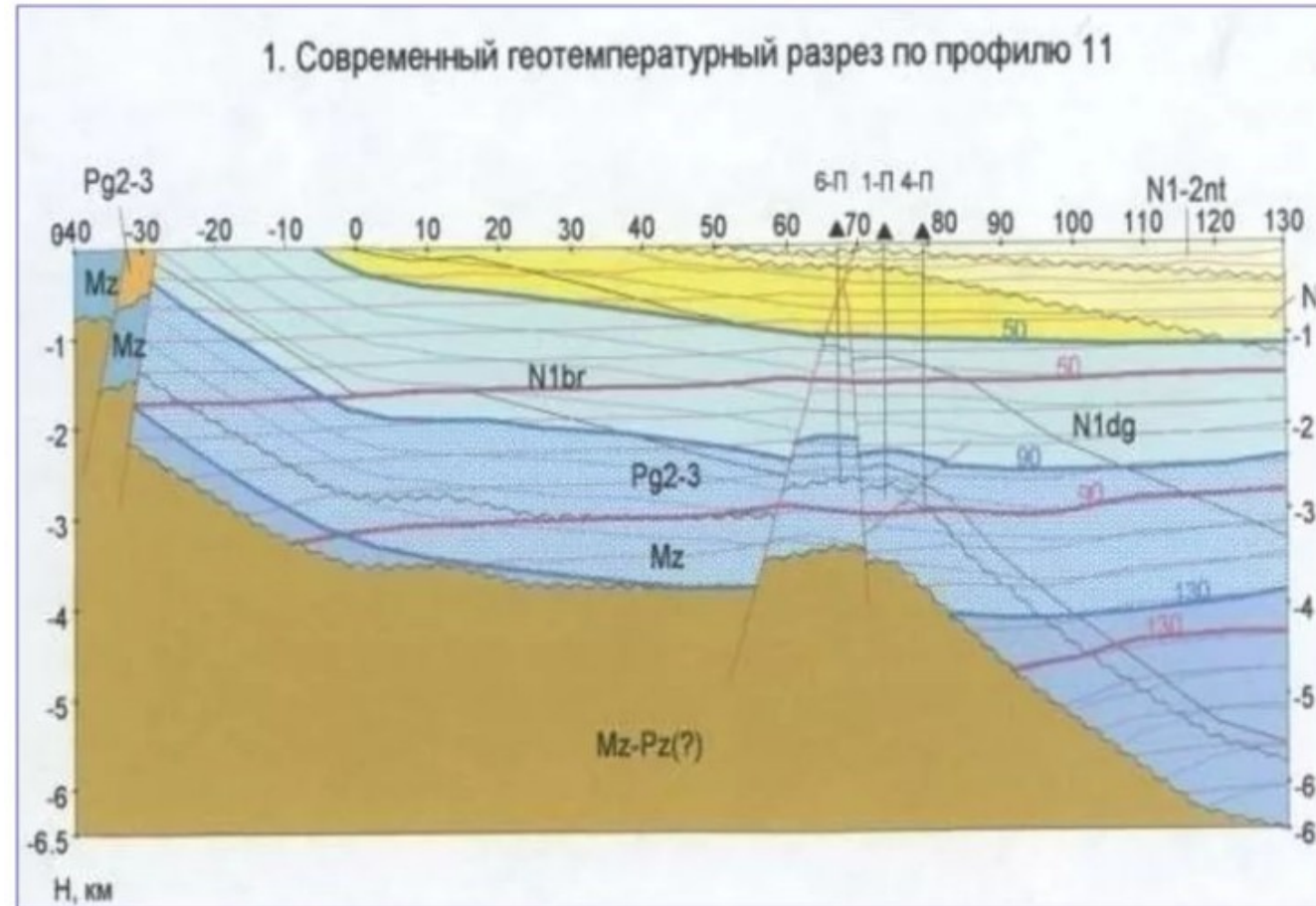
Медвежье м-е



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 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

Конденсационные воды

- **Пластовые конденсационные воды**

Конденсационные – получаемые попутно из недр с углеводородными газами (из 1м³ газа выделяется 28-53 г воды)

Солюционные – выделившиеся из нефти (из 1м³ нефти выделяется до 0,01 м³ 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

Воды, насыщенные углеводородными газами

Объем растворенных газов в пластовых водах
нефтегазоносных бассейнов

- В пластовых водах НГБ 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	Ангара-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	86
	Каракумский	
	(совместно с Устюртским)	

* рассчитано только для продуктивной толщи

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Промышленные подземные воды и рассолы

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

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

- большие **запасы** сырья
- **отсутствие затрат на горные работы** (часто используют уже пробуренные для других целей скважины)
- возможность получения продукции с **больших глубин** и с **большей площади**;
- **комплексность** полезного ископаемого
- возможность попутного получения ряда **солей** (хлориды натрия, калия, магния, кальция и др.)
- возможность использования водных ресурсов – **отходов действующих производств** (нефтегазодобывающего, йодо-бромного, калийного и др.)
- возможность получения электролитически **чистых металлов**, особенно сверхредких

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

Минеральные лечебные подземные воды и рассолы

Практически все воды и рассолы в нефтегазоносных пластах 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 – нафаланский, 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

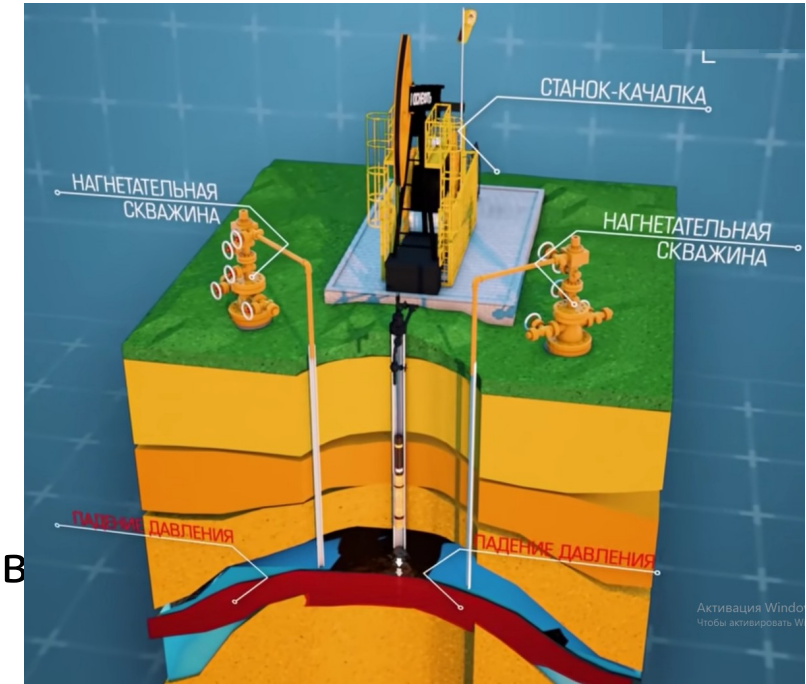
Подгруппа	Тип	Содержание биоактивных компонентов, мг/л	Минерализация, г/л	Районы
Йодистая	Сиазанский	25-55	5-35	Афруджа
Йодисто-бромистая	Нафаланский Тюменский Хадыженский Майкопский			Нафалан Тобольск Сургут Челекен Хыдырлы
Бромистая	Устькачкинский	700-850	150	Краснокамск

- 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

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

Термальные воды

К **термальным** обычно относят воды **с температурой выше 20 °C**, которая составляет максимальную среднегодовую температуру воздуха на земном шаре. В гидрогеологии широко распространена классификация, в которой выделяются три группы вод:

- **Холодные**. Выделяются следующие подгруппы с температурой, °C:
 - <0 – переохлажденные
 - 0-10 – очень холодные
 - 10-20 – холодные
- **Низкотермальные**. Выделяются следующие подгруппы с температурой, °C:
 - 20-37 – теплые
 - 37-50 – горячие
- **Высокотермальные**. Выделяются следующие подгруппы с температурой, °C:
 - 50-100 – очень горячие
 - >100 – перегретые

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Термальные воды

- Термальные воды имеют как **лечебное**, так 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 составляют в океанах и на континентах $2900 \cdot 10^{10}$ Вт

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Термальные воды

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

С теплоэнергетических позиций термальные воды подразделяются на

- Низкопотенциальные ($t < 70\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Среднепотенциальные ($t = 70\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Высокопотенциальные ($t > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Генетическая классификация термальных вод нефтегазоносных бассейнов

Бассейны	Минимальная температура (определена в скважинах), $^{\circ}\text{C}$	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 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$** . В таких случаях можно получить воду с температурой $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше с глубин менее 2,5-3 км

Гидроминеральные ресурсы нефтегазоносных бассейнов

Термальные воды

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

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

Потенциальные запасы термальных вод в нефтегазоносных бассейнах

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 тепломассообмена 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 направлениям происходит в условиях взаимодействия обводнительных и осушительных объектов

Гидрогеологические аспекты техногенеза

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

The background image shows an oil field with several pumpjacks (jackalopes) in silhouette against a bright, hazy sky at sunset or sunrise. The sun is positioned behind one of the pumpjacks, creating a strong lens flare effect. The ground is dark and appears to be a mix of dirt and gravel. The overall tone is warm and industrial.

Спасибо за внимание!