

Министерство образования Российской Федерации

Ростовский государственный университет

Геолого-географический факультет

Кафедра гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии

В.В. ДОЦЕНКО

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ,
КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА КАУСТОБИОЛИТОВ

Ростов-на-Дону

2001

Печатается по решению кафедры Гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии (протокол № 10 от 18 мая 2001 г.).

Рецензенты: заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии, доктор геолого-минералогических наук, профессор А.Н. Резников; кандидат геолого-минералогических наук, доцент В.С. Назаренко

Учебное пособие предназначено для аудиторных практических занятий и самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения по специальностям: 080500 – «Геология нефти и газа», 011100 – «Геология» и 011400 – «Гидрогеология и инженерная геология» при изучении вопросов: «Понятие о каустобиолитах и их генетическая классификация», «Объем и содержание понятия «битум»», «Геохимическая эволюция и физическое фракционирование нефтей» по дисциплине – «Геология и геохимия нефти и газа».

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение	4
1. Генетическая классификация каустобиолитов	6
2. Условия образования каустобиолитов угольного ряда	11
3. Характеристика каустобиолитов угольного ряда	14
4. Условия образования каустобиолитов нефтяного ряда	18
5. Характеристика каустобиолитов битумного ряда	28
6. Практические задания	35
7. Контрольные вопросы	36
Литература	37

ВВЕДЕНИЕ

Горючие полезные ископаемые – нефть, газ, асфальтовые битумы, ископаемые угли, горючие сланцы, торфы называют каустобиолитами. Этот термин указывает на генетическое единство всех горючих полезных ископаемых. В настоящее время установлено, что угленосные породы могут быть нефтегазоматеринскими, а угольные бассейны могут содержать залежи нефти и газа. Поэтому в данном пособии, наряду с каустобиолитами нефтяного ряда рассмотрены условия образования каустобиолитов угольного ряда.

При изменении нефти в естественных условиях образуются многочисленные органические соединения с первичной углеводородной основой – природные битумы, которые имеют вязко-жидкую, вязкую и твердую консистенцию. Они представлены широким спектром веществ – от высокоуглеродистых образований до высокомолекулярных углеводородов или их сложных смесей, содержащих асфальтово-смолистые компоненты.

Природные твердые битумы образуют пластовые, жильные (трещинные), покровные и рассеянные типы скоплений. При этом пластовые и жильные скопления битумов образуют значительные по запасам промышленные месторождения. Крупнейшим в мире скоплением пластовых битумов является Канадский асфальтовый пояс, расположенный на юго-западе Канадского щита. Здесь находится месторождение Атабаска с запасами более 100 млрд. т и несколько месторождений – гигантов: Коулд-Лейк (26 млрд.т), Вабаска (8 млрд. т), Пис-Ривер (около 8 млрд. т), а также ряд меньших по запасам месторождений. В бассейне нижнего течения р. Ориноко в Венесуэле протягивается знаменитый битуминозный пояс Ориноко. Запасы природных битумов в нем составляют 100 млрд. т.

Природные битумы используются для получения углеводородов, при строительстве дорог и других видах строительства, для получения ванадия, никеля и других ценных металлов, поэтому изучение условий образования и залегания твёрдых битумов имеет большое практическое и научное значение. В последнее десятилетие XX века появилось много данных не только о генетической связи каустобиолитов угольного и битумного рядов, но и данных о связи оруденения с природными битумами [3, 5]. Интенсивно развивающаяся флюиодинамическая концепция формирования месторождений полезных ископаемых объединяет рудо- и нефтеобразование в единую систему [6].

1. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАУСТОБИОЛИТОВ

Термин «каустобиолиты» в переводе с греческого означает: горючий камень биогенного происхождения. Он был предложен в 1908 г. немецким ученым Г. Потонье для углей и горючих сланцев, которые им подразделялись по вещественному составу на гумолиты, сапропелиты и липтобиолиты. Позднее этот термин был распространен на все богатые органическим веществом (ОВ) горные породы и минералы, в которых ОВ появилось в результате преобразования биохимических структур растительных и животных организмов под воздействием геолого-геохимических факторов.

Каустобиолиты относятся к органогенным горным породам - биолитам (рис.1), среди которых имеются и негорючие породы (акаустобиолиты), например, рифогенные известняки и другие образования, состоящие из скелетов различных организмов.



Рис.1. Положение каустобиолитов среди горных пород

(по И.О. Броду и Н.А. Еременко)

По условиям образования каустобиолиты разделяются на два ряда: угольный (гумусовый) и нефтяной (битумный).

Каустобиолиты угольного ряда охватывают образования сингенетичные осадкам и породам (торфы, угли, горючие сланцы, липтобиолиты). К липтобиолитам относятся органические вещества, состоящие из наиболее устойчивых химических компонентов растительности – смол, восков, споронинов, кутикулы, пробковой ткани. Представителями этой группы каустобиолитов являются янтарь, фихтелит, тасманит.

Каустобиолиты угольного ряда характеризуются высокими концентрациями исходного, а также преобразованного ОВ. Торфы и угли содержат не менее 50 % ОВ, а горючие сланцы - не менее 10-20 %.

К каустобиолитам нефтяного ряда относятся горючие углеводородные газы, нефти, асфальтовые битумы, озокериты и другие вещества. Все они образуются из рассеянного органического материала и характеризуются тем, что их залежи формируются в результате миграции и последующей аккумуляции углеводородов. Сюда относятся и битумоиды - вещества рассеянные в породах и растворимые в нейтральных органических жидкостях.

Широко известна генетическая классификация каустобиолитов, составленная В.А. Успенским и О.А. Радченко (рис. 2). Она состоит из двух генетических рядов. Отдельные типы горючих ископаемых изображены на классификационной схеме в виде блоков, на торцевой стороне которых дана характеристика геохимических условий их образования. На схеме также указаны основные типы исходного материала, из которого образуются горючие ископаемые угольного ряда. Стрелка, направленная от правого блока угольного (гумусового) ряда, соответствующего морским и пресноводным сапропелитовым образованиям показывает связь горючих ископаемых нефтяного ряда с отложениями морских и озерных водоемов. Нижний правый блок нефтяного (битумного)

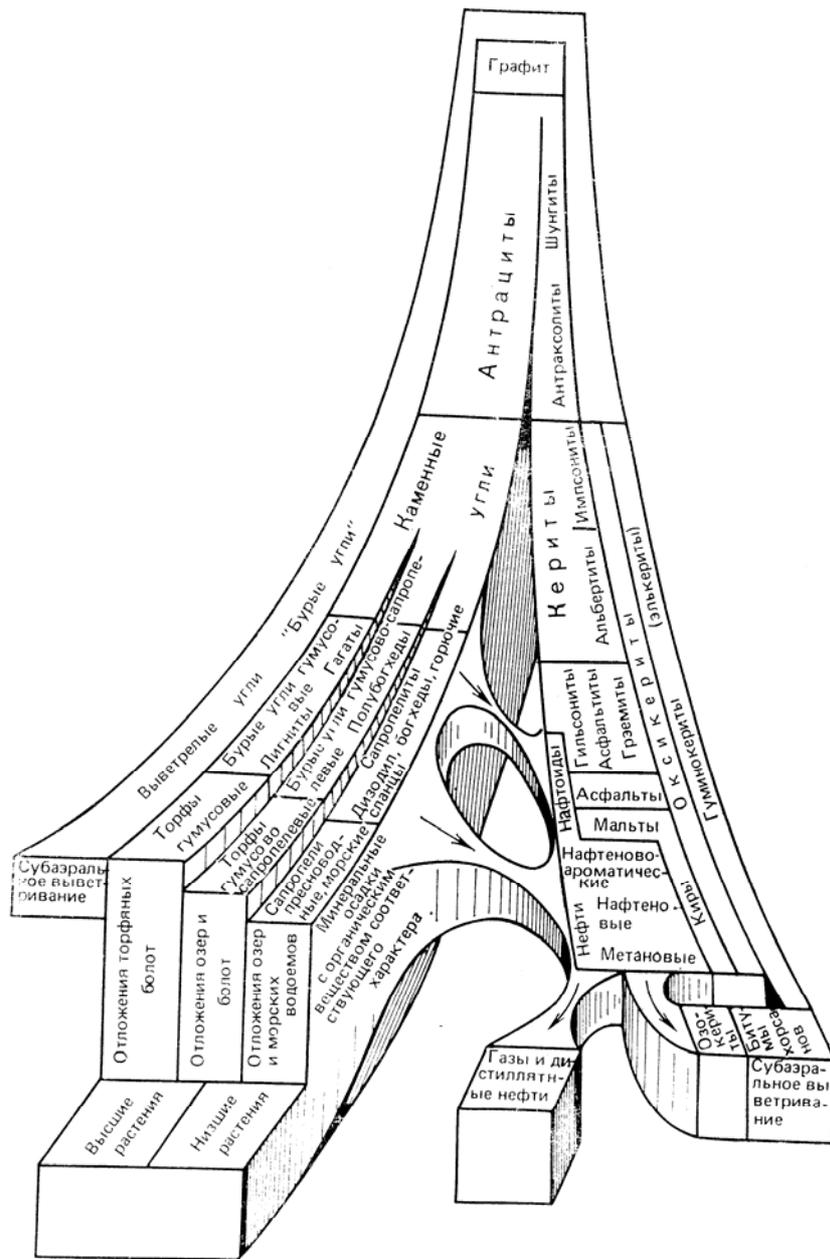


РИС. 2. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАУСТОБИОЛИТОВ
(ПО В.А. УСПЕНСКОМУ И О.А. РАДЧЕНКО)

ряда включает минералы группы озокерита, образующиеся в результате выветривания легких парафинистых (алкановых) нефтей. Выше виден переход тяжелых смолистых нефтей нафтеново-ароматического типа к асфальтам и далее к асфальтитам, керитам и антраксолитам, отвечающим определенной степени метаморфизма битумов данного ряда.

Эта схема показывает, что в недрах происходит общий процесс карбонизации ОВ, в результате которого продукты метаморфизма горючих ископаемых угольного и нефтяного рядов сближаются, и уже керитам соответствуют по степени метаморфизма каменные угли, а антраксолитам - антрациты. Конечным продуктом метаморфизма горючих ископаемых является графит.

Процесс образования каустобиолитов нефтяного ряда является более сложным, чем каустобиолитов угольного ряда, в связи с их миграционной природой. В битумном ряду выделяется три генетические линии, которые будут рассмотрены ниже.

Общепринятой классификации каустобиолитов до настоящего времени нет. Н.Б. Вассоевич и В.Н. Муратов все каустобиолиты называли *карботенами*, горючие ископаемые угольного ряда - *карбонитами*, а нефтяного ряда - *нафтонитами*. Последние разделяются на нафтиды, нафтоиды и магманафтоиды. *Нафтиды* объединяют все разновидности нефтей и продукты их преобразования в природных условиях. *Нафтоиды* - это нефтеподобные вещества, не связанные генетически с нефтью и образующиеся в результате термической деструкции ОВ под влиянием высокой температуры недр в условиях контактового метаморфизма и динамометаморфизма. Они подразделяются соответственно на пиронафтоиды и тектонафтоиды. *Магманафтоиды* включают углеводороды, встречающиеся в магме.

М.К. Калинин все горючие ископаемые и природные органические вещества нефтяного ряда, находящиеся в недрах в различных физических состояни-

ях объединяет под термином «нафтиды». К ним относятся нефти, газоконденсаты и природные битумы, а также углеводородные газы и газовые гидраты.

В результате миграции и действия катагенетических и гипергенных процессов происходит постоянная эволюция нафтидов, и переход одних их форм в другие.

2. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КАУСТОБОЛИТОВ УГОЛЬНОГО РЯДА

Твердые горючие ископаемые угольного ряда образуются из высших и низших растений. Высшие растения состоят из целлюлозы, лигнина, белков, жиров, восков и смол. Для этого ряда веществ характерно уменьшение содержания кислорода и повышение роли углерода и водорода от целлюлозы к воскам.

В составе высших растений преобладают целлюлоза и лигнин, а в составе низших - жиры, воски и смолы. Соответственно различен химический состав этих групп растений. К низшим растениям относится около 30 тыс. видов одноклеточных, многоклеточных и колониальных водорослей.

Угли, в образовании которых главное значение имеет целлюлоза и лигнин, относят к гумолитам. Если при образовании углей основное значение имеют белки, жиры, воски и смолы, то такие угли называют сапропелевыми.

Характер разложения растительности зависит от среды, в которую она попадает после отмирания. Различают четыре различных процесса: тление, перегнивание, оторфение и гниение. Тление происходит при свободном доступе кислорода. При этом отмершие растения минерализуются с образованием газов, воды и простых солей. Перегнивание и оторфение происходит при наличии влаги и недостаточном или убывающем содержании кислорода. Здесь растения гумифицируются, то есть превращаются в специфические гумусовые вещества: фульвокислоты и гуминовые кислоты. Этот процесс осуществляется биохимическим путем, посредством одновременно идущих реакций разложения органических веществ и синтеза высокомолекулярных соединений из продуктов неполного распада. Основу химической структуры гуминовых кислот составляют конденсированные арены с короткими углеводородными цепями и разнообраз-

ными функциональными группами. В дальнейшем, при метаморфизме из продуктов перегнивания и оторфения образуются гумолиты.

Гниение идет в восстановительной среде без доступа кислорода и приводит к образованию сапропелей, а затем сапропелитов. Такие условия создаются в илах и застойных водах.

Процесс углефикации исходного ОВ имеет три стадии: биогенную или биохимическую, химическую и геологическую [2].

На биохимической стадии преобразования ОВ агентами разложения являются грибки и бактерии, причем на поверхности главная роль принадлежит грибкам, при погружении биоорганического осадка в водную среду до глубины 20-40 см - аэробным бактериям, а затем на глубине 1,5-2,0 м, в застойных водах - анаэробным бактериям.

На химической, весьма длительной стадии, идет цепь химических преобразований ОВ. Без доступа кислорода оно гелефицируется и превращается в аморфную моногенную по химическому составу коллоидную массу - гель; при кратковременном доступе кислорода, в результате окислительных реакций, происходит процесс фюзенизации. В это время лигнин и целлюлоза превращаются в необратимый твердый коллоид - фюзен.

На геологической, самой длительной стадии, сопоставимой с катагенезом, в результате погружения осадочно-породного бассейна происходит погребение преобразованного осадка минеральной массой, повышение температуры и давления. При этом осадок уплотняется, обезвоживается и полимеризуется, его жидкие вещества превращаются в твердые. Так, ранее образовавшиеся гумусовые кислоты, превращаются в твердые вещества - гумины, которые слагают основную массу углей. Гумины отличаются значительной конденсацией ароматических циклов, высоким содержанием углерода и меньшим количеством функциональных групп. По мере дальнейшего погружения, органические осадки уг-

лефицируются вплоть до образования конечного продукта метаморфизма углей - графита.

В результате накопления остатков низших растений - водорослей, планктона, в том числе и зоопланктона, образуется органоминеральный осадок - сапропель. Его образование происходит в водной среде в восстановительных анаэробных условиях. В дальнейшем сапропель превращается в ископаемое ОВ - сапроелит. Сапроелиты состоят из мелких водорослей и зеленоватой гелефицированной бесструктурной основной массы – альгинита. Основная масса является цементирующим веществом и содержит большое количество битумоидов - соединений близких к углеводородам (УВ).

Тела исходных водных микроорганизмов богаты липидами, которые в анаэробных условиях преобразуются в битумоиды, состоящие из масел, смол и асфальтенов. Масла состоят в основном из УВ с числом атомов углерода выше 20.

Смолы и асфальтены - это сложные высокомолекулярные соединения, производные от УВ. Они содержат до 14 % гетероатомов (кислорода, серы, азота, а также ванадия, никеля и др.). Молекулы этих веществ различаются молекулярной массой и состоят из конденсированных ароматических и нафтеновых структур с боковыми углеводородными цепями и гетероатомами, при этом отдельные конденсированные кольца соединяются между собой простыми углеводородными цепями или гетероатомами.

Наряду с концентрированной формой скоплений, сапропелевое ОВ образует и рассеянную форму. В основной массе осадочных пород содержание рассеянного ОВ находится в пределах от 0,01 % до 1-2 и более процентов. Терригенные породы, содержащие ОВ более 0,4 % и карбонатные породы - более 0,1 % могут обеспечить промышленную нефтеносность, при определенных геологических условиях и значительной мощности этих отложений.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА КАУСТОБИОЛИТОВ УГОЛЬНОГО РЯДА

Торф - горючее ископаемое, относящееся к гумолитам. Образуется в результате неполного разложения растительного материала (мохов, древесины) в условиях повышенной влажности и затрудненного доступа воздуха. Цвет меняется от желтовато-коричневого до черно-серого, структура волокнообразная или аморфная, в зависимости от степени разложения исходного материала. Содержание ОВ в сухой массе не менее 50 %. Элементный состав в процентах: углерод 50-60, водород 5-6, кислород 30-40, азот 1-3, сера 1,5-2,5. Плотность изменяется в пределах от 1,4 до 1,7 г/см³.

Бурый уголь - переходная форма от торфов к каменным углям; цвет палевый, коричневый, черный с коричневатым оттенком или черный, иногда обладает блеском. Он окрашивает горячий водный раствор едкой щелочи в темно-бурый цвет, а разбавленную азотную кислоту - от ярко-желтого до красно-бурого цвета. На воздухе быстро буреет, растрескивается. По внешним признакам различают землистый или рыхлый и плотный бурый уголь. Плотность органической массы лежит в пределах от 1,34 до 1,60 г/см³. Химический состав изменяется в широких пределах, в зависимости от степени углефикации. Характеризуется повышенным содержанием фенольных, карбоксильных и гидроксильных групп, наличием свободных гуминовых кислот и первичных смол, содержание которых снижается с повышением степени метаморфизма соответственно от 64 до 2-3 % и от 25 до 5 %. Выход спиртово-бензольного экстракта изменяется в пределах от 3 до 20 % и выше. Элементный состав в процентах: углерод 65-76, водород 4,5-6 и более, кислород и азот в сумме 18-30.

Лигнит - незначительно углефицированная ископаемая древесина, главным образом хвойных пород, встречающаяся в пластах бурых углей и в сопровождающих горных породах.

Гагат - разновидность плотного однородного черного угля с раковистым изломом и ярким сплошным блеском. Он не слагает выдержанных пластов и слоев. Исходное вещество - свежая араукариевая древесина юрского возраста, попавшая в восстановительную среду. По внешнему виду гагат напоминает структурный витрен - ингредиент гумусовых углей, для которого характерно наличие древесинного клеточного строения с годичными кольцами. Отличается от витрена большой вязкостью и высоким выходом (до 30 %) летучих веществ и смол, а также - повышенным содержанием водорода.

Сапропелит - группа ископаемых углей, образовавшаяся преимущественно из продуктов преобразования остатков зоо- и фитопланктона. Сапропелиты сложены в основном микрокомпонентами группы альгинита, характеризуются высоким выходом летучих веществ и первичного дегтя, высоким содержанием водорода. Они имеют сероватый оттенок, матовый блеск, раковистый излом и однородную структуру с отсутствием в ней полосчатости. Слагают маломощные прослои и лишь в отдельных месторождениях образуют целые пласты или пачки. Наиболее распространены собственно сапропелиты – богхеды и полу-богхеды. Сапропелиты в рассеянных формах являются основным ОВ нефтематеринских пород.

Богхед - уголь класса собственно сапропелитов, слагает пласты толщиной 0,5-1 м. Цвет буро-черный, иногда оливковый, излом раковистый матовый. Составит в основном из водорослей различной степени сохранности и величины с незначительным участием зеленоватой гелефицированной основной массы. Характеризуется повышенной плотностью, вязкостью. Содержание водорода составляет 8-12 % и летучих веществ 60-70 %. Загорается от спички и горит длинным коптящим пламенем.

Горючие сланцы - глинистая, известковистая или кремнистая, плотная тонкослоистая, при выветривании листоватая или массивная осадочная порода

с содержанием сингенетичного сапропелевого ОВ от 10-20 % до 60-80 %, обладающая способностью загораться от спички и гореть коптящим пламенем. По условиям образования близки к сапропелитовым углям, но содержат большое количество минеральных примесей. Цвет от желтоватого и светло-коричневого до темно-коричневого и зеленовато-коричневого, а также от оливково-серого до черного. При значительном нагревании горючие сланцы разлагаются с выделением нефтеподобной смолы (сланцевого масла), горючих газов и воды. Выход смол составляет от 5 до 50 %. Элементный состав колеблется в пределах (в процентах): углерод 56-82, водород 5,8-11,5, сера 1,5-9, азот 1-6, кислород 9-10.

каменный уголь - ископаемый уголь средней степени углефикации черного или серовато-черного цвета с сильным блеском, черной и иногда темно-коричневой чертой. Состоит из сложных и простых ингредиентов; бывает однородный, но чаще полосчатый. Свободных гуминовых кислот не имеет, поэтому не окрашивает раствор едкой щелочи. Выход летучих веществ, в зависимости от степени углефикации, изменяется от 45 до 2 %, содержание углерода составляет 75-92 %, водорода - 2,5-5,5 %, кислорода - 1,5-15 %. По мере повышения степени метаморфизма в каменных углях увеличивается количество ароматических структур и степень их конденсированности и уменьшается влажность (от 12 до 1 %). Убывание кислорода сопровождается уменьшением содержания водорода. Соответственно стадиям углефикации выделяют шесть марок каменных углей: длиннопламенные, газовые, жирные, коксовые, отощенно-спекающиеся и тощие. Кроме этой, существуют генетические и промышленные классификации углей.

Антрацит - уголь наиболее высокой степени углефикации, плотностью от 1,4 до 1,7 г/см³, серовато-черный или черно-серый с ярким металловидным блеском, черта бархатисто-черная. Структура и текстура почти не различимы.

Содержание углерода составляет 95-97 %, водорода 1-3 %, летучих веществ 2-8 %. Антрацит не спекается, обладает заметной электропроводимостью.

Шунгиты встречаются в жильной и пластовой форме. Жильные шунгиты это - черные, твердые вещества с блестящим раковистым изломом, твердостью 3-4, плотностью 1,8-2,0 г/см³, содержание углерода составляет 96-99 %, водорода - 0,2-0,5 %. Обладают значительной электропроводимостью. Пластовые шунгиты это – высокометаморфизованные осадочно-вулканогенные породы протерозойского возраста, богатые ОВ. Они содержат углерода от 10 до 80 %, остальная часть приходится в основном на минеральные примеси. В пластовых шунгитах обнаружены растительные структуры, схожие с древесиной, что указывает на их принадлежность к угольному (гумусовому) ряду.

Графит органического происхождения это - результат наиболее высокой стадии преобразования углей (ультраметаморфизма), образуется при контактовом воздействии интрузий на каменноугольные или антрацитовые пласты. Содержит 97-99 % углерода и небольшое количество водорода, кислорода и других элементов, поэтому не имеет полностью упорядоченной кристаллической структуры; она является скрытокристаллической или «аморфной».

Выветрелые угли - образуются в результате физического выветривания и химического окисления ископаемых углей в зоне гипергенеза. Химическое окисление происходит за счет кислорода атмосферы и кислородсодержащих вод, циркулирующих в пластах углей. Выветрелые угли представляют собой рыхлую или порошкообразную массу. Они характеризуются уменьшением спекаемости, содержания углерода, водорода и увеличением содержания гуминовых кислот, кислорода, а также - увеличением влажности, зольности и выхода летучих соединений. Сапропелевые угли более устойчивы к выветриванию, чем гумусовые угли.

4. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КАУСТОБИОЛИТОВ НЕФТЯНОГО РЯДА - ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ

4.1. Объем и содержание термина «битум»

В природе существуют многочисленные проявления и промышленные скопления минеральных веществ, которые являются продуктами изменения непосредственно нефти или дальнейшего изменения ее производных, состоящих в основном из углерода и водорода. Это мальты, озокериты, асфальты, асфальтиты, кериты и другие вещества, получившие название природных битумов. Они могут быть растворимы и нерастворимы в органических растворителях, иметь жидкую, вязкую или твердую консистенцию, но обязательной чертой битумов является эпигенетичность по отношению к вмещающей породе, то есть - миграционная природа их скоплений.

Термин «битум» имеет древнее происхождение. В настоящее время он применяется в трех несколько различных понятиях: генетическом, аналитическом и техническом. Генетическое понятие включает каустобиолиты нефтяного ряда (нафтиды) и их аналоги - нафтоиды (см. раздел 1).

Аналитическое понятие включает все вещества, извлекаемые из горных пород органическими растворителями. Эти вещества называются по Н.Б. Вассовичу битумоидами (битумоподобными). Обязательным признаком битумоидов является растворимость, а генетическое отношение к породе может быть различным – сингенетичным или эпигенетичным.

Различают три аналитических типа битумоидов: 1) битумоид А - извлекаемый из горной породы органическими растворителями без предварительной её обработки соляной кислотой; 2) битумоид В - извлекаемый обычно из углей в условиях высокого давления после предварительного извлечения битумоида

А; 3) битумоид С – присутствующий в горной породе в связанном с ней состоянии и извлекаемый после предварительного удаления битумоида А и последующей обработки породы соляной кислотой.

Техническое понятие «битум» включает природные асфальты, продукты переработки нефти, горючих сланцев, а также угля, торфа и древесины (дегты), которые используются в качестве технического сырья. Определяющими признаками здесь являются только технические свойства, позволяющие применять их с различными целями: для дорожного покрытия, гидроизоляции, приготовления лаков и др. Рекомендуемое название этих веществ - «технобитумы» [4].

4.2. Условия образования битумов

Образование природных битумов связано с различными процессами, которые проявляются обособленно или накладываются друг на друга. И.С. Гольдберг (1981) разделил эти процессы на три ряда: гипергенный (окислительный), фазово-миграционный и термально-метаморфический и составил генетическую классификацию природных битумов (табл. 1). В обобщенном виде схема изменения нефтей и образования битумов представлена на рисунке 3.

Гипергенный (окислительный) ряд природных битумов. В зоне гипергенеза нефти подвергаются дегазации, воздействию инфильтрационных вод, которые содержат кислород и микроорганизмы. Изменение нефтей происходит вследствие вымывания воднорастворимых компонентов, окисления и биodeградации. Биodeградация - это преобразование нефтей микроорганизмами на границе раздела нефть - вода. Бактериальному разрушению подвергаются в первую очередь нормальные алканы средних и высших фракций нефтей. Известно более 30 родов и 100 видов бактерий, грибов и плесеней, развивающихся на нефти. Углеводородоокисляющие бактерии могут существовать при

Генетическая классификация природных

Определяющие типы процессов	Исходное вещество	Группа, подгруппа
Гипергенный (окислительный)		
Биохимическое окисление; испарение легких фракций	Нефть	Асфальтиды
Химическое окисление: $MЦАг \rightleftharpoons БЦАг \rightarrow ПЦАг \rightarrow Сmb \rightarrow$ $\rightarrow Сmспб \rightarrow Ас \rightarrow К$; остаточное накопление смолистых и сернистых соединений	Нефти циклические смолистые	Киры
	Нефти метановые и нафтеновые малоосмоленные	
Интенсивное химическое окисление в субаэральных условиях	Битумы асфальтовые	Оксибитумы
Интенсивное бактериальное окисление	Битумы парафиновые	
Фазово-миграционный		
Природная деасфальтизация нефтей газом или легкими парафиновыми углеводородами	Нефти относительно смолистые	Асфальтениды
Концентрирование асфальтово-смолистых веществ в результате нарушения равновесного состояния в коллоидной системе нефти	Нефти тяжелые, смолистые	Бета-асфальтениды
Дифференциация газоконденсатов и высокопарафинистых нефтей при миграции	Газоконденсаты тяжелые и нефти парафинистые	Парафиниты
Термально-метаморфический		
Гидротермальная дифференциация в условиях переноса нефти горячими растворами	Битумы асфальтовые и нефти тяжелые, высокосмолистые	Асфальтоиды
		Графитоиды

Таблица 2.

битумов (по И.С. Гольдбергу, 1981)

Классы	Плотность, г/см ³	Параметры группового и углеводородного состава	
		Масла, %	Другие характерные параметры
ряд природных битумов			
Мальты	0,975—1,03	65—40	—
Асфальты	1,03—1,10	40—25	—
Мальты	0,965—1,03	65—40	$S_{мспб}/C_{мб} < 1,1$
Асфальты	1,03—1,10	40—25	$(Me + Nf)/Ar < 1,2$
Асфальтиты	1,10—1,20	< 25	
Мальты	0,965—1,03	65—40	$S_{мспб}/C_{мб} > 1,3$
Асфальты	1,03—1,10	40—25	$(Me + Nf)/Ar > 1,8$
Асфальтиты	1,10—1,20	$K < 25$	
Оксикериты	1,15—1,25	< 5	$K = 10 \div 40 \%$
Гуминокериты	1,25—1,50	—	$K = 40 \div 100 \%$
Альгариты	~ 1,0	—	—
ряд природных битумов			
Асфальты	~ 1,10	40—25	$Ac/C_m = 2 \div 4$
Асфальтиты	1,10—1,15	< 25	
Кериты	> 1,10	< 5	—
Мальты	~ 1,00	Параметры, близкие к параметрам асфальтенитов	
Асфальты	~ 1,10		
Асфальтиты	1,10—1,15		
Озокериты	0,85—0,97	45—95	$C_{37}H_{78} - C_{53}H_{10}$
Гатчетиты	0,86—0,94	~ 100	$C_{21}H_{44} - C_{38}H_{78}$
ряд природных битумов			
Кериты	1,07—1,30	5	$K = 10 \div 95 \%$
Низшие антраксолиты	1,3—1,7	—	$K = 95 \div 100 \%$
Нефтяные коксы и высшие антраксолиты	1,7—2,0	—	$K = 100 \%$

Определяющие типы процессов	Исходное вещество	Группа, подгруппа
Деструкция органического вещества в условиях контактового метаморфизма	Горючие сланцы, угли, доманкоидные и др. породы, богатые органическим веществом	Альфа-нафтоиды
		Бета-нафтоиды
		Гамма-нафтоиды

Примечание. См—смолы; Смб—смолы бензольные; Смспб—смолы спиртобензольные; ПЦАг—соответственно моно-, би- и полициклические арены.

температуре 80-90 °С с минерализацией пластовых вод до 200 г/л.

Все эти процессы сопровождаются постепенным увеличением в нефтях доли смол и асфальтенов, сернистых, кислородных и азотистых соединений, повышением плотности, вязкости, а также - уменьшением содержания алканов. В результате нефть меняет свои свойства и превращается в мальту и другие асфальтовые битумы (асфальты, асфальтиты), которые заполняют трещины и поровое пространство пород-коллекторов или образует кировые покровы на земной поверхности.

Другая линия, дающая начало группе киров (мальтам, асфальтам, асфальтитам) связана с легкими малосмолистыми метановыми, нефтенowymi и нефтеново-метановыми нефтями, которые после излияния на поверхность, подверглись выветриванию и окислению под действием кислорода воздуха и образовали залежи битумов вокруг выходов нефтеносных пластов.

продолжение табл. 2.

Классы	Плотность, г/см ³	Параметры группового и углеводородного состава	
		Масла, %	Другие характерные параметры
Асфальтовые битумы всех классов	Параметры, близкие к параметрам битумов нафтидов и нафтидо-нафтенов		
Хризматиты Олефиниты	1,0 0,95—1,15	100 —	— —
Картезиты Карпатиты	1,20—1,30 1,40	— —	C ₂₄ C ₁₈ O C ₃₂ H ₁₇ O

Ас—асфальтены; К—карбены, карбоиды; Ме—алканы; NГ—цикланы; Аг—арены; МЦАг, БЦАг.

При дальнейшем интенсивном химическом и бактериальном окислении асфальтовых битумов (мальт, асфальтов, асфальтитов), а также парафиновых битумов (озокеритов, гатчетитов), которые образуются при физической дифференциации нефтей, формируется группа оксидбитумов - глубоковыветрелых разновидностей битумов (оксикеритов, гуминокеритов, озокеритов хорсанов, элатеритов). Полная биодegradация озокеритов завершается образованием альгаритов, которые теряют характерные признаки исходного вещества.

В результате окислительных процессов во многих регионах мира сформировалось огромное количество поверхностных нефтепроявлений, а также промышленных скоплений природных битумов. Эти нефтепроявления дали в свое время основание для проведения нефтепоисковых работ.

Фазово-миграционный ряд природных битумов. Битумы этого ряда образуются при дифференциации УВ в процессе их перемещения по порам и трещинам в связи с изменением термобарических условий и нарушением равновесного состояния в коллоидной системе нефти.

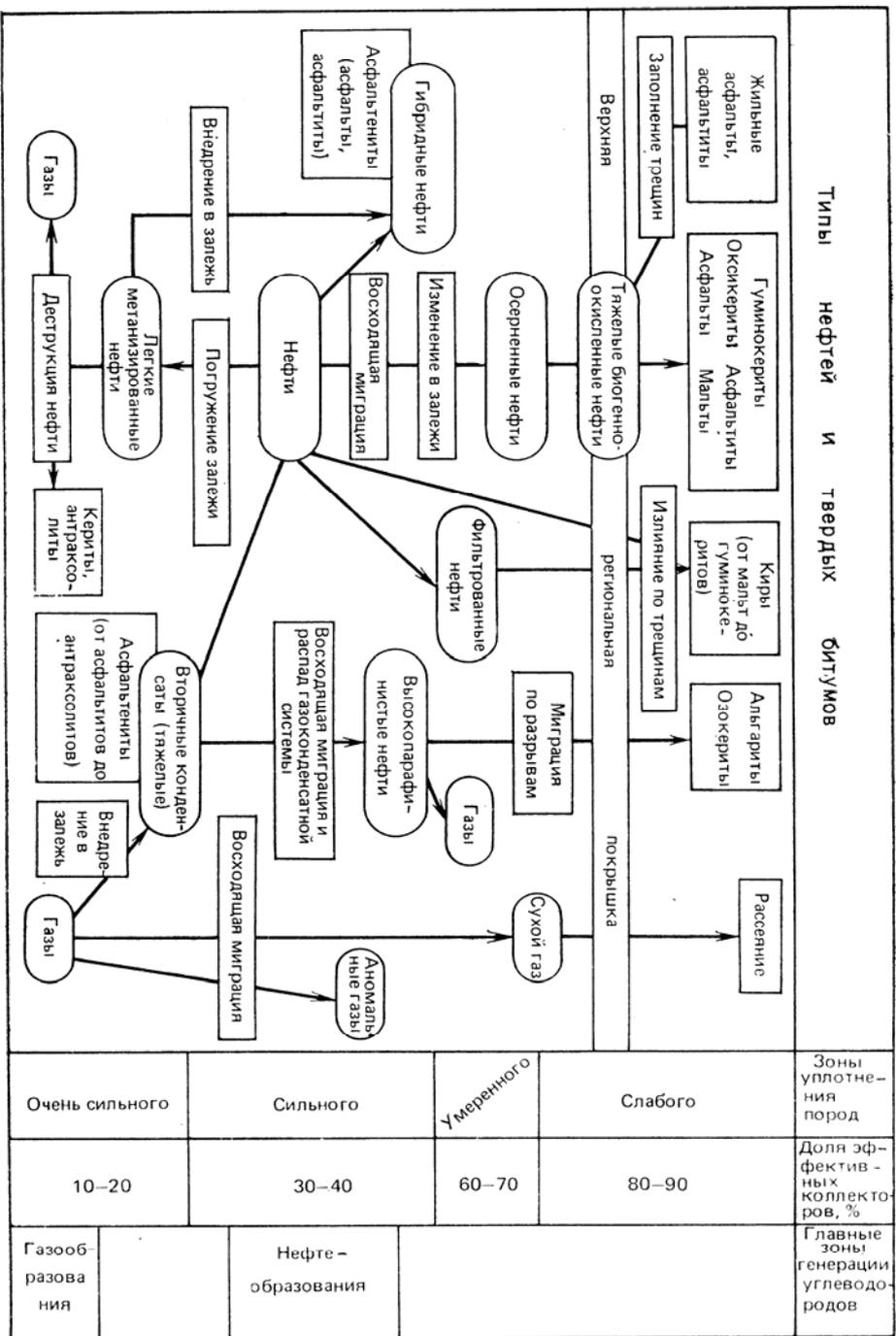


Рис. 3. Схема изменения нефтей и образования твердых битумов (по И.С. Гольдбергу, В.А. Лебедеву)

Если из нефти происходит выделение лёгких фракций и газа, которые обладают меньшей вязкостью и лучшей миграционной способностью, то высокомолекулярные смолисто-асфальтеновые компоненты, находящиеся в ней в виде коллоидного раствора, теряют подвижность, осаждаются в пустотном пространстве коллектора и образуют залежи высоковязких битумов – мальт. Мальты далее могут трансформироваться в асфальты и асфальтиты.

При миграции и аналогичной фазовой дифференциации тяжелых газоконденсатов и высокопарафинистых нефтей образуется группа парафиновых битумов или парафинитов, которые разделяются на озокериты и гатчетиты.

В процессе восходящей миграции, вследствие адсорбции породами смолисто-асфальтеновых веществ и ароматических УВ, происходит фильтрация нефтей. С понижением температуры до 40 °С адсорбция возрастает. Данные А.Г. Милешиной показывают, что нефти в результате миграции и адсорбции могут терять до 48-53 % тяжелых компонентов от их исходного количества.

Асфальтены не растворимы в алканах, поэтому если в залежь смолистой нефти поступает газ или легкие алкановые УВ, то в этом случае происходит нарушение равновесное состояние в коллоидной системе нефти и осаждение асфальтовых веществ. Этот процесс называется деасфальтизацией нефти. Выпавшие в осадок асфальтовые вещества образуют скопления мальты, асфальта, асфальтита или керита, в зависимости от степени смолистости нефти и термобарических условий.

Термальное-метаморфический ряд природных битумов. Этот ряд формируется в результате различных процессов: при пиролизе твердых битумов в условиях контактового метаморфизма с образованием природных нефтяных коксов и высших антраксолитов; при метаморфической деструкции нефтяных УВ в гидротермальных системах с образованием керитов и низших антраксолитов; при деструкции ОВ в условиях контактового метаморфизма, когда образуются

пиронафтоиды, а также - при динамометаморфизме с образованием нафтоидов - продуктов выжимания битуминозных веществ из пород при интенсивных тектонических напряжениях.

В процессах контактового метаморфизма и динамометаморфизма участвуют в качестве исходного материала горючие сланцы, угли и доманикоидные породы. (Доманикиты - это породы с большим содержанием ОВ, от 8 до 20 %). При этом образуется сложный спектр битумов, среди которых В.А. Успенский и другие, а также И.С. Гольдберг выделяют альфа-, бета- и гамма-нафтоиды.

Альфа-нафтоиды подобны дегтю и образуются из сапропелевых горючих сланцев. Они, при эволюции в зонах гипергенеза и катагенеза, могут дать битумы, аналогичные нефтяному ряду от мальт до антраксолитов.

Бета-нафтоиды возникают в результате сепарации продуктов возгона парафиновых и олефиновых веществ в процессе гидротермального воздействия на исходное ОВ. При этом образуются озокеритоподобные рафинированные продукты – парафиниты (хризматиты, гатчетиты) и олефиниты. Олефиниты являются полимеризатами непредельных УВ. Для бета-нафтоидов характерна температура плавления, не превышающая 100 °С.

Гамма-нафтоиды или кёртизиты - это органические минералы, состоящие преимущественно из поликонденсированных аренов. Они встречаются в сульфидно-ртутных месторождениях в виде кристаллов или кристаллических агрегатов желтого, оранжевого и синевато-зеленого цвета. Их плотность 1,2-1,3 г/см³, элементный состав: углерод 93,1-93,9 %, водород 5,5-6,1 %, температура плавления 300°С. Кёртизиты относятся к продуктам пиролиза ОВ под воздействием интрузий и гидротерм. Они не имеют аналогов среди нафтидов.

Для всех нафтоидов характерны жильные формы залегания, а также небольшие включения.

Таким образом, жидкие и газоконденсатные УВ системы образуют при воздействии разных факторов в различных условиях широкий спектр природных битумов, которые различаются по своим свойствам, составу и условиям залегания. Для природных битумов также характерно то, что одинаковые их классы образуются в разных геолого-геохимических условиях. Например, мальты, асфальты и асфальтиты образуются при гипергенных и фазово-миграционных процессах, а кериты при фазово-миграционных и термально-метаморфических процессах.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА КАУСТОБИОЛИТОВ БИТУМНОГО РЯДА

Нефть - вязкая жидкость черного или темно-коричневого цвета иногда, при солнечном свете, с зеленовато-желтым оттенком, реже почти бесцветная, жирная на ощупь, способная к перемещению в недрах. Нефть образуется в зоне катагенеза в результате преобразования рассеянного ОВ. Последующая миграция нефти в природных резервуарах и аккумуляция в ловушках способствует формированию ее залежей. В химическом отношении нефть - сложная смесь алкановых (от 0 до 93 %), циклановых (от 1 до 80 %) и ареновых (от 3 до 35 %) УВ и гетероатомных (серо-, кислород- и азотсодержащих) органических соединений. Содержание углерода составляет 82-87 %, водорода 11-14 %, кислорода, серы и азота в сумме - 1-2 %, но может достигать 8 %. Эти гетероэлементы, а также некоторые металлы (ванадий, никель, железо и др.) и неметаллы (фосфор) содержатся в основном в смолисто-асфальтеновых веществах, представляющих собой высокомолекулярные конденсированные циклические структуры с боковыми УВ цепями и гетероатомами. Молекулярная масса смол колеблется в пределах от 500-2000, а асфальтенов – от 1000 до 10000. Содержание смол и асфальтенов составляет от 0 до 10 %. В гипергенно измененных нефтях содержание смолисто-асфальтеновых веществ может достигать 20-40 %. Из нефтей выделено и определено более 800 индивидуальных углеводородных и не углеводородных соединений и порядка 50 микроэлементов. В нефтях присутствуют реликтовые молекулярные структуры (хемофоссилии) - УВ и гетероатомные соединения, близкие по структуре углеводородного скелета к биологическим веществам или их фрагментам. Под действием катагенетических и гипергенных факторов, а также в результате миграционных процессов состав и свойства нефти меняется. Нефть почти всегда содержит в пластовых условиях растворенный газ, количество которого может достигать значений 600-750 м³

газа на тонну нефти. В физическом отношении нефть - это коллоидно-дисперсная система. Ее плотность колеблется в пределах от 0,72 до 1,05 г/см³ (обычно 0,82-0,90). Начало кипения 35-100 °С и выше, температура застывания колеблется от плюс 23 до минус 60 °С. По температурам кипения нефть содержит фракции, выкипающие в интервале температур от 35 до 600 °С. При увеличении содержания парафинов температура застывания нефти повышается, а при увеличении содержания смол - понижается. Нефть хорошо растворима в органических растворителях и практически не растворима в воде при нормальных условиях. Ее растворимость в воде возрастает, начиная с температуры 100-110 °С и при повышении давления.

Асфальтовые битумы - группа природных битумов, в составе которых преобладают асфальтово-смолистые вещества или их наиболее карбонизированные компоненты (карбены, карбоиды). К ним относятся классы мальт, асфальтов, асфальтитов, керитов, антраксолитов, оксикеритов и гуминокеритов.

Кирь - группа природных битумов (мальт, асфальтов и асфальтитов), образующаяся в результате субаэрального выветривания метановых (алкановых) и нафтеновых (циклановых) слабосмолистых нефтей. Характеризуется обогащенностью кислородом и обедненностью азотом. Это название часто применяется по отношению не только к чистому битуму, но и к породе в целом, содержащей какую либо группу данных битумов.

Асфальтиды - группа природных битумов асфальтового ряда (мальты, асфальты, асфальтиты), образовавшихся при гипергенном окислении циклических смолистых нефтей.

Мальты - вязкожидкие, вязкие, иногда твердые легкоплавкие битумы черного цвета, иногда с запахом сероводорода, граничащие по составу и свойствам с тяжелыми высокосмолистыми нефтями (по зарубежной классификации мальта - это тяжелая нефть). Плотность 0,97-1,05 г/см³. Состав в процентах: уг-

лерод 80-87, водород 10-12, сера до 9; масла 40-65, смолы и асфальтены 35-60. Наиболее часто образуются в результате биохимического и химического окисления нефтей и испарения легких фракций УВ, в местах их неглубокого залегания или выхода на поверхность, а также при миграции нефти.

Асфальты - вязкие или твердые битумы почти черного цвета плотностью 1,0-1,1 г/см³ и температурой плавления до 100 °С, полностью растворимые в хлороформе, сероуглероде, скипидаре. Занимают промежуточное место между мальтами и асфальтитами. Групповой состав в процентах: масла 25-40, смолы 3-50, асфальтены 15-40. Образуются как в результате окисления нефти и испарения ее легких фракций, так и осаждения асфальтово-смолистых компонентов в пласте при поступлении в нефтяные залежи метана или легких парафинистых нефтей. В зависимости от степени окисленности (в аэробных или анаэробных условиях) и степени осерненности элементный состав изменяется в широких пределах. Сильно окисленные (обогащенные кислородом) асфальты иногда называют оксиасфальтами. В природе встречаются в виде покровов («озер»), асфальтоносных пластов с содержанием в породе от 2 до 23 % и жил. Жильные асфальты отличаются пониженным содержанием кислорода.

Асфальтиты - твердые, иногда хрупкие высокоплавкие битумы, полностью растворимые в органических растворителях. Их плотность 1,1-1,2 г/см³, температура плавления 100-300 °С. Содержат до 25 % масел и более 75% асфальтово-смолистых компонентов. Являются результатом более глубокой окислительной полимеризации асфальтов; дифференциации УВ при миграции или результатом разбавления тяжелых смолистых нефтей газом или легкими парафиновыми УВ. Асфальтиты подразделяются на подклассы гильсонитов и грэемитов. *Гильсониты* - твердые, хрупкие, блестящие вещества черного цвета плотностью 1,05-1,15 г/см³ и температурой плавления 100-200 °С. *Грэемиты* - твердые, хрупкие битумы буровато-черного цвета, полуматовые, иногда с туск-

лым блеском, плотностью 1,15-1,20 г/см³. Плавятся при температуре 180-300 °С с разложением (вспучиванием). В групповом составе преобладают асфальтены. Образуются в основном за счет цикланово-алкановых и циклановых нефтей, преимущественно в результате гипергенных процессов.

Кериты - асфальтовые битумы средней степени метаморфизма, слабо-растворимые или нерастворимые в органических растворителях. Состав в процентах: углерод 80-90, водород 4-9, кислород, сера и азот в сумме 5-10; масла 1-5, смолы 5-20, асфальтены 1-75, карбоиды (асфальто-смолистые компоненты природных битумов, нерастворимые в хлороформе) 7-95. Кериты образуются в результате превращения рассеянного ОВ в условиях контактового метаморфизма; преобразования асфальтовых битумов под воздействием контактового, регионального метаморфизма и динамометаморфизма; природной деасфальтизации смолистых нефтей газом или легкими парафиновыми УВ в зоне катагенеза. Подразделяются на альбериты и импсониты.

Альбериты – подкласс низших керитов. Это - твердые, хрупкие, блестящие вещества, ограниченно растворимые в хлороформе и сероуглероде. Их плотность 1,07-1,15 г/см³, содержание углерода составляет 83-87 %, водорода 8-9 %, кислорода, серы и азота в сумме до 10 %, выход беззольного кокса - 25-50 %. При нагревании размягчаются, вспучиваются и спекаются.

Импсониты – подкласс высших керитов. Это - твердые, углеподобные битумы черного цвета, плотностью 1,1-1,3 г/см³, неплавкие и нерастворимые в органических растворителях. Содержание углерода составляет 87-90 %, водорода 5-8 %, выход беззольного кокса - 50-85 %.

Антраксолиты - общее название классификационной группы твердых, хрупких антрацитоподобных битумов высшей степени метаморфизма, нерастворимых в органических растворителях, не плавящихся и не дающих жидких продуктов разложения при нагревании. Цвет черный, излом раковистый бле-

стящий, плотность 1,3-2,0 г/см³, твердость 2-5. Состав в процентах: углерод 88-99, водород 0,2-5, сера, азот и кислород в сумме 0,5-5, карбоиды 95-100; выход кокса - 80-100 %. Антраксолиты подразделяются на низшие, плотностью 1,3-1,4, средние, плотностью 1,4-1,7 и высшие, плотностью 1,8-2,0. Они образуются при контактовом и региональном метаморфизме горных пород, содержащих битумы, пиролизе асфальтовых битумов и тяжелых высокосмолистых нефтей под действием интрузий и гидротерм. Антраксолиты с содержанием серы от 10 до 15 % и более называются кискеитами.

Оксибитумы - общее название классификационной группы природных битумов, частично или полностью потерявших растворимость в органических растворителях из-за интенсивного, субаэрального окисления (оксикериты, гуминокериты, альгариты).

Оксикериты – класс окисленных асфальтовых битумов, в значительной мере потерявших растворимость в органических растворителях и не окрашивающих водный раствор щелочи. Это – твердые хрупкие или рыхлые, часто землистые образования от бурого до черного цвета, плотностью 1,15-1,25 г/см³. Элементный состав в процентах: углерод 75-80, водород 6-7, кислород 5-6 и более, кислород, сера и азот в сумме 10-20. Групповой состав в процентах: масла 1-5, смолы 1-5, асфальтены 60-80, карбоиды 10-40. При плавлении вспучиваются и разлагаются. Оксикериты с содержанием серы до 10-15 % и более называются тииоксикеритами.

Гуминокериты – твердые хрупкие или рыхлые землистые образования бурого, желто-бурого и реже черного цвета, плотностью 1,25-1,50 г/см³. Элементный состав в процентах: углерод 65-75, водород 4,5-6,5, кислород, сера и азот в сумме 20-30. Групповой состав в процентах: масла 0-2, смолы 0-2, асфальтены 0-60, карбоиды 40-100. Гуминокериты практически не растворимы в органических растворителях, окрашивают водный раствор щелочи из-за нали-

чия в них гуминовых кислот. Образуются вследствие глубокого выветривания асфальтовых битумов. При нагревании вспучиваются и обугливаются без спекания. Их устаревший синоним - «элькериты».

Озокерит - минерал, состоящий в основном из твердых алканов (от C_{37} до C_{53}), с примесью УВ, содержащих в длинной цепи циклановое или ареновое ядро, а также - с примесью жидких масел и смол. Представляет собой твердую, хрупкую или мягкую пластичную массу. Цвет меняется, в зависимости от количества присутствующих масел и смол, от светло-желтого и коричневого до темно-зеленого и черного. Плотность $0,85-0,97 \text{ г/см}^3$, температура плавления от $40-50$ до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше. Хорошо растворяется в органических растворителях. Элементный состав: углерод $83,5-85 \%$, водород $12-14,5 \%$. Образуется при физической дифференциации высокопарафинистых нефтей и тяжелых газоконденсатов, в результате которой, высшие парафины и церезины кристаллизуются и заполняют трещины (жильные формы озокерита) или поровое пространство коллектора (поровые скопления или руды). Имеется ряд местных названий озокерита и его разновидностей: гумбед, байкерит, бориславит, киндебаль, марга, мумташ, нефтегиль, горный воск и др. Озокериты, подвергшиеся выветриванию (бактериальной переработке, окислению, промыванию водой) образуют группу оксибитумов, состоящую из озокеритов хорсанов, элатеритов и альгаритов.

Гатчетит - парафиновый минерал, характеризующийся химической чистотой и иногда отчетливо кристаллическим строением. Это углеводородная разновидность озокерита. Цвет желтовато- или зеленовато-белый, консистенция мягкая, плотность $0,90-0,98 \text{ г/см}^3$, температура плавления $46-54 \text{ }^\circ\text{C}$. Содержание углерода составляет $85,5 \%$, водорода - $14,5 \%$. Иногда встречается в парагенезисе с гидротермальными минералами. Гатчетит и озокерит образуют группу парафиновых битумов - парафинитов.

Озокериты хорсанов - продукты выветривания озокеритов. Отличительной особенностью их состава является появление циклических УВ и смол за счет уменьшения содержания парафинов и масел. Охорсаниванию подвергаются озокеритоносные породы, залегающие от поверхности до глубины нескольких метров.

Элатериты - представляют собой плотные каучукоподобные битумы, с низкой растворимостью в органических растворителях. Основная масса элатеритов сложена полимерными веществами, близкими по структуре к каучуку и способными лишь набухать в растворителе. Их плотность 0,95-1,15 г/см³, элементный состав в процентах: углерод 75-87, водород 10-13, сера до 3,3, азот 0-1,8, кислород 0-5. Смолисто-асфальтеновых веществ не содержат. Содержание масел составляет 3,20-9,65 %. Элатериты связаны с гидротермальными образованиями и скоплениями озокерита, и относятся к группе парафинитов.

Альгариты (парафиновая грязь) - группа природных образований, состоящая из смеси углеводно-белковых веществ, генетически примыкающая, но не принадлежащая к битумам. Альгариты являются продуктом бактериальной переработки озокеритов и парафинистых нефтей. В условиях жаркого климата они имеют вид желтых, бурых или коричневых корочек на поверхности горных пород, которые набухают и частично растворяются в воде. В районах влажного климата альгариты представляют собой черную вязкую и практически полностью растворимую массу в воде. Элементный состав в процентах: углерод 39-48, водород 6,2-7,9, азот 2,6-7,6, сера 42-52, кислород 0; смол и асфальтенов не содержат. Возможно, разновидностью альгаритов является мумие.

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

1. Изучить коллекцию каустобиолитов угольного ряда, сделать макроскопическое описание физических свойств. Полученные результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Каустобиолит	Цвет	Цвет черты	Блеск	Твёрдость	Структура
1	2	3	4	5	6
Антрацит	Серовато-черный	Черная бархатистая	Яркий металлический	4	Однородная

Продолжение табл. 1

Текстура	Поведение в растворителе	Поведение при нагревании	Горение
7	8	9	10
Горизонтально-слоистая	Не растворяется	Не плавится	Горит с запахом

2. Изучить коллекцию и описание каустобиолитов битумного ряда. Свойства битумов занести в таблицу 2.

Таблица 2

Класс битумов	Исходное вещество	Типы процессов формирующие битум	Элементный состав, %		
			С	Н	О+S+N
1	2	3	4	5	6
Мальты	Нефти	Биохимическое и химическое окисление; испарение лёгких фракций нефти Нарушение равновесного состояния в коллоидной системе тяжёлой нефти	80-87	10-12	3-7

Продолжение табл. 2

Групповой состав, %				Консистенция	Поведение при нагревании	Растворимость в органических растворителях	Плотность, г/см ³
масла	смолы	асфальтены	карбоиды				
7	8	9	10	11	12	13	14
40-65	30-40	0,3-40	0	Вязко-жидкая, вязкая, иногда твердая	Кипит; легко плавится	Полная	0,95-1,05

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте условия образования каустобиолитов угольного ряда.
2. В чем заключается эволюция каустобиолитов угольного ряда?
3. В чём заключаются принципиальные отличия каустобиолитов угольного и нефтяного рядов?
4. Определите сущность процессов, ведущих к образованию битумов:
 - 1) гипергенного ряда;
 - 2) фазово-миграционного ряда;
 - 3) термально-метаморфического ряда;
5. Какие классы битумов образуются одновременно в разных генетических рядах?
6. Назовите причины образования одинаковых классов битумов в разных генетических рядах.
7. Охарактеризуйте следующие понятия: «гумификация», «углефикация», «карбонизация», «нафтиды», «нафтоиды», «природный битум», «битумоид».
8. Какие существуют аналитические типы битумоидов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология и геохимия нефти и газа: Учебник для вузов / А.А. Бакиров и др. - М.: Недра, 1993. - 288 с.
2. Основы геологии горючих ископаемых: Учебник для вузов / В.В. Семенович и др. - М.: Недра, 1987. - 397 с.
3. Пеньков В.Ф. Генетическая минералогия углеродистых веществ. – М.: Недра, 1996. – 224 с.
4. Словарь по геологии нефти и газа. - Л.: Недра, 1988. - 679 с.
5. Соколов Б.А., Старостин В.И. Флюидодинамические системы рудо- и нефтеобразования // Вестник Моск. ун-та. – 1998. - № 5. – С. 3-9.
6. Старостин В.И., Соколов Б.А. Флюидодинамические условия формирования металлогенических провинций и нефтегазоносных бассейнов // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – С. 195-197.