

Министерство образования и науки РФ  
Томский политехнический университет  
Институт природных ресурсов

# Геология и методика поисков и разведки месторождений нефти и газа

Курс лекций  
Раздел 1

2015

## Лекция № 3

1. Состав и физико-химические свойства нефти и газа.
2. Обзор современных взглядов на проблему происхождения нефти и газа.

# Химический состав нефти

Основные химические элементы, из которых состоит нефть - **углерод** и **водород**. Содержание углерода в нефти 83-87%, а водорода 11,5-14,5%. Кроме того, в нефти присутствуют гетероэлементы - кислород (до 4%), азот (до 2%), сера (до 10%), фосфор (до 0,1%) и другие. И многочисленные микроэлементы: ванадий и никель, а также железо, цинк, вольфрам, ртуть, уран и др.

В зависимости от количества атомов углерода в молекуле углеводороды могут принимать одно из трех агрегатных состояний.

Например, если в молекуле от одного до четырех атомов углерода ( $\text{CH}_4$  –  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), то углеводороды представляют собой газ, от 5 до 16 ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$  –  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) - это жидкие УВ, а если больше 16 ( $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$  и т.д.) – твердые.

Нефти сильно различаются по своему составу: в легких обычно больше бензина, нефти и керосина, а в тяжелых - газойля и мазута, и чем выше граница кипения фракции, тем она тяжелее.

Нефть образуется вместе с газообразными углеводородами обычно на глубине более 1,2—2 км; залегает на глубинах от десятков метров до 5—6 км. Однако на глубинах свыше 4,5—5 км преобладают газовые и газоконденсатные залежи с незначительным количеством лёгких фракций. Максимальное число залежей нефти располагается на глубине 1—3 км.

Вблизи земной поверхности нефть преобразуется в густую мазуту, полутвёрдый асфальт и другие продукты (битуминозные пески и битумы).

# Физические свойства нефтей

Измерение физических параметров нефтей позволяет определить их товарные качества. Некоторые параметры (плотность, вязкость и др.) используются при расчете и проектировании разработки местоскоплений, нефтепроводов, транспортирования нефти и т. д.

В геологии из физических параметров наибольшее значение имеют плотность, вязкость, оптическая активность, люминесценция. Без знания физических свойств нефти нельзя правильно представить процессы миграции нефти и образования нефтяных месторождений.

# Физико-химические характеристики нефти

- Цвет
- Плотность ( $\rho$ )
- Вязкость ( $\mu_n$ )
- Поверхностное натяжение нефти ( $\sigma$ )
- Температура застывания
- Растворимость нефти
- Оптическая активность нефти
- Показатель преломления
- Люминесценция нефти
- Диэлектрические свойства
- Теплота сгорания

# Плотность ( $\rho$ )

- $\rho \leq 0,80$  - очень легкие (с весьма низкой плотностью) нефти;
- $0,80 < \rho < 0,84$  - легкие (с низкой плотностью) нефти;
- $0,84 < \rho < 0,88$  - со средней плотностью нефти;
- $0,88 < \rho < 0,92$  - тяжелые (с высокой плотностью) нефти;
- $\rho > 0,92$  г/см<sup>3</sup> - очень тяжелые (с весьма высокой плотностью) нефти

Плотность нефти определяется ее массой в единице объема. Единица плотности в СИ – кг/м<sup>3</sup>. На практике пользуются относительной плотностью, которая представляет собой отношение плотности нефти при температуре 20°C к плотности воды при 4°C. Величины плотности у нефти весьма различны, они колеблются в пределах 0,77 - 2,0. В большинстве случаев они укладываются в более узкие пределы 0,83-0,96.

**Вязкость** – свойство жидкости (газа) оказывать сопротивление перемещению ее частиц при движении.

**Вязкость пластовой нефти  $\mu_n$**  - определяет степень подвижности нефти в пластовых условиях.

По **вязкости** нефти делятся на

- незначительно вязкие -  $\mu_n < 1$  мПа · с;
- маловязкие -  $1 < \mu_n \leq 5$  мПа · с;
- повышенной вязкости -  $5 < \mu_n \leq 25$  мПа · с;
- высоковязкие -  $\mu_n > 25$  мПа · с.

Нефть — легко воспламеняющаяся жидкость; **температура вспышки** от  $-35$  до  $+121$  °С (зависит от фракционного состава и содержания в ней растворённых газов).

Нефть растворима в органических растворителях, в обычных условиях не растворима в воде, но может образовывать с ней стойкие эмульсии.

# Температура застывания нефти

За температуру застывания нефти принимают температуру, при которой охлажденная в пробирке нефть не изменит уровня при наклоне на  $45^\circ$ .

Температура застывания  
от  $-60$  до  $+30$   $^\circ\text{C}$

Температура застывания и плавления различных нефтей неодинаковая. Обычно нефти в природе встречаются в жидком состоянии, однако некоторые из них загустевают при незначительном охлаждении. Температура застывания нефти зависит от ее состава. Чем больше в ней твердых парафинов, тем выше температура ее застывания.

Смолистые вещества оказывают противоположное влияние — с повышением их содержания температура застывания понижается.

# Классификации нефти

Существуют различные классификации нефтей: химическая, геохимическая, товарная и технологическая.

**Химическая классификация** предусматривает выделение классов нефтей по преобладанию в них той или иной группы углеводородов

**Геохимическая классификация** учитывает не только химический состав нефтей, но и геологический возраст отложений, из которых получена нефть, глубину залегания этих отложений и другие признаки

**Товарная и технологическая классификации**, близкие между собой, строятся по таким показателям, как содержание фракций, выкипающих при температуре до 350 °С, а также парафина, масел и др.

# Классификация нефтей по углеводородному составу

**Метановые** (более 50% метановых УВ)  
(месторождения на Мангышлаке);

**Метаново-нафтеновые** (аренов не более 10%)  
(месторождения Волго-Уральской НГП и Западно-Сибирской НГП);

**Нафтеновые** (цикланов 60% и более, до 10% смол)  
(Балаханской и Сураханское месторождения Баку);

**Нафтеново-метаново-ароматические**

**Нафтено-ароматические** (смолисто-асфальтеновых 15-20%);

**Ароматические** (тяжелые нефти)

(Бугусланская нефть Урало-Поволжья)

В основу классификации, отражающей химический состав, положено преимущественно содержание в нефти какого-либо одного или нескольких классов углеводородов.

# Классификация нефтей по физико-химическим характеристикам (по А.Э. Конторовичу)

## Содержание серы ( S )

- **малосернистые нефти**  $0 \leq S \leq 0,5\%$   
(Месторождения Салымское - 0,02%; Русское - 0,23% (ЗСП))
- **нефти средней сернистости**  $0,5 < S \leq 1\%$   
(Месторождения Ваньеганское – 0,99% (ЗСП))
- **сернистые нефти**  $1 < S \leq 3\%$   
(Месторождения Ачимовское – 1,83%; Равенское – 1,86% (ЗСП))
- **высокосернистые нефти**  $S > 3\%$   
(Месторождения Этцель, Германия - 9,6%; Розел-Пойнт, США - 14%)

Природа  
наделила нефть  
таким  
свойством, как  
переменное  
количество серы  
- в зависимости  
от типа нефти.  
Сера  
представлена не  
в виде  
элементарной  
серы, а как ее  
органические  
соединения.

# Классификация нефтей

## по физико-химическим характеристикам

(по А.Э. Конторовичу)

### Содержание твердых углеводородов (парафинов - $\Pi$ )

- **малопарафинистые** нефти  $0 \leq \Pi \leq 5\%$   
(*Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция (J и K)*)
- **парафинистые** нефти  $5 < \Pi \leq 10\%$   
(*Терско-Каспийская НГО (K) до 6,6%*)
- **высокопарафинистые** нефти  $\Pi > 10\%$   
(*Южно-Мангышлакская НГО (J) до 20,2%, Восточно-Предкарпатская НГО (J) до 24,3%*)

# Классификация нефтей

по физико-химическим характеристикам

(по А.Э. Конторовичу)

## Содержание асфальтово-смолистых веществ (AS)

- малосмолистые нефти  $0 \leq AS \leq 10\%$
- смолистые нефти  $10 < AS \leq 20\%$
- высокосмолистые нефти  $20 < AS \leq 33\%$

Смолы и асфальтены относятся к высокомолекулярным углеводородным компонентам нефти, они играют исключительно важную роль, определяя во многом ее физические свойства и химическую активность. Смолы - вязкие, мазеподобные вещества асфальтены - твердые вещества, нерастворимые в низкомолекулярных углеводородах

***Товарная и технологическая классификации***, близкие между собой, строятся по таким показателям, как содержание фракций, выкипающих при температуре до 350 °С, а также парафина, масел и др.

Содержание серы	Содержание фракций, перегон. до 350 °С	Содержание масел	Индекс вязкости (качество масел)	Содержание парафина
I малосернистые ≤ 0,5 %	$T_1 - \geq 45 \%$	$M -$ не менее 25 % в расчете на нефть	$I_1 -$ индекс вязкости выше 85	$P_1 -$ малопарафиновые (≤1,5 %)
II сернистые 0,51 – 2 %	$T_2 - 30-44,9 \%$	$M_2 - 15-25 \%$ в расчете на нефть и не менее 45 - на мазут	$I_2 -$ индекс вязкости 40–85	$P_2 -$ парафиновые (1,51-6 %)
III высокосернистые > 2 %	$T_3 - < 30 \%$	$M_3 - 15-25 \%$ - на нефть и 30–45 % в расчете на мазут		$P_3 -$ высокопарафиновые (>6 %)
		$M_4 -$ менее 15 % в расчете на нефть	Используя эту классификацию, для любой промышленной нефти можно составить шифр (например, $IT_2M_3I_1P_3$ ).	

# Природный (нефтяной) газ

Углеводородные газы, генерируемые в осадочной оболочке земной коры, могут находиться в различных состояниях: свободном, растворенном и твердом.

В свободном состоянии они образуют газовые скопления промышленного значения.

Углеводородные газы хорошо растворимы в подземных водах и нефтях. При определенных условиях они вступают в соединение с водой или переходят в твердое состояние (газогидраты).

**Природный газ**, состоящий из метана и других легких насыщенных углеводородов, — весьма дешевое и удобное топливо.

Природный газ называется «сухим», если почти не содержит бензина (менее 1 л на 25 м<sup>3</sup> газа). «Жирный» газ может содержать бензина в 10 раз больше.

Смесь жидких углеродов может быть получена как путем сжатия и охлаждения газа, так и путем его абсорбции нефтью. Полученные жидкости называются сжиженным нефтяным газом (газоконденсатом).

# Химический состав природного (горючего) газа

Главные составные части природного газа – углеводороды - метан ( $\text{CH}_4$ ), этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ).

## Неуглеводородные компоненты

- Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ )
- Азот (N)
- Сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ )

## Инертные газы

- Гелий (He)
- Аргон (Ar)

# Состав природных газов (по Б.А.Соколову)

Коэффициент «сухости» ( $\text{CH}_4/\text{C}_{2+}$ )

**Сухой газ** – газовых месторождений

Метана > 85%

Этана < 10%

Пропан, бутан – до 0,2%

Конденсата <  $10\text{см}^3/\text{м}^3$

Углекислый газ, азот и сероводород

**Тощий газ**

Преимущественно метановый  
Конденсата  $\approx 10 - 30\text{ см}^3/\text{м}^3$

**Жирный газ** – попутный газ  
нефтяных месторождений

Этан + пропан + бутан до 50%

Конденсата  $\approx 30 - 90\text{ см}^3/\text{м}^3$

В составе газов, растворенных в подземных водах, основное место занимают метан, азот и углекислый газ. Концентрация метана в растворенном газе может достигать 80–95 % и составлять тысячи кубических сантиметров на литр. Эта форма концентрации углеводородов может иметь промышленное значение.

Данные по химическому составу газа используются не только при проектировании комплексной разработки газового местоскопления. Изучение химического состава газов, в том числе растворенных в подземных водах, проводится также с целью решения некоторых геологических задач, связанных с прогнозированием нефтегазоносности.

## Физические свойства газа

Химический состав природного газа определяет его физические свойства. Основными параметрами, характеризующими физические свойства газов, являются плотность, вязкость, критическое давление и температура, диффузия, растворимость и др.

### Плотность газов

Воздуха – 1,293 кг/м<sup>3</sup>

Метана – 0,554

Этана – 1,05

Пропана – 1,55

Диоксид углерода – 1,53

Сероводород – 1,18

## Вязкость

- газа не превышает  $1 \cdot 10^{-5} \text{Па} \cdot \text{с}$ .
- воды  $1 \cdot \text{мПа} \cdot \text{с}$ .
- нефти в пределах  $(0,1-10) \text{мПа} \cdot \text{с}$

## Температура

- *Критическая температура* газа – температура выше которой он не переходит в жидкое состояние
- Метан – -  $82^\circ \text{C}$

## Критическое давление

- *Давление насыщения* – давление при котором нефть полностью насыщена газом.  
(Если давление в залежи падает - газ выделяется в свободную фазу)

# Растворимость

*Коэффициент растворимости* газов в воде зависит от ее температуры и минерализации.

- С ростом минерализации растворимость снижается.
- На растворимость газа в нефти влияют температура, давление, состав газа и нефти
- Растворимость УВ газов в нефти ~ в 10 раз больше, чем в воде.
- Жирный газ лучше растворяется в нефти, чем сухой.
- Легкая нефть растворяет больше газа, чем тяжелая.

**Газоконденсат** - природная смесь легкокипящих нефтяных углеводородов, находящихся в недрах в газообразном состоянии, а при охлаждении и снижении давления до атмосферного (в условиях дневной поверхности) распадающаяся на жидкую (конденсат) и газовую составляющие.

- Плотность - **0,620 - 0,825 г/см<sup>3</sup>**
- Углеводороды - более **90%**
- Смолы - не более **5%**
- Асфальтены – десятые, сотые доли %
- Основные компоненты выкипают до **150 - 200°C**

**Сырой конденсат** представляет собой жидкость, которая выпадает из газа непосредственно в промышленных сепараторах при давлении и температуре сепарации

**Стабильный конденсат** состоит только из жидких УВ

### **Параметры залежей газоконденсата**

- Min температуры и давления **25° и 7,5 МПа**
- Max температуры и давления **195° и 62 МПа**
- **Газоконденсатный фактор ( $K_{\phi_3}$ )** - количество газа, из которого добывается  $1\text{ м}^3$  конденсата.

**Газогидраты** - представляют собой твердые кристаллические вещества (клатраты), в которых молекулы газа при определенных давлении и температуре заполняют структурные пустоты кристаллической решетки, образованной молекулами воды с помощью водородной связи.

### **Типы гидратов:**

- мономинеральная порода, чистый массивный гидрат, плотность 1,1 г/см<sup>3</sup>;
- главный породообразующий компонент (минерал), заполняет поры и играет роль цемента;
- акцессорный, выполняют гнезда, пустоты, трещины в породах и осадках разного состава.

# **Генетическая классификация природных газов (по существу газообразующих процессов)**

- 1. Катагенетические**
- 2. Метаморфические**
- 3. Вулканические**
- 4. Биохимические**
- 5. Радиоактивный**
- 6. Воздушного происхождения**
- 7. Газы ядерных реакций,**
- 8. Газы радиохимического происхождения**
- 9. Газы подкоровых глубин**

Природный газ широко распространен в мире, главным образом как попутный нефтяной газ. Ведущими странами-производителями газа являются США, Россия и Канада, но большие перспективы открытия потенциально значительных месторождений дают поисково-разведочные работы в море, особенно у побережья Африки, Азии, Южной Америки, в Северном и Каспийском морях.

Главное использование природного газа – в качестве топлива в промышленности и быту. В промышленности он применяется при выплавке металлов и стекла, производстве извести и цемента, приготовлении хлеба и другой пищи и во многих других случаях. Он используется также в производстве бензина, сажи и некоторых важных химических продуктов, таких, как метиловый спирт, формальдегид, синтетический аммиак.