

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы  
аспирантуры  
с.н.с. О.М. Прищепа

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ, РАЗВЕДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	1. Естественные науки
Группа научных специальностей:	1.6. Науки о Земле и окружающей среде
Научная специальность:	1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений
Направленность (профиль):	Геология месторождений нефти и газа
Отрасли науки:	Естественные
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	3 года
Составитель:	д.г.-м.н., профессор О.М. Прищепа

Санкт-Петербург

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Цели дисциплины:**

- получение современных научных представлений о составе, физико-химических свойствах и химических превращениях нефти и природного горючего газа, условиях залегания, системах контроля и геометрии залежей, геологии и коллекторских свойствах вмещающих залежи толщ, методах оценки запасов и ресурсов нефти и газа и определения подсчетных параметров.

### **Основными задачами изучения дисциплины являются:**

- изучение химических и физико-химических свойств нефтей и природных газов;
- анализ углеводородов и неуглеводородных компонентов нефти;
- приобретение знаний о геологических и геохимических условиях образования скоплений нефти;
- изучение свойств вмещающих залежи толщ и коллекторских свойств и свойств флюидоупоров:
- изучение типов и видов ловушек и скоплений и системах контроля залежей УВС;
- изучение вопросов геометризации залежей разного типа;
- освоение методов оценки запасов и ресурсов;
- изучение современных методов скважинных исследований флюидов;
- знакомство с аналитическими лабораторными исследованиями коллекторов и флюидов.

### **Практическая работа № 1. (4 часа)**

#### **ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДОВ. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФТЕЙ**

##### **Химический, элементный и фракционный состав нефти**

Основная цель практической работы – закрепить знания по физико-химическим свойствам нефти и их влиянию на технологии изучения и добычи.

В химическом отношении нефть – сложная смесь УВ в гетероатомных (преимущественно серо -, кислород- и азотсодержащих) органических соединений.

В физическом отношении нефть – коллоидно-дисперсная сложноорганизованная система.

Физико-химические свойства нефти зависят от химического состава и структуры компонентов.

Важнейшие физико-химические характеристики: плотность, вязкость, сжимаемость, поверхностное натяжение, температура кипения, температура застывания, теплота сгорания, растворимость и растворяющая способность, содержание попутных компонентов

Нефти различаются по элементному, изотопному, фракционному и групповому углеводородному составу.

##### **Химический состав нефти**

Для геохимической характеристики нефти используют показатели, которые отражают главные свойства системы нефти и позволяют сопоставлять особенности различных сортов нефти. Такими показателями являются:

- элементный состав – содержание в нефти элементов, образующих молекулы углеводородов и гетеросоединений;
- фракционный состав – выход фракций, отбираемых по температурам кипения в процессе нагревания нефти;
- компонентный состав – содержание в нефти компонентов, выделяемых по агрегатному состоянию и растворимости в органических растворителях;

- углеводородный состав – содержание индивидуальных углеводородов в нефти, а также углеводородных групп в отдельных ее фракциях, еще не изученных на молекулярном уровне.

#### Элементный состав

Все нефти состоят из пяти биогенных элементов: углерода (С), водорода (Н), серы (S), азота (N) и кислорода (O).

Содержание каждого элемента в различных нефтях изменяется незначительно: С от 83 до 87%, Н – от 11 до 14%, S,N,O – в сумме от 1 до 3%, в сернистых нефтях содержание серы повышается иногда до 5-8%.

Данные элементного анализа показывают, что углеводороды составляют главную массу нефти, а неуглеводородные соединения играют подчиненную роль (за исключением высокосернистых нефтей).

#### Фракционный состав

**Температурное фракционирование (перегонка)** – простейший способ разделения смеси на составные части.

Температура кипения углеводородов одного гомологического ряда закономерно повышается с ростом молекулярной массы. При нагревании нефти фракции, выкипающие при разных температурах, могут быть легко отделены одна от другой.

Выход фракций и температура начала кипения нефти ( $T_{нк}$ ) характеризуют ее фракционный состав

Перегонку от начала кипения до 300-350°C ведут при атмосферном давлении. В этом интервале выкипают светлые фракции, остальная часть нефти – остаток выше 300°C – представляют собой мазут. Во избежание термического разложения (крекинга) мазут фракционируют в условиях вакуума при пониженной температуре. При этом получают технологические масла, температурные пределы которых, приведенные к атмосферным условиям, отвечают интервалу 300-550°C. Вакуумную разгонку ведут до прекращения кипения остатка, которое наступает около 475-550°C (иногда выше). Неперегоняемый остаток называется гудроном (табл. 1).

Таблица 1

Фракционный состав нефти		
Температурные интервалы, °C	Группы фракций	
$T_{нк} - 200$ 200-300 (315)	Бензины Керосины	Светлые фракции
300-550 Неперегоняемый остаток	Масла Гудрон	Мазут

#### Групповой углеводородный состав нефти

Под групповым составом нефти понимают количественное соотношение в ней отдельных групп углеводородов и соединений.

Углеводороды нефти представлены тремя основными группами: метановые - парафиновые (алканы), нефтеновые (цикланы или циклоалканы) и ароматические (арены).

Кроме того, выделяются кислородные, сернистые и азотистые соединения, называемые гетероэлементами. Эти соединения входят в состав смолисто-асфальтеновой части нефти.

- УВ метанового (парафинового) ряда с общей формулой  $C_nH_{2n+2}$  (предельные УВ). В эту группу входят алканы и парафины.
- УВ нефтенового ряда с формулой  $C_nH_{2n}$  (непредельные УВ), называемые цикланами, циклопарафинами.
- Ароматические УВ (или бензольные) УВ циклического строения с формулой  $C_nH_{2n-6}$ , называемые аренами

**Алканы.** Парафиновые углеводороды (алканы или метановые углеводороды, гомологи метана, насыщенные углеводороды метанового ряда) составляют основную

часть углеводородов нефти. Они имеют общую химическую формулу  $C_nH_{2n+2}$ , где С - углерод, Н - водород, n - количество атомов углерода, например n = 1  $CH_4$  (метан), n = 2  $C_2H_6$  (этан), n = 3  $C_3H_8$  (пропан), n = 4  $C_4H_{10}$  (бутан) и т.д. (Рис. 1).

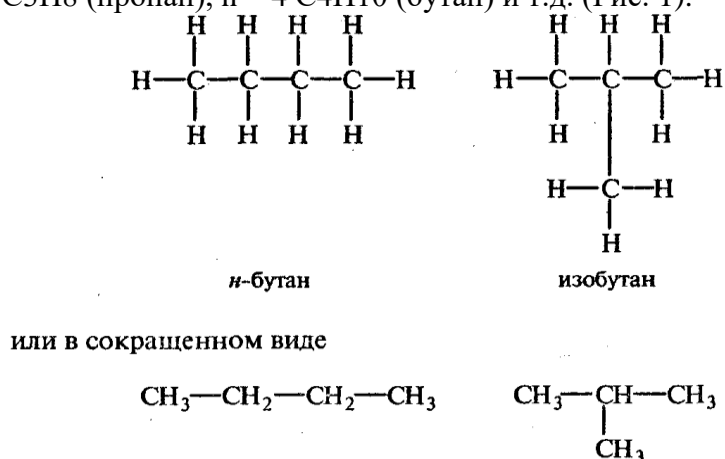


Рис. 1. Схема строения алканов

Углеродный скелет алканов представляет собой линейные или разветвленные цепи углеродных атомов, соединенных простыми связями. Алканы с линейной цепью называются нормальными (н-алканы), с разветвленной – изо-алканы (и-алканы).

**Метановые углеводороды** при стандартных условиях находятся в разных фазовых состояниях:  $C_1$ –  $C_4$ – газы,  $C_5$ –  $C_{15}$ – жидкости,  $C_{16}$ и выше – твердые вещества.

В нефти присутствуют газообразные алканы от  $C_1$  до  $C_4$  в виде растворенного газа, жидкие алканы  $C_5$ –  $C_{15}$  составляют основную массу жидких фракций нефти и твердые алканы состава  $C_{16}$ –  $C_{53}$  и более присутствуют в тяжелых нефтяных фракциях и входят в состав нефтяных парафинов.

Твердые парафины присутствуют во всех нефтях, но обычно в небольших количествах – от десятых долей до 5 - 10 % (масс.), в отдельных случаях их содержание может достигать 20 %. Содержание твердых парафинов влияет на различные свойства нефти: **вязкость, плотность, температура застывания.**

**Цикланы.** Нафтеновые углеводороды (цикланы или циклопарафиновые углеводороды, гомологи циклопропана, непредельные углеводороды) по суммарному содержанию во многих нефтях преобладают над другими классами углеводородов: их содержание колеблется от 25 до 75 % масс. Они имеют общую химическую формулу  $C_nH_{2n}$ , где С - углерод, Н - водород, n - количество атомов углерода, например n = 3  $C_3H_6$  (циклопропан), n = 4  $C_4H_8$  (циклобутан), n = 5  $C_5H_{10}$  (циклопентан) и т.д. (рис. 2).

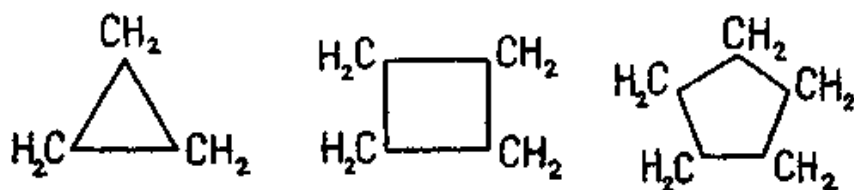


Рис. 7. Схемы строения цикланов

**Фазовое состояние цикланов:**

- цикланы  $C_3$ – $C_4$ – газы;
- цикланы  $C_5$ – $C_{11}$ – жидкости;
- цикланы  $C_{12}$  и выше – твердые вещества.

В химическом отношении цикланы весьма устойчивые вещества: в химические реакции вступают в присутствии катализаторов и при высокой температуре.

**Ароматические углеводороды (арены)** – класс углеводородов, содержащих шестичленные циклы с сопряженными связями. Содержание их в нефти изменяется от 10 – 15 до 50 % масс.

Простейший представитель этого класса углеводородов – бензол – моноциклический ароматический углеводород.

Установлено, что наибольшие концентрации аренов характерны для нефтей нафтеново–ароматических, а наименьшие – для нефтей парафинового типа. Арены не бывают газами. Жидкие арены – бензол ( $C_6H_6$ ), толуол ( $C_7H_8$ ) ксилолы ( $C_8H_{10}$ ). Высшие гомологи – нафталин ( $C_{10}H_8$ ), бифенил ( $C_{12}H_{10}$ ), дифенилметан ( $C_{13}H_{12}$ )– твердые вещества.

### Классификация нефти по химическому составу

Классификация, которая бы отражала непосредственно химический состав нефти, была предложена Грозненским нефтяным научно-исследовательским институтом (ГрозНИИ). В её основу было положено преимущественное содержание какого-либо класса углеводородов в составе нефти (рис. 3):

- парафиновые нефти
- парафино-нафтеновые нефти
- нафтеновые нефти
- парафино-нафтено-ароматические нефти
- нафтено-ароматические нефти
- ароматические нефти



Рис. 3. Классификация нефти по химическому составу

**Компонентный состав нефти** – выделение групп компонентов, отличающихся друг от друга по агрегатному состоянию, в процессе хроматографического разделения [Бармина 2009].

Существует четыре компонента нефти:

- Газ + бензин.
- Углеводородные масла (в т.ч. твердые парафины).
- Смолы.
- Асфальтены.

Масла являются важнейшим и обязательным компонентом нефти и составляют в среднем 25-75% её массы. Из масел вымораживают твердые углеводороды (УВ) – парафины. Содержание парафинов в нефти колеблется в среднем от 0% до 20%.

Смолы являются вторым после масел непременным компонентом нефти. Они могут иметь различную окраску (от светлой до темной). Содержание смол в разной нефти может существенно колебаться – от 1% до 30%, но полного отсутствия смолистых веществ в нефти не бывает.

**Асфальтены** – это продукты конденсации нескольких молекул смол, поэтому они являются твердыми веществами с кристаллоподобной структурой и не растворяются в алканах. Их молекулярная масса лежит в пределах от 1000-5000 до 10000 единиц. Однако имеются сведения, что она может достигать до сотен тысяч и даже миллионов единиц.

## Практическая работа № 2. (6 часов)

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФТИ

К важнейшим физико-химическим характеристикам нефти относятся: плотность, вязкость, сжимаемость, поверхностное натяжение, температура кипения, температура застывания, теплота сгорания, растворимость и растворяющая способность, содержание попутных компонентов.

**Плотностью** называется масса вещества в единице объема. Единицы измерения  $\text{г/см}^3$ , либо в  $\text{кг/м}^3$ .

На практике пользуются относительной плотностью, которая представляет собой отношение плотности нефти при  $20^\circ\text{C}$  к плотности дистиллированной воды того же объема при  $4^\circ\text{C}$ .

Относительная плотность нефти может колебаться в интервале  $0,76-1,04 \text{ г/см}^3$ , но чаще в пределах  $0,8-0,9 \text{ г/см}^3$ . Нефть по величине плотности подразделяется на группы: от очень легкой до очень тяжелой - битуминозной.

Плотность нефти зависит от плотности образующих ее соединений и от величины их концентраций. Например: в легкой нефти преобладают легкокипящие фракции (бензин и керосин), а в тяжелой – мазут; нефть с преобладанием метановых УВ легче нефти, обогащенной ароматическими УВ; чем больше в нефти содержится смолисто-асфальтовых веществ (САВ), тем она тяжелее; в пластовых условиях плотность нефти меньше, чем на земной поверхности, т.к. нефть в пластовых условиях содержит растворенные газы.

**Вязкость нефти** – способность жидкости оказывать сопротивление перемещению ее частиц под влиянием действующих сил.

Различают вязкость **динамическую, кинематическую и относительную.**

**Динамическая вязкость** – сила сопротивления перемещению слоя жидкости площадью в  $1 \text{ см}^2$  на  $1 \text{ см}$  со скоростью  $1 \text{ см/с}$ .

Единицей измерения динамической вязкости является пуаз ( $\text{Па} \times \text{с}$ ) или сантипуаз ( $1 \text{ сп} = 0,001 \text{ Па} \times \text{с}$ ). Динамическая вязкость воды  $1,05 \text{ мПа} \cdot \text{с}$  (миллипаскаль – секунда)

**Кинематическая вязкость** – отношение динамической вязкости к плотности жидкости.

За единицу кинематической вязкости принят 1 стокс ( $\text{Ст}$ )= $\text{см}^2/\text{с}$  – это кинематическая вязкость жидкости с абсолютной вязкостью в  $1 \text{ Па} \times \text{с}$  и плотностью  $1 \text{ кг/м}^3$ .

Данные кинематической вязкости важная характеристика для проектирования разработки

**Относительная вязкость** – отношение вязкости нефти к вязкости воды при одной и той же температуре. Вязкость нефти меняется в широких пределах от  $0,1$  до  $2000 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ . Вязкость зависит от состава нефти и условий её нахождения:

- чем больше ароматических и нафтеновых УВ, тем больше молекулярный вес и больше вязкость нефти;
- чем больше гетероэлементов (сера, азот, кислород) в нефти, тем она более густая и вязкая;
- легкие нефти с небольшим содержанием парафина, как правило, маловязкие, что облегчает их извлечение на поверхность;
- вязкость нефти в пластовых условиях меньше вязкости нефти в поверхностных условиях, что связано с присутствием растворенного газа;
- вязкость зависит от температуры – чем выше температура, тем меньше вязкость.

Величина, обратная вязкости, называется **текучестью**.

**Температура застывания** нефти (или потеря её подвижности) – важная практическая характеристика нефти. Она зависит от содержания в нефти парафина и смолисто-асфальтовых веществ (САВ). Чем больше твердых парафинов содержится в нефти, тем выше температура её застывания. Значения температур застывания нефти в среднем колеблются от плюс  $16^\circ\text{C}$  до минус  $20^\circ\text{C}$ . Температура застывания (определяется в

лабораторных условиях) – это температура, при которой охлаждаемая в пробирке нефть не изменяет своего уровня в течение одной минуты при наклоне пробирки на 45°.

**Люминесценция нефти** – способность светиться (холодным) свечением под действием разных причин, в том числе, под действием дневного света. При облучении ультрафиолетовыми лучами нефть люминесцирует по-разному в зависимости от её состава: легкая нефть имеет голубой и синий цвета, а тяжелая – желтый и желто-бурый.

**Оптическая активность** нефти – способность вращать плоскость поляризации светового луча и почти всегда вправо. Угол вращения от 0,1° до нескольких градусов.

**Электрические свойства нефти** – нефть и нефтепродукты не проводят электрический ток, т.е. они являются диэлектриками, поэтому используются в промышленности для изготовления различных изоляторов.

**Тепловое расширение** нефти – способность увеличиваться в объеме при нагревании.

**Теплота сгорания** или теплотворная способность (ккал, кДж) для нефти – это количество теплоты, выделяемой 1кг при сгорании до конца (до  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ), и составляет 10500-10900 ккал.

**Растворимость.** Нефть почти не растворяется в воде и хорошо растворяется в органических растворителях, в жирных попутных газах, в углекислом газе ( $\text{CO}_2$ ).

### **Классификация нефти по физико-химическим свойствам**

Существуют различные классификации нефти, например: по физико-химическим свойствам, технологическая, химическая, геологическая.

#### **Классификация нефти по физико-химическим свойствам**

##### **По плотности (г/см<sup>3</sup>):**

- менее 0,83 – очень легкая нефть
- 0,831 - 0,85 – легкая нефть
- 0,851 - 0,87 – средняя нефть
- 0,871 - 0,895 – тяжелая нефть
- более 0,895 – очень тяжелая нефть

##### **По вязкости (Ст; кин.):**

- <5 – маловязкая нефть
- 5-30 – средневязкая нефть
- >30 – высоковязкая нефть

##### **По содержанию смол (%):**

- <5 – малосмолистые
- 5-15 – среднесмолистые
- >15 – высокосмолистые

##### **По содержанию серы (%):**

- <0,5 – малосернистые
- 0,5-1,0 – сернистые
- 1,0-3,0 - высокосернистые
- >3 – сверхвысокосернистые

**Технологическая классификация** основана на общих показателях состава нефти, которые определяют способы её переработки. Согласно ГОСТу 912-66 нефти группируются по сернистости, парафинистости, вязкости, по выходу фракций и масел:

**Классы по содержанию серы (в %):** I малосернистые – менее 0,5; II среднесернистые – 0,5-2,0; III высокосернистые – более 2,0.

**Типы по выходу светлых фракций, перегоняющихся до 350°C, (в %):**  
T<sub>1</sub> – более 45%; T<sub>2</sub> – 30-44,9%; T<sub>3</sub> – менее 30%.

**Группы по содержанию масел (в %):**

$M_1$  – более 25% в расчете на нефть;  $M_2$  – 15-25% в расчете на нефть и не менее 45% в расчете на мазут;  $M_3$  – 15-25% в расчете на нефть и 30-45% в расчете на мазут;  $M_4$  – менее 15% в расчете на нефть.

### **Контрольные вопросы и задания:**

1. Перечислить основные физико-химические характеристики нефти.
2. Описать элементный состав нефти.
3. Описать групповой углеводородный состав нефти.
4. Описать фазовое состояние алканов, цикланов и аренов.
5. Как классифицируются нефти по плотности?
6. Как классифицируются нефти по вязкости?
7. Как классифицируются нефти по содержанию серы?

### **Список литературы**

#### **Основная**

1. Геология и геохимия нефти и газа. Учебник / О.К.Баженова, Ю.К.Бурлин, Б.А.Соколов, В.Е.Хаин – М. Издательство Московского Университета, 2012. – 432 с.
2. Геология и геохимия нефти и газа /В.И.Ермолкин и др. М.:Недра, 2012.-460с.
3. Бакиров А.А., Бордовская М.И., Ермолкин В.А., и др. Геология и геохимия нефти и газа. М., Наука, 1993.- 247с.
4. Геология и геохимия нефти и газа: Учебно-методическое пособие / Галкин В.И. Кочнева О.Е. -Пермь.Из-во Перм.нац.-исслед.ун.та, 2017.-181с.
5. Гутман И.С. Методы подсчета запасов нефти и газа. – М.: Недра, 1985. – 223 с.
6. Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов. Нормативно-методическая документация. – М.: ЕСОЭН. 2016. 320 с.: ил. Электронный ресурс.
7. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – М.: Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 262с.

#### **Дополнительная**

1. Распоряжение Минприроды России от 01.02.2016г. № 3-р. Об утверждении “Методических рекомендаций по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов”. Электронный ресурс.
2. Методы подсчета запасов и оценки ресурсов нефти и / И. С. Гутман, М. И. Саакян. - Москва: Недра, 2017. - 363, с.
3. Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 07.02.2001 г. №126 «Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ».
4. Геология нефти и газа: учебник для студ. / В.Ю. Керимов, В.И.Ермолкин, А.С.Гаджи-Касумов, А.В.Осипов. М.: Издательский центр «Академия», 2016-288с.
5. Справочник по геохимии нефти и газа. Научный редактор С.Г.Неручев /Спб.: Издательский дом Недр.1998.-576с.