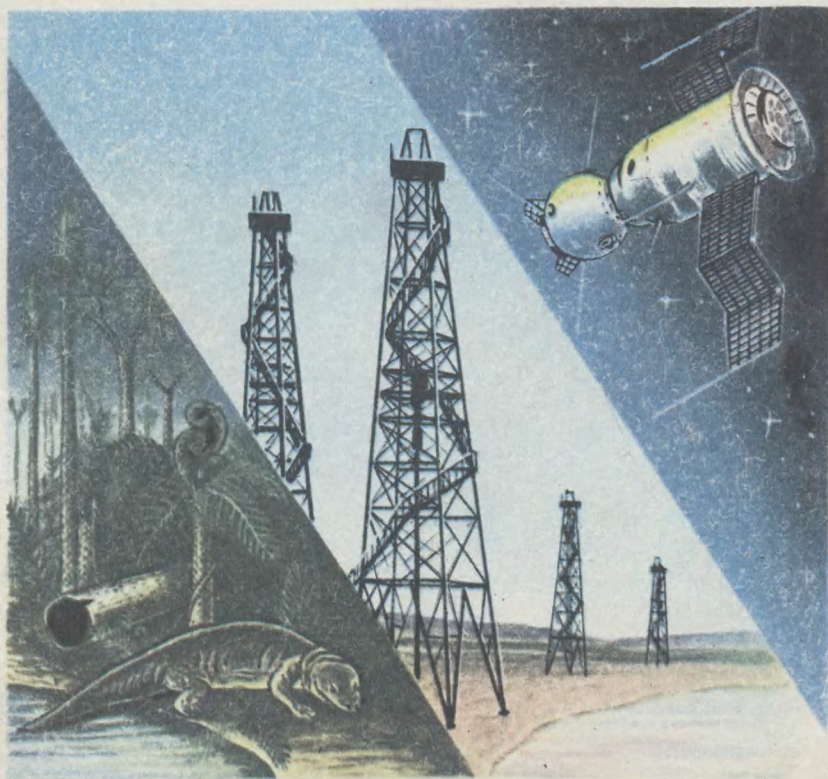


# МР И знаний

А.М.Табер

## Нефть – прошлое, настоящее, будущее





А.М.Табер

# Нефть – прошлое, настоящее, будущее

Книга для внеклассного чтения  
учащихся 10 классов средней школы

ББК 26.325.31  
Т12

Рецензенты.

доктор химических наук, профессор В. Г. Липович;  
учитель химии школы № 16 г. Мытищи Э. М. Заславская

**Табер А. М.**  
Т12 Нефть — прошлое, настоящее, будущее: Кн.  
для внеклас. чтения учащихся 10 кл. сред. шк. —  
М.: Просвещение, 1987. — 128 с.: ил. — (Мир  
знаний).

В книге рассказывается о свойствах, происхождении, способах добычи, переработки и использования одного из наиболее интересных полезных ископаемых — нефти. Нефть широко применяется в различных областях народного хозяйства. Значительное внимание автор уделяет вопросам рациональной добычи, использования нефти, поискам перспективных заменителей нефтепродуктов в народном хозяйстве. Соединения, получаемые на ее основе, входят в состав наиболее распространенных классов органической химии, многие из которых изучаются в школе. Обзор наиболее интересных аспектов проблемы, связанной с нефтью, завершается рассмотрением специфики работы геохимиков нефтяников, нефтехимиков и других специалистов.

Т 4306020000—758 —272—87  
193(03)—87

ББК 26.325.31

## ВВЕДЕНИЕ

**Н**ефть... Вероятно, трудно найти среди многоязычных народов Земли слово более понятное и емкое, чем это. За ним стоит мир машин и вещей, окружающих нас, надежды на лучшее будущее и боль утрат. В русский язык слово «нефть» вошло в конце XVII в.

*Нефть* — это природная смесь углеводородов с примесью сернистых, азотных и кислородных соединений. Она является таким же природным горючим ископаемым, как уголь. Отличается же она от других горючих ископаемых большим содержанием водорода и количеством теплоты, выделяющимся при ее горении.

История развития человеческого общества прошла два этапа развития производительных сил и вступает в третий. Первый из них позволил человеку взять под свой контроль производство продуктов питания и повысил выживаемость людей. Второй — дал качественно новую энергетическую базу, обусловив переход от мускульной силы к использованию машин. Основой такой энергетической базы стала нефть. Мы являемся свидетелями того, как человечество вступает в третий этап. Наука при этом становится производительной силой общества, но нефть по-прежнему будет играть решающую роль в структуре энергетической базы.

В настоящее время определились три основных направления использования нефти: получение энергетического сырья, получение материалов с заданными свойствами, производство химических и фармацевтических продуктов. Развитие многих отраслей промышленности и транспорта сейчас зависит от нефти. Все эти вопросы широко освещались на XXVII съезде КПСС.

Автор взял бы на себя сложную и неблагодарную задачу, если бы стал перечислять те сферы деятельности человека, где он встречается с нефтью или продуктами ее переработки. Мы рождаемся и живем в мире продуктов и вещей, полученных из нефти. В истории человечества были каменный и железный периоды. Как знать, может быть историки назовут нефтяным наш период, так же как будущий — термоядерным.

Нефть, вероятно, является одним из наиболее титулованных видов полезных ископаемых. Ее величают и «королевой энергетики», и «царицей плодородия». А ее королевский сан в органической химии не нуждается в дополнительной аттестации. Спутник нефти — горючий газ — именуют «голубым золотом», а саму нефть называют «черным золотом».

70-е годы нашего столетия знаменательны «всплеском» энергетического кризиса. Сочетание этих слов отражает ту ситуацию, когда спрос на энергетические ресурсы превышает их предложения. Объективной причиной к этому послужил прогноз об истощении промышленно доступных сырьевых запасов нефти. Следует отметить, что значительная доля вины в событиях 70-х годов лежит на международных нефтяных корпорациях, которые были заинтересованы в создании тревожной ситуации и на ее волне резко взвинтили цены на нефть.

Нефть создала не только новый уровень производительных сил общества, но и новую отрасль науки — нефтехимию, возникшую на стыке органической химии, химии нефти и физической химии. Эта область науки связана с конкретными практическими задачами.

Нефть не только дала толчок к развитию производительных сил общества, но и породила новые, негативные экологические проблемы.

В связи с изложенными проблемами автор при подготовке материалов этой книги счел необходимым привлечь внимание читателей не только к риторическому вопросу «что есть нефть», но и к той роли, которую играет этот вид полезных ископаемых в формировании социальной картины современного мира. Сама история нефти — это динамический калейдоскоп событий, имеющих свое прошлое, настоящее и будущее. Их познание — не только дань истории развития науки и техники, но и попытка понять, какими путями будет развиваться промышленность страны в будущем.

## ЧТО ЖЕ ТАКОЕ НЕФТЬ?

Если вам попадется в руки кусок каменного угля, то смело можете утверждать, что его свойства не отличаются от того же угля, залегающего глубоко под землей.

Нефть же, поднятая на поверхность, значительно отличается от той нефти, которая находится в залежи. Да и само представление о нефти в залежи неотделимо от ее спутников — природного газа, асфальтенов, битуминозной породы, воды и т.д.

Залежь нефти, образно говоря, можно представить как трехслойный пирог: верхняя часть — газовая шапка — подпирается пластом нефти, который, в свою очередь, лежит на пласте воды. Устойчивое состояние такой системы обеспечивает водонепроницаемость пород, которые образуют своеобразную покрывку, препятствующую истечению газа и нефти (рис. 1).

В формировании нефтяных залежей большую роль играет вода. Снизу они ограничиваются непроницаемыми для нефти, насыщенными водой породами. По мере извлечения нефти коллектор — своеобразный природный резервуар, сборник нефти — заполняется водой. Хотя вода и нефть представляют собой несмешивающиеся жидкости, в нефти содержится значительное количество связанной воды.

На стадии добычи нефти вода играет положительную роль, так она вытесняет нефть, но на стадии переработки нефти приходится прилагать немало усилий, чтобы освободиться от воды. Высокое давление и температура в залежи способствует тому, что количество

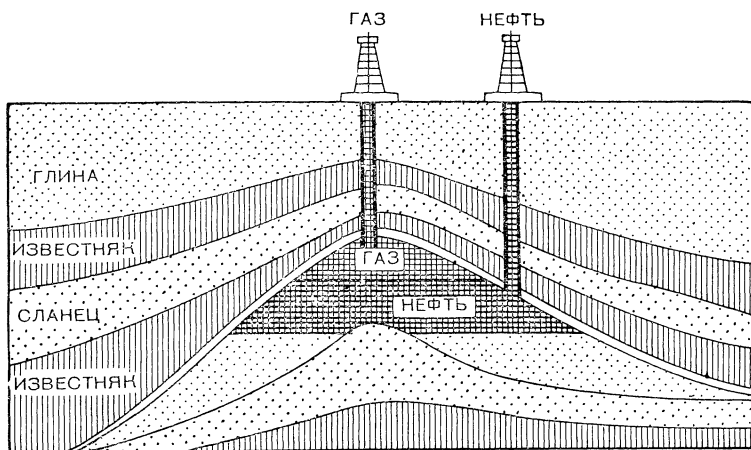


Рис. 1. Схематическое изображение нефтяной залежи.

воды в составе нефти превышает возможное при нормальных условиях на поверхности земли.

Велико количество растворенных газов в нефти, находящейся в залежи. Они сопутствуют в большей или меньшей степени любому месторождению нефти. В основном газы представлены углеводородами ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ), сероводородом и углекислым газом. В качестве небольших примесей могут присутствовать гелий, аргон. При повышенном давлении в залежи количество газа, растворенного в нефти, достаточно велико. Иногда оно доходит до  $200 \text{ м}^3/\text{т}$  нефти.

Вероятно, в ранний период истории человечества нефть была экзотическим «земным маслом», изредка встречающимся на поверхности или на небольших глубинах Земли. Сейчас же за нефтью приходится идти на большие глубины (рис. 2, 3 и 4), а для этого необходимы огромные затраты, умения и знания, а порой большой риск и отвага людей, занятых этим трудным делом.

Полон романтики и героизма труд первооткрывателя, но, пожалуй, не менее сложен труд буровика. Его работа связана с повседневным, казалось бы однообразным, трудом. День за днем проходят в обычных, стандартных операциях: крепление на трубе вращающегося конуса с нанесенными алмазными зернами — долота, установка трубы, подача внутрь ее глинистого раствора. По мере



погружения труба наращивается, а в случае выхода долота из строя вся ее связка извлекается наружу и операции повторяются. И так ежедневно, в томительном ожидании, когда же появится нефть. И нередко случаи, когда так и не удается достичь долгожданной цели. Да и сам процесс бурения сопряжен с риском неожиданного выброса газа, а это — почти неминуемый пожар. Иногда платформа с буровыми станками проваливается в образовавшиеся пустоты. Ведь сама буровая

вышка и другое оборудование весят многие десятки тонн. В процессе самого бурения буровые инструменты могут попасть в «объятия» породы, которая плотно облегает колонну или долото, и, чтобы извлечь их на поверхность, приходится прилагать невероятные усилия. Нефть из скважины по обсадным трубам под действием внутреннего давления поступает на поверхность Земли — это первый этап добычи нефти.

При значительном избыточном давлении в скважине нефть может поступать в виде фонтана. Фонтан нефти стал для многих символом успеха нефтедобытчиков. Но при взгляде на эту радующую всех картину

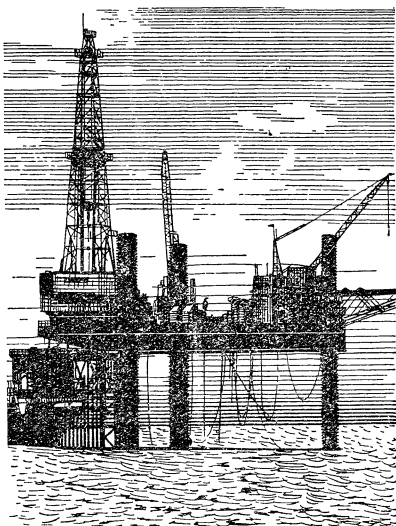


Рис. 2 Нефтяная платформа в море.

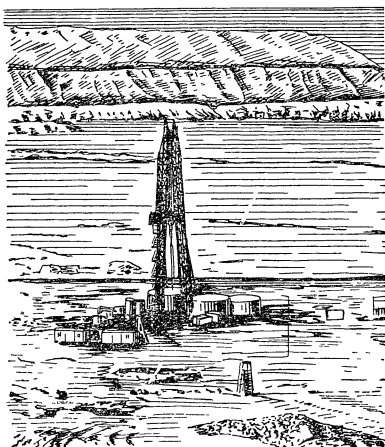


Рис. 3. Добыча нефти на полуострове Мангышлак.

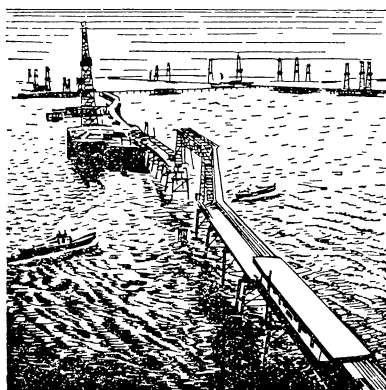


Рис. 4. Нефтяные камни Баку.

промысловики нефтедобытчики испытывают чувство опасности, так как фонтанирующая газом нефть была причиной многих аварий на скважинах. Фонтанирующая добыча нефти возможна лишь на самых первых порах работы, да и то на скважине, не подготовленной к появлению нефти. Фонтан нефти — это неукротимая сила природы, и задача нефтедобытчиков — укротить ее.

Но вот давление, под которым нефть находится в залежи, уравнилось с атмосферным, и приступают ко второму этапу добычи нефти — созданию искусственного повышенного давления в залежи. И все же залежь не отдает и половины того, что в ней есть. Ведь таким путем извлечено то, что скопилось в емкости ловушки-коллектора, а значительная часть нефти остается в порах пород в виде капель. По мере истощения залежи вязкость нефти возрастает, так как в первую очередь извлекается наиболее подвижная и низкокипящая ее часть. Многие из скважин становятся непродуктивными. Аналогичную ситуацию сейчас переживает нефтепромысел Тюмени. Через это прошли нефтяные районы Татарии, Поволжья, Азербайджана и Туркмении.

Выход из этого положения видится в создании в залежи условий, способствующих изменению физико-химических свойств нефти, например повышают температуру в залежи при нагнетании в пласт пара или создают контролируемые очаги пожара. При этом понижается вязкость нефти и увеличивается нефтеотдача. Такого же эффекта добиваются, нагнетая в пласт углекислый газ.

Большие надежды с повышением нефтеотдачи скважин нефтяники связывают с применением поверхностно-активных веществ. Эти добавки вводят в воду, закачиваемую в пласт. Они понижают поверхностное натяжение на границе нефть — вода. Нефть становится подвижной, отделяется по трубопроводу к поверхности.

По мнению ученых, третий этап эксплуатации скважин может быть осуществлен с помощью бактерий. Для этого специально выращенные бактерии будут вводиться в залежь, где они, воздействуя на нефть, могут достичь того же эффекта, что и поверхностно-активные вещества. Остановка пока за одним — не найден нужный тип бактерий.

Перспективным представляется использование для повышения нефтеотдачи полиакриламида и производных целлюлозы. Широкому применению этих реагентов препятствует их низкая термическая стабильность... и бактерии. Последние активно разлагают полимер и полисахариды. Кроме того, стоимость данных добавок пока высока.

Как мы видим, чтобы обеспечить нас «черным золотом», перед нефтедобытчиками стоят многие проблемы.

Нефть достигла поверхности, прошла этапы дегазации, в отстойниках была отделена вода. В итоге получилась маслянистая, опалесцирующая жидкость с характерным запахом. И эта нефть значительно отличается от той, что была в залежи.

Каждая нефть имеет свой неповторимый букет запахов. Запах нефти Апшерона нельзя спутать с запахом нефти Ухты. Нефть даже отдаленно не напоминает по запаху бензин или керосин, с которым у нас ассоциируется представление о ней. Аромат нефти придают сопутствующий ей сероводород, остатки растительных и животных организмов и т.п.

Каждая нефть имеет только ей присущий цвет: темно-зеленая нефть Кавказа, желтоватая нефть Сибири, розоватая нефть Белоруссии, абсолютно черная нефть Мангышлака.

Нефть легче воды, плотность ее может колебаться от 0,7 до 0,9 г/см<sup>3</sup>. Многокомпонентный и сложный состав нефти отражается в чрезвычайно больших диапазонах колебания ее средней относительной молекулярной массы.

Что такое нефть? На этот вопрос ответить гораздо проще, чем назвать полный спектр индивидуальных соединений, ее составляющих. Этот вид полезных ископаемых известен человечеству не одну сотню лет, но лишь часть веществ удалось выделить из нефти в чистом виде.

Нефть представляет сложную смесь органических соединений, содержащих кислород, серу и азот и другие элементы. Сочетание этих соединений в каждом типе нефтей различно. Поэтому и не так просто ответить на вопрос: из чего состоит нефть? Поиски ответа на него имеют многолетнюю историю и по своей напряженности и динамике событий не уступают любой детективной истории. «Следствие по делу индивидуальных компонентов нефти» сегодня ведется по апробированному годами сценарию:

1) образец нефти разделяют на группы веществ — фракции, близкие по свойствам и отличающиеся по типу и размеру молекул;

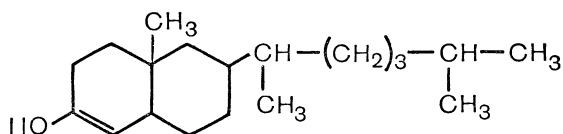
2) фракции далее разделяют на еще более узкие группы веществ, из которых выделяют индивидуальные вещества;

3) проводят анализ индивидуальных веществ.

Следует напомнить, что разделение сложных веществ на более простые было одним из основных достижений алхимии. Недаром один из трактатов Парацельса начинается со слов: «Теперь приступаем к высшему искусству — разделению веществ». А это искусство (перегонка с водяным паром) доступно сегодня школьнику. Технология разделения нефти методом ректификации на узкие фракции — тоже искусство, требующее навыка и специального оборудования.

Таким образом, главным «инструментом» анализа нефтей является разделение сложной смеси на составляющие. Этому предшествуют подготовительная операция по обезвоживанию нефти (удаление связанной воды) и обессоливание (удаление примесей минеральных солей). Далее определяют основные общие характеристики нефти: плотность, вязкость, среднюю относительную молекулярную массу, оптическую активность и элементный состав. О двух последних показателях стоит сказать несколько подробнее.

Отличительной особенностью нефти является ее оптическая активность. Это качество проявляется в том, что поляризованный луч света, проходя через слой отдельных фракций нефти, отклоняется либо вправо, либо влево. Большинство нефтей вращает плоскость поляризации вправо. Этим свойствам нефть обязана продуктам преобразования холестерина, содержащегося в живых организмах:



На причину проявления оптической активности нефти высказано две точки зрения: по одной — она вызвана продуктами жизнедеятельности организмов, по другой — является следствием синтеза этого сложного соединения в процессе генерации нефти из более простых молекул.

Элементный анализ показывает, что основными элементами нефти являются углерод (82—87%) и водород (11—15%). Остальные элементы (кислород, азот, сера) обычно составляют в сумме не более 10%, и только в тяжелых смолистых нефтях их содержание более значительно. Именно соотношение «углерод — водород» является отличительным признаком нефти от других видов горючих ископаемых.

Разработка совершенных методов разделения нефти на группы веществ, имеющих общие свойства, является одним из наиболее значительных вкладов отечественных ученых в науку о нефти. Ф. Ф. Бельштейн и А. А. Курбатов впервые на примере бакинских нефтей провели исследования бензиновых фракций. В. В. Марковников и его ученики разработали классические химические методы выделения и идентификации углеводородов.

Среди физических методов разделения нефти на составные части особое место занимает хроматография. В основе этого метода, предложенного русским ботаником М. С. Цветом в 1903 г., лежит избирательная (селективная) сорбция различных компонентов нефти на различных твердых веществах с развитой поверхностью — *адсорбентах*. В качестве адсорбентов может быть использован активированный уголь, глина, силикагель, пемза и т. д. Исследуемую смесь соединения вводят в колонку с адсорбентами. Продукты, проходя через колонку, сорбируются в определенной последовательности согласно прочности их связи с поверхностью адсорбента. Затем потоком элюэнта (в жидкостной хроматографии — это специально подобранный растворитель, в газовой — инертный газ) отдельные составные части сорбированного продукта вымываются — десорбируются — в той последовательности, в какой они осели на поверхности

носителя. Выходящие с колонки отдельные порции собирают и анализируют.

Спектральные методы идентификации компонентов нефти сегодня являются наиболее универсальными и точными. В их основу положена способность отдельных веществ поглощать электромагнитные колебания только определенной длины волны. В спектре поглощения индивидуального вещества имеются только ему присущие характерные полосы. Спектр поглощения каждого индивидуального вещества является его фотографией, которую нельзя ни с чем спутать. Задача исследователя и состоит в поисках фотографии двойника выделенного им соединения.

Первым шагом к выяснению состава нефти стало ее разделение на бензиновую, керосиновую, газойлевую, масляную фракции и остаток. Фракционирование проводят разгонкой нефти при атмосферном давлении при 200°С, а затем — в вакууме, чтобы избежать разложения высококипящих фракций.

Более четкая ректификация фракций, различающихся до 1°С температур кипения, проводится на специальных ректификационных колоннах с высокой разделительной способностью. Для выделения близки кипящих компонентов из узких фракций иногда прибегают к кристаллизации (вымораживанию) или к экстракции (селективному растворению одного из компонентов смеси в подходящем растворителе).

Составляющие нефть углеводороды принадлежат к различным рядам и отличаются друг от друга по составу и строению. Природные нефти и продукты их перегонки содержат парафиновые (метановые), циклические (насыщенные) и ароматические углеводороды. В незначительных количествах иногда встречаются ненасыщенные углеводороды. По характеру преобладания той или иной группы углеводородов нефти подразделяются на метановые, нафтеновые, ароматические. Возможны и смежные классы нефтей. Эту терминологию, принимаемую в нефтехимии, сегодня можно считать как дань истории формирования науки о нефти. Так, термин «нафтены», предложенный В. В. Марковниковым, объединяя насыщенные углеводороды циклического ряда, сам по себе не отражает строение этих соединений, их отличительные свойства.

Каков же состав нефтей различных месторождений? В нефтях Татарии, Западной Украины и Сибири находят-

ся преимущественно метановые углеводороды. Их содержание доходит до 50%. Нефти с высоким содержанием высококипящих насыщенных метановых углеводородов, которые при застывании образуют воскоподобную массу, называют еще парафинистыми. В составе нефтей Азербайджана преобладают ароматические углеводороды. Нефти Америки и Саудовской Аравии богаты циклическими углеводородами.

Углеводороды нефти выкипают в очень широком интервале температур и представлены большим числом примеров. Метановые углеводороды исчезают из фракций, кипящих при температуре более 50°C, моноциклические полиметилены — около 300—350°C, ароматические углеводороды присутствуют во всех высококипящих фракциях, полициклические полиметилены находятся во фракции, кипящей при температуре свыше 40°C.

Итак, пройдя сложный путь ректификации, выделяются если не индивидуальные, то близкие по свойствам компоненты. Далее используют более тонкие методы разделения и идентификации: хроматографию, элементный анализ и современные методы спектроскопии.

Понятие «метановые углеводороды» объединяет класс насыщенных углеводородов нефти, простейшим представителем которых является метан. Для членов этого класса характерна малая активность, что и подчеркивается их названием — парафиновые углеводороды (от лат. *parafinus* — обладающий малым сродством). В нефтях содержатся как *нормальные предельные углеводороды*, так и *изомеры*. В них найдены все изомеры пентана, гексана, гептана. Из 18 изомеров октана выделено 17, из 35 возможных изомеров нонана — 24. В нефтях в большинстве случаев содержатся малоразветвленные углеводороды. Углеводороды с четвертичным атомом практически отсутствуют.

Метановые (парафиновые) углеводороды нефти представлены широким спектром числа атомов углерода — от  $C_1$  до  $C_{40}$ . Первые пять соединений (от  $C_1$  до  $C_5$ ) в обычных условиях газообразны. Они в основном входят в природные или попутные газы, находясь в нефти в растворенном состоянии. Их содержание в нефти меняется и от температуры, и от давления. В их составе преобладает метан (до 70%). Иногда в них находятся значительные количества соединений серы.

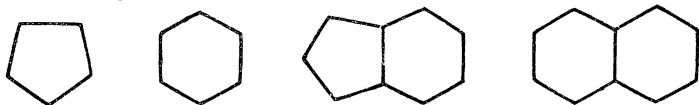
Наряду с газообразными и жидкими метановыми

углеводородами нефти содержат высококипящие ( $\sim 300^\circ\text{C}$ ) вещества, которые в обычных условиях бывают твердыми. Средняя относительная молекулярная масса их может быть близка к 500, что соответствует полимерам, содержащим 40 атомов С в цепи. Из твердых углеводородов нефти можно выделить три основных компонента — парафин, церезин и озокерит.

Парафин — белый полупрозрачный продукт с температурой плавления  $60^\circ\text{C}$ ; он содержит в основном смесь метановых углеводородов нормального строения. Церезин состоит преимущественно из слаборазветвленных изопарафинов; температура его плавления близка к  $80^\circ\text{C}$ . Озокерит представляет собой смесь высококипящих предельных углеводородов.

Метановые углеводороды с прямой цепью могут быть отделены от других соединений методом комплексообразования с мочевиной. Сущность его состоит в следующем. Молекулы мочевины образуют между собой неустойчивые соединения за счет водородных связей. При этом в структуре этого комплекса образуются полые каналы с диаметром 0,49 нм, что отвечает диаметру поперечного сечения нормального парафина. Сечения изопарафина и других углеводородов значительно больше, и они не могут заполнить эти каналы. Нормальные парафины, таким образом, оказываются включенными в структуру этой неустойчивой макромолекулы. Затем этот комплекс отделяют от других соединений, разрушают его горячей водой и получают нормальные парафины.

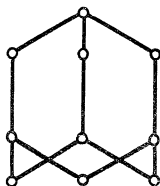
В составе некоторых нефтей находятся *нафтены*; заслуга их открытия принадлежит В. В. Марковникову. Нафтены, как мы уже на это обращали внимание, объединяют циклопарафиновые соединения. Это могут быть и моно- и полициклические соединения с общей формулой  $\text{C}_n \text{H}_{2n}$ ,  $\text{C}_n \text{H}_{2n-2}$  или  $\text{C}_n \text{H}_{2n-4}$ . Атомы углерода в них соединены простой ординарной связью в циклические структуры, содержащие чаще всего каркас из 5 и 6 углеродных атомов:



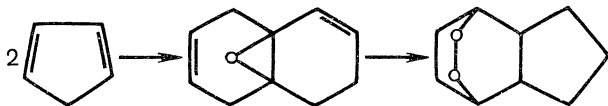
Обычно в нефтях может находиться до 80% циклопарафинов. Среди них один заслуживает особого внимания не только своей структурой, но и историей открытия.



В 1933 г. чешский химик С. Ланда выделил из нефти углеводород следующей структуры:



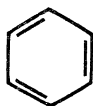
Кристаллическая решетка этого углеводорода напоминает алмаз, поэтому он и получил название адамантана (в пер. с греч. «адамант» — *алмаз*). Многочисленные попытки осуществить встречный синтез этого углеводорода долгое время не увенчивались успехом. Лишь четверть века спустя после открытия адамантана Шляйгер получил его изомеризацией тетрагидроциклопентадиена:



Нафтенy имеют более высокую температуру кипения и плавления, чем метановые углеводороды с тем же числом атомов углерода. Выделение индивидуальных нафтенов из фракций обычной перегонкой представляет более сложную задачу, чем выделение и разделение метановых углеводородов. Количественная оценка нафтенов в бензиновых фракциях проводится так называемым методом анилиновых точек. Определение этих точек основано на неодинаковой растворимости углеводородов в полярных растворителях. При обработке углеводородной фракции анилином сначала образуются два слоя. При нагревании смеси происходит смешение анилина и углеводородов. Температура их растворения и будет анилиновой точкой. Чем легче углеводород растворяется в анилине, тем ниже его анилиновая точка. Анилиновые точки возрастают при переходе от углеводородов ароматического ряда к нафтенам и от нафтенов к парафинам.

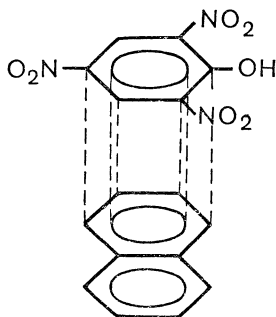
И наконец, перейдем к последней группе углеводородов в составе нефти — *ароматическим*. Их содержание в нефти может достигать до 35%. Ароматические углеводороды имеют более высокую температуру кипения, чем нафтеновые компоненты углеводородной части нефти.

Этот класс соединений особенно беден водородом и обладает более высокой термической устойчивостью. Ароматические углеводороды представлены в нефти моно- и полициклическими соединениями. Они, в отличие от нафтенов, содержат меньше водорода. В их цикле содержатся двойные ненасыщенные связи.



Бензолу и его гомологам присуще особое качество, которое придает ему чередующий характер двойных связей в кольце.

Чувствительной реакцией на присутствие полициклических ароматических углеводородов является комплексообразование с пикриновой кислотой. При добавлении к нефтяной ароматической фракции раствора пикриновой кислоты выпадают кристаллы желтого цвета:

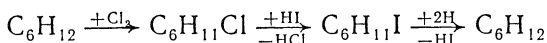


Образование комплекса происходит за счет донорно-акцепторного взаимодействия с участием  $\pi$ -электронов ароматического ядра.

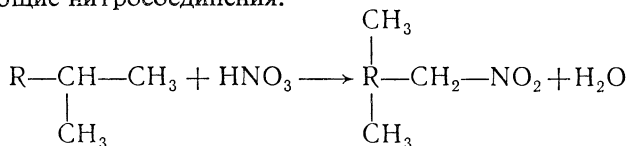
Такой беглый обзор основных групп углеводородной части нефти объясняется тем, что химические свойства этих соединений достаточно хорошо известны читателям из школьного курса химии. Вероятно, стоит задержаться на химических методах идентификации углеводородов нефти. Это позволит отметить основные химические свойства входящих в нее соединений и показать, как они используются для выяснения вопроса: «Из чего состоит нефть?»

Химические методы идентификации углеводородов нефти были впервые разработаны школой В. В. Марковникова. Приведем наиболее известные примеры.

**Хлорирование.** Метановые и циклические углеводороды в химическом отношении весьма инертны. Лишь при действии сильного окислителя, такого, как хлор, они образуют моногалогенозамещенные продукты присоединения:

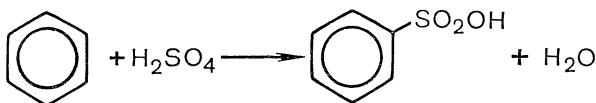


**Нитрование по Коновалову.** Изопарафины при взаимодействии с азотной кислотой образуют соответствующие нитросоединения:



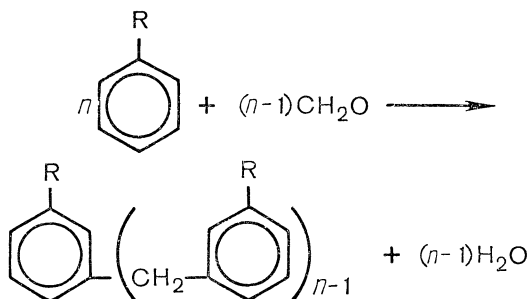
При этом реакция с третичным углеродным атомом протекает активнее.

**Сульфирование.** Ароматические углеводороды легко вступают в реакцию взаимодействия с серной кислотой:



Сульфирование нефтяных фракций применяют для извлечения ароматических углеводородов из фракций нефти.

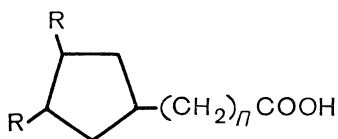
**Конденсация с формальдегидом.** Это очень чувствительная реакция на присутствие следов ароматических углеводородов. Появление желтой окраски раствора фракции говорит о присутствии ароматических углеводородов:



Обзор об углеводородной части нефти будет неполным, если не упомянуть о непредельных углеводородах линейного строения — этиленовых. Они в природных нефтях содержатся в крайне малых количествах. Их присутствие является скорее следствием превращений, претерпеваемых нефтью, нежели их генетической связью с ее происхождением.

Также невелико содержание в нефти кислородсодержащих соединений. Основное количество кислородсодержащих соединений нефти приходится на органические кислоты, фенолы.

Большинство кислот, встречающихся в нефтях, являются производными цикlopентана:



( $n$  от 1 до 5).

Это циклические одноосновные карбоновые кислоты. Но в нефтях обнаружены и бициклические соединения. Кроме того, в них могут встречаться предельные кислоты, например миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, арахисовая. В бакинской нефти присутствуют низкомолекулярные кислоты — изоамилуксусная, диэтилпропионовая. В румынской нефти найдены метилвалерьяновая и метилкапроновая кислоты.

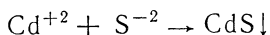
Фенолы в составе нефти встречаются крайне редко (фенол и крезолы), образуя в основном примесь к циклическим кислотам.

Из других гетероатомных соединений, содержащихся в нефти, следует отметить сернистые: неорганические соединения — сероводород и свободная сера, органические — меркаптаны, алифатические сульфиды, сульфоновые кислоты, эфиры серной кислоты. Следует отметить, что в составе нефти встречается группа серосодержащих веществ неизученного состава, объединенных под названием «остаточная сера».

Содержание сернистых соединений относительно высоко. Так, в ряде нефтей Узбекистана оно доходит до 6%, в нефтях Поволжья — до 4%. Они ухудшают качество нефти, снижают ее потребительскую стоимость. Поэтому при исследовании нефтей определяют прежде

всего общее содержание сернистых соединений в пересчете на серу. Наиболее распространенный метод, используемый для этой цели, основан на определении образующихся в процессе сгорания серосодержащих продуктов, которые поглощаются раствором карбоната натрия.

Более детальное исследование состава серосодержащих продуктов проводят, используя характерные реакции для различных групп соединений. Так, соли кадмия с сульфидами образуют желтый осадок:



Азот содержится в нефтепродуктах в незначительных количествах. Их извлекают из нефтей с помощью разбавленных соляной или серной кислот. Анализ на содержание индивидуальных соединений проводят путем получения производных (пикраты, хлорплатинаты и т.п.).

Азотсодержащие соединения находятся в нефти в виде гетероциклических соединений. Мы уже упоминали одно из азотсодержащих соединений нефти — производное пиррола — порфирин (с. 11). Продукты преобразования его придают нефти такое отличительное свойство, как оптическая активность.

Выявление индивидуальных компонентов нефти завершается анализом высококипящих остатков после отгонки всех остальных фракций нефти — *смол*, которые представляют сложную смесь высокомолекулярных продуктов. Их в нефти может быть довольно много — до 40%. Смолистые продукты из нефти выделяют экстракцией пентаном. При стоянии из раствора пентана выпадает один из компонентов смол — *асфальтен*. Это смесь твердых высокоплавких веществ черного цвета. Состав их детально не изучен. Оставшиеся в фильтрате нефтяные смолы и асфальтогеновые кислоты разделяются пропусканием через слой силикагеля. Нейтральные смолы близки по структуре асфальтоновым кислотам (вязкие, темно-бурого цвета). Основной структурной единицей в них является сложная молекула, содержащая серу и кислород.

Наряду с органическими соединениями в состав нефти входят *соли* различных неорганических соединений. Нефть извлекает их, проходя через различные слои породы. Извлеченные таким образом соединения хотя и являются микроэлементами в составе нефти, но играют значительную роль в характеристике зольного остатка после сжигания нефти. Содержание золы составляет

сотые доли процента, а на долю металлов в них приходится до 60%. Часто в состав зольного остатка входят такие рассеянные элементы, как никель, ванадий, вольфрам, уран.

Мы проследили сложный путь поиска ответа на вопрос: «Из чего же состоит нефть?» При этом было затрачено немало усилий и времени. Внешне это следствие носило стереотипный характер: дробление целого (нефти) на составные элементы, затем сопоставление их с известными продуктами. Их идентичность давала основание утверждать, что поиск увенчался успехом. В основе этого успеха лежат знания об индивидуальных свойствах компонентов нефти, опыт и интуиция исследователя.

Мы установили групповой состав нефти, разделили ее компоненты на близкие по свойствам группы, выяснили, из чего они состоят, и выявили, что нефть даже из одной залежи, но поднятая с разных глубин, отличается. Еще более разнится состав различных месторождений. Содержание в нефти тех или иных компонентов имеет случайный характер. Состав нефти может многое сказать и о путях ее перемещения под землей, и об условиях ее хранения в залежи, и о ее прошлом.

## ПРОШЛОЕ НЕФТИ

**И**стория нефти — не только хроника событий открытия и использования этого полезного ископаемого, но и перечень попыток человека понять природу ее происхождения.

Сейчас трудно назвать даты, когда люди впервые столкнулись с нефтью. Скорее, это было на самых первых шагах цивилизации Земли, когда методом проб и ошибок человек искал для себя полезные вещества. Вероятно, первое, что вызвало интерес к нефти, — это ее вяжущие свойства. Ее использовали как клей и как добавки к строительным материалам. В гробницах Ближнего Востока, в развалинах древних цивилизаций Америки находят украшения и различные конструкции, скрепленные «нефтяным цементом».

Плутарх в хронике завоеваний Александра Македонского описал, как воины этого полководца впервые увидели в Прикаспии нефть. Это была, по словам летописца, густая и жирная жидкость. Когда вычерпали поверхностный слой, из источника забила чистая и светлая струя, ни по запаху, ни по вкусу не отличавшаяся от оливкового масла. В этом «чуде» Александр Македонский увидел одно из величайших предзнаменований, когда-либо полученных им от божества.

Нефть в древнем мире была грозным оружием: подожженная нефть лилась на головы штурмующих крепостные стены, горящие стрелы, смоченные в нефти, летели в осажденные города. Кроме того, римские врачи изготавливали из нефти лечебные мази, осуществив ее первую перегонку.

Вероятно, с того дня, когда человек впервые столкнулся с нефтью, он стал ее использовать для освещения жилищ, для приготовления мазей; его заинтересовал вопрос, что же такое нефть и откуда она появилась. Прошли сотни лет, но на этот вопрос так и не найден ответ.

Наука прошла сложный и большой путь — от алхимии древнего мира до компьютеров и атомных реакторов сегодняшнего дня, но на происхождение нефти до сих пор нет единого взгляда. Сегодня актуальность решения данной проблемы еще более велика, чем раньше, так как это не только удовлетворение жажды познания окружающего нас мира, но и ключ к поиску одного из ценнейших видов полезных ископаемых.

Проблема происхождения нефти перекликается с нерешенными вопросами происхождения нашей планеты, жизни на Земле, которая имеет те же фактические и философские корни. Она привлекала интерес многих представителей различных наук, волновала ведущих химиков, микробиологов, геологов, астрономов, физиков и т.д. Попытки понять ее предпринимались и предпринимаются большими научными коллективами. Но происхождение нефти по-прежнему остается, как это принято говорить, одной из сокровеннейших тайн природы, тайной за семью печатями. Сегодня теоретические воззрения на эту проблему поляризовались в двух принципиально разных точках зрения — неорганической и органической теориях происхождения нефти. Мы не будем сейчас разбирать частности позиций, занимаемых различными учеными. Рассмотрим основные моменты и постараемся быть объективными. Это даст возможность вам, читатель, оценить свою позицию, и, как знать, может быть, ваша точка зрения окажется ближе к истине.

История формирования и становления обеих теорий связана с именами русских ученых. У истоков создания органической теории стояли М. В. Ломоносов и Н. Д. Зелинский, основные положения неорганической теории были сформулированы Д. И. Менделеевым. Прежде чем приступить к изложению основных позиций сторонников этих точек зрения, стоит вкратце вспомнить о геологическом строении нашей планеты. Ведь нефть — это продукт планетарной деятельности, и его нельзя рассматривать вне строения и истории Земли.

Поверхность Земли с большим приближением может



быть представлена в виде эллипсоида, вращающегося вокруг короткой полярной оси. Отношение полярного радиуса Земли к экваториальному близко к единице. Средний радиус Земли принят равным 6371,221 км. Геофизики условно делят земной шар на несколько концентрических сфер: газовую оболочку; земную кору, мощность которой варьирует от 10 до 20 км под океаном, от 25 до 60 км на суше; верхнюю мантию до глубины около 950 км; нижнюю мантию до глубины 2900 км; внешнее ядро с диаметром около 7000 км и внутреннее — с диаметром 3000 км (рис. 5). Для наглядного представления соотношений между слоями Земли вообразим себе модель земного шара в масштабе 1:1 000 000. Диаметр такого шара будет 12,74 км. Толщина земной коры окажется около 30 мм, осадочный слой — 5 мм, а максимальная глубина океана — 10 мм, мощность же мантии составит 3 м.

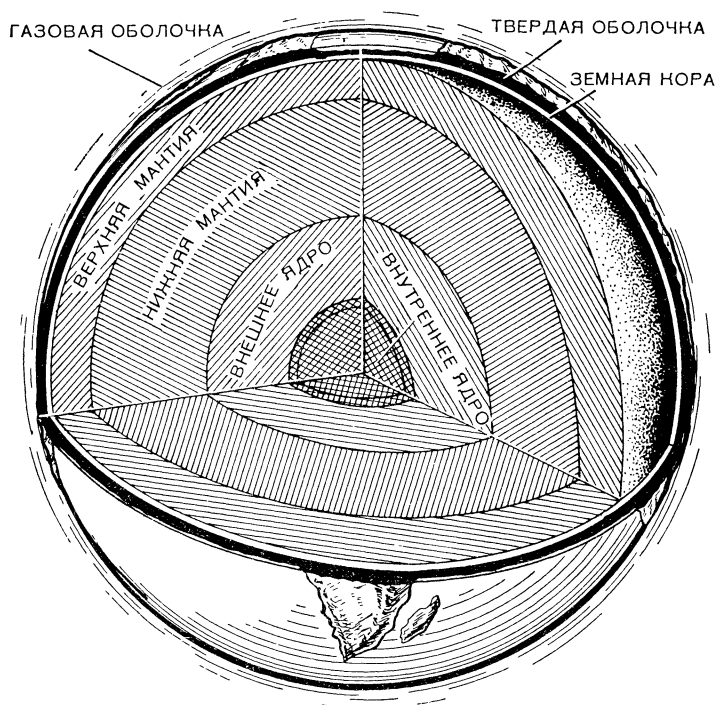


Рис. 5. Строение Земли.

Промышленно доступные запасы нефти локализованы в осадочном слое, а он, как мы видим, по модели представляет мизерную долю всей Земли. Само название слоя говорит о том, что он формировался за счет погребенных остатков верхних пород.

Большинство известных месторождений нефти приурочено к выпуклым изгибам осадочных пород — антиклинальным складкам. В этих складках образуются природные резервуары — коллекторы, где скапливается нефть и ее спутники, просачивавшиеся сквозь пористую породу осадочного слоя. Глубина залегания осадочных пород сильно варьирует от 2—3 км в платформенных областях и до 12 км в континентальных впадинах. Осадочные породы отличаются в значительной мере пористостью и обладают высокой проницаемостью для жидкостей и газа. Они отлагались в пласты в хронологической последовательности, захороняя окаменелые остатки древних животных и растений. На основании этого выделяют хронологические эры, характерные для различных форм жизни: палеозой, мезозой и кайнозой, отличающиеся между собой формами беспозвоночных и пресмыкающихся (рис. 6). Палеонтологические шкалы, т. е. общая продолжительность осадконакопления, охватывают приблизительно 500 млн. лет, т. е. около 10% истории Земли (рис. 7).

Давление жидкостей и газов, залегающих в осадочном слое, обычно равняется гидростатическому давлению столба воды от уровня поверхности Земли. В закрытых же залежах пластовое давление выше гидростатического и приближается к геостатическому. С ростом глубины увеличивается плотность пород и растет давление в залежах. С ростом глубины растет и температура (рис. 8).

Температура земной поверхности изменяется в широких пределах — от 0 до +80°C. Колебания температуры быстро затухают с глубиной. Суточные колебания температуры практически исчезают на глубине 1 м, а годовые — на 15—20 м. Эту глубину называют нейтральным температурным слоем. Ниже его температура в земной коре нарастает непрерывно — на каждые 30 км на 1°C. Прямые измерения на больших глубинах отсутствуют, поэтому геологи полагаются на расчетные методы, обоснованные двумя подходами к происхождению Земли — «холодным» и «горячим».

Продолжительное время в научных кругах бытовала точка зрения о формировании Земли и других планет из

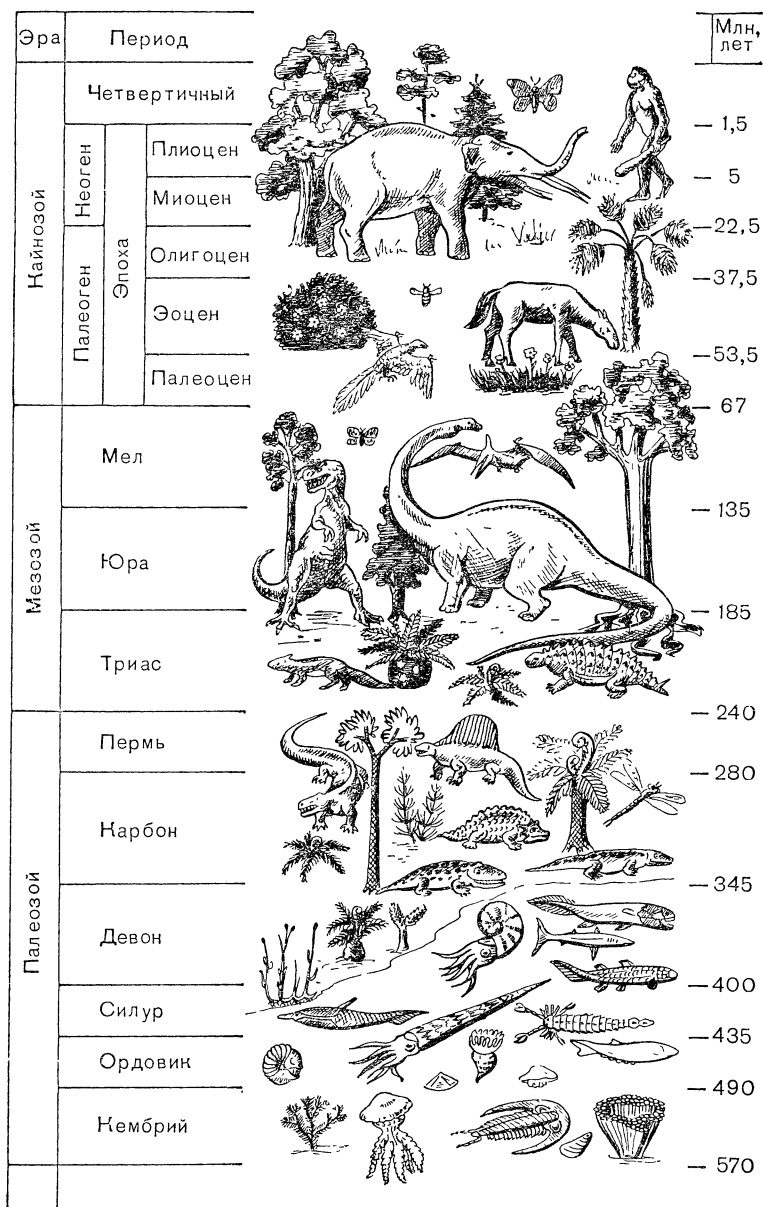


Рис. 6. Геохронологическая таблица.



Рис. 7. Каменноугольный пейзаж и осадконакопление.

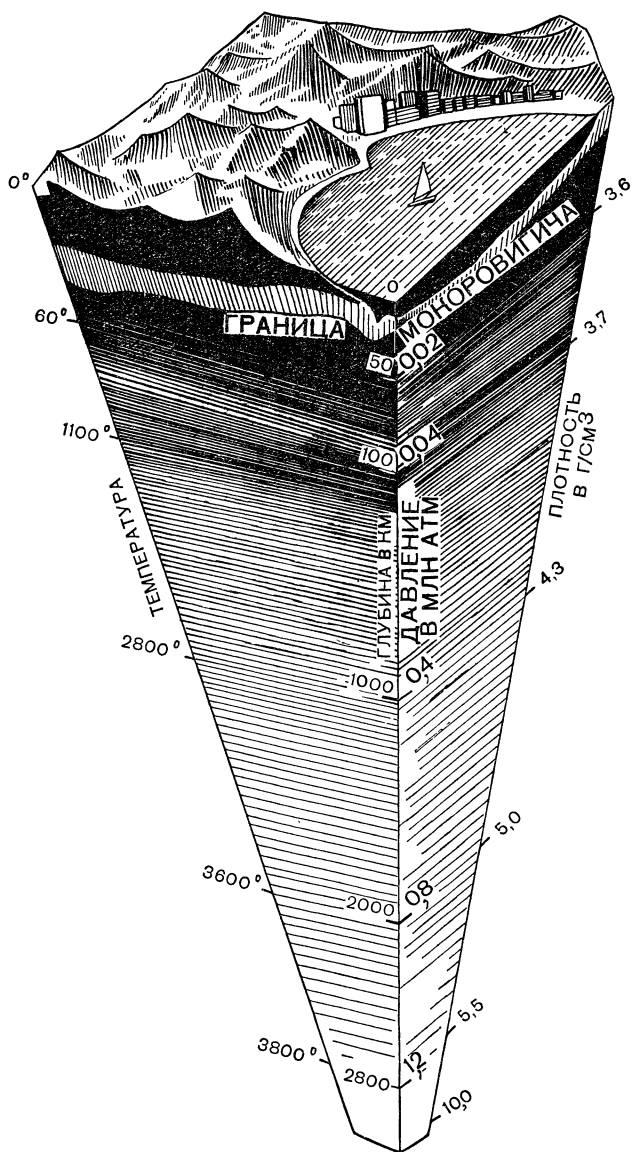


Рис. 8. Схематическое изображение нарастания температуры и давления с глубиной погружения в недра Земли.

раскаленных сгустков. Сейчас современные космогонические гипотезы единодушны в том, что планеты образовались из холодного газового облака, некогда окружавшего Солнце. Одни исследователи (О. Ю. Шмидт и др.) полагают, что это происходило в результате роста рассеянных первоначально холодных «зародышей», вокруг которых аккумулировалось протопланетное вещество. Другие считали, что современные планеты образовались за счет частей распавшихся крупных раскаленных фрагментов протопланетного облака, которые подвергались сжатию в прочную структуру.

В настоящее время большинство накопленных фактов говорит в пользу образования планет путем аккумуляции протопланетного вещества. Таким образом, мы сегодня вправе считать, исходя из таких точек зрения, что различен должен быть и подход к вопросу формирования теплового поля планеты. Если стать на позицию «холодного» начала Земли, то следует говорить либо об очаге генерации теплоты в недрах планеты, либо о достаточно высоком энергетическом состоянии исходного вещества. Действительно, когда мы исходим из «холодного» начала Земли, то вкладываем в эти слова не абсолютное значение, а относительное. Ведь планетарное облако имело температуру свыше многих десятков тысяч градусов, а температура в «каких-то»  $1000^{\circ}\text{C}$ , при которой могла происходить аккумуляция рассеянного вещества, действительно «холодная».

Если Земля формировалась в горячем состоянии, то она постепенно остывала от поверхности к центру; если же Земля образовалась в итоге наращивания холодных частиц, она должна была разогреваться за счет внутреннего источника теплоты.

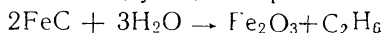
Как бы ни были спорны точки зрения на характер распределения температур в земной коре, большинство сходится к следующим распределениям глубинных температур:

$h$ , км	$t$ , $^{\circ}\text{C}$	$h$ , км	$t$ , $^{\circ}\text{C}$
4	130	100	900
8	300	140	110
38	500	200	1300

Нефть — продукт «жизнедеятельности» Земли в прошлом. Она должна быть связана либо с молодостью планеты, либо с ее зрелыми годами, т. е. это могло произойти либо на стадии создания планеты, либо на последующих этапах.

Первоначальное предположение о неорганическом происхождении нефти было высказано в конце прошлого столетия Д. И. Менделеевым, который рассматривал образование нефтяных углеводородов как результат взаимодействия воды с карбидами металлов, и В. Д. Соколовым, который указал на космическое происхождение нефти.

По мнению Д. И. Менделеева углеводороды нефти могли образоваться следующим образом:



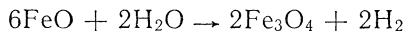
Но откуда же могло появиться столь значительное количество карбида железа? Ведь это нестойкое соединение, и в природных условиях высока вероятность его окисления. Образование карбида железа могло произойти на определенном этапе охлаждения Земли в интервале 1800—1900°C. При температуре 1000—1500°C карбид железа взаимодействует с парами воды, что приводит к образованию углеводородов. Но в этих условиях углеводороды нестойки и распадаются на водород и углерод, т. е. получается система: Fe, H<sub>2</sub>, C, CO, CO<sub>2</sub>. При более низких температурах эта система вновь трансформируется в карбид железа, который в более мягких условиях с водой генерирует углеводороды. Последние в газообразном состоянии поднимаются к поверхности, где при охлаждении и собираются в пористой породе осадочного слоя в залежь.

Процесс образования залежей карбида железа может быть представлен и более простой схемой, при которой железо взаимодействует с графитом при высоких температурах и недостатке кислорода. Как известно, имеется несколько типов карбидов железа (FeC, Fe<sub>2</sub>C, Fe<sub>3</sub>C и т. д.), которые могут быть источниками образования углеводородов.

В состав газовой смеси, образующейся при разложении карбидов, входят оксид углерода (II) и водород. И в природном горючем газе имеются водород и оксид углерода (II); в газах вулканического происхождения также отмечено их присутствие.

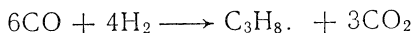
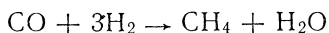
Водород мог получиться при взаимодействии оксидов

железа, рассеянных в значительном количестве в породах, с водой:

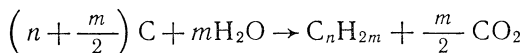


Н. Д. Зелинский полагал, что водород выделяется при действии  $\gamma$ -излучения на воду.

Как известно, синтез углеводородов при взаимодействии углерода (II) и водорода рассматривается как промышленный метод получения углеводородов:



Итак, и этот путь синтеза углеводородов в принципе возможен в глубинах Земли. Но можно представить еще более простую схему неорганического синтеза углеводородов:



Приведенные схемы синтеза углеводородов из неорганического материала по своей сути не могут вызывать возражений, хотя их осуществление требует либо наличия специальных катализаторов, либо достаточно высоких температур и давлений. В последнем случае сохранность углеводородов от термического разложения обеспечивается миграцией в холодные слои осадочного слоя. Таким образом, неорганическое происхождение нефти объясняется исходным материалом, которым глубинные слои Земли должны располагать в избытке, а условие образования залежей нефти — поступлением нефти в коллектор. Ими могут быть глубинные разломы.

Космическое неорганическое происхождение нефти раскрывается в работах В. Д. Соколова, который полагал, что углеводороды нефти образовались из рассеянных неорганических компонентов в космическом пространстве и попали в состав земного вещества на стадии формирования нашей планеты. Эта точка зрения отвечает «холодному» начальному состоянию земли. Возможными аргументами в пользу космического прошлого нефти могут быть данные астрофизики о наличии углеводородсодержащих радикалов на звездах и данные геохимических исследований органических соединений в метеоритах.

Присутствие углеводородсодержащих веществ в неземном пространстве установлено спектроскопически-



ми наблюдениями. По интенсивности полос поглощения удалось не только качественно, но и количественно оценить наличие тех или иных веществ и в околоземном пространстве, и за пределами Солнечной системы.

В областях межзвездного пространства температура достигает порядка  $10\,000^{\circ}\text{C}$ . При этих условиях возможно существование не молекул, а только радикалов:  $\text{CH}$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{NH}$ , что и зафиксировано приборами. В газовых туманностях температура почти земная — ниже  $1000^{\circ}\text{C}$ , где углеводороды вполне вероятны, хотя фактического подтверждения пока нет.

Спектроскопические наблюдения показали, что в атмосфере Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна имеются метан и аммиак. Косвенные данные говорят, что планеты Уран и Нептун целиком состоят из метана, аммиака, углекислого газа. Не исключено и присутствие более сложных молекул, в составе которых находятся углерод, водород, азот и кислород.

В головах и хвостах комет обнаружили радикалы, куда входят те же элементы. Космическое пространство содержит в достаточном количестве эти элементы, которые либо под воздействием высоких температур, либо под действием радиоактивного излучения образуют радикалы. При снижении температуры радикалы соединяются в молекулы, что, вероятно, и происходит в космосе.

Астрофизические наблюдения и прямые космические исследования показали, что на планетах земной группы (Венера, Марс, Луна) отсутствуют углеводородсодержащие соединения. Автору довелось быть свидетелем, с каким нетерпением и вниманием ожидали участники Международного симпозиума о происхождении нефти результатов полета станции Венера-1. Ведь если бы на поверхности или в атмосфере планеты были найдены углеводороды, то неоспоримость доводов сторонников неорганического происхождения нефти была бы очевидна.

Исследования метеоритов, т.е. обломков тел, находящихся на границе планет земной группы с зоной планет-гигантов, показали присутствие в них органических соединений: углеводородов, аминокислот, гетероциклических соединений. Следует отметить одну особенность выделенных из метеоритного вещества парафиновых углеводородов: они состоят в основном из нормальных углеводородов. Своего рода сенсацией явилось открытие у углеводородов метеоритного происхождения

оптической активности. Приведенные данные, казалось бы, говорили в пользу возможного образования углеводородов Земли из соединений, содержащихся в составе обломков родительских космических тел. Это органическое вещество в недрах Земли могло претерпеть изменения, превратившие его в нефть.

Мы рассмотрели лишь основные точки зрения на неорганическое прошлое нефти. В научной литературе излагаются видоизмененные частности, но основы этой теории те же. В 1936 г. Н. Д. Зелинский отметил, что химику легче объяснить образование нефти из неорганического материала. Это, действительно, так. Но нужно иметь в виду, что процесс образования нефти, как и все глобальные процессы, является проявлением природных явлений, которые нельзя оценить однозначно.

Одним из наиболее сложных природных процессов является превращение органического вещества — продукта жизнедеятельности флоры и фауны, которое завершает свой путь преобразования погребенным либо в водах, либо в осадочных породах.

Остатки различных организмов, продукты их жизнедеятельности состоят из белков, углеводов, жиров и т.д. Углеводороды же встречаются крайне редко и в незначительных количествах. По мере погружения осадков общая направленность процессов преобразования органического вещества состоит в накоплении веществ, устойчивых к действию бактерий. Активная деятельность микроорганизмов проявляется в интенсификации биохимических процессов и усреднении состава органического вещества осадков, которое и может явиться исходным материалом образования нефти. Все это является основным положением органической теории происхождения нефти. Одним из ее основателей считается М. В. Ломоносов. Значительный вклад в ее становление внесли Н. Д. Зелинский и И. М. Губкин.

Основные процессы преобразования погребенного в осадочных породах органического вещества происходит после погружения (либо в процессе погружения) на значительные глубины, где под воздействием теплоты, давления и каталитического действия горных пород органическое вещество превращается в углеводороды нефти. Поэтому-то и сам процесс преобразования рассеянного органического вещества в этих условиях принято называть *термокаталитическим*.

Приведенная схема преобразования органического вещества при его погружении может быть представлена следующими этапами:

1) бактериологический гидролиз клетчатки, белков, жиров;

2) термокаталитические преобразования жирных кислот, спиртов, кетонов и т. д. в углеводороды.

Горные породы, представленные в своем большинстве алюмосиликатами, могут ускорять реакции циклизации, дегидратации, гидрирования и др. Так, продукты, содержащиеся в хвойных растениях, при контакте с активизированной глиной, образуют углеводороды. Н. Д. Зелинский выполнил целый комплекс исследовательских работ по превращению холестерина, жирных кислот в присутствии хлорида алюминия. Единственными продуктами этих преобразований были углеводороды.

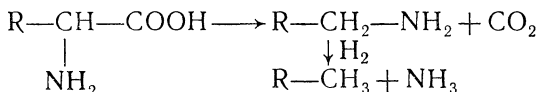
Была предложена следующая схема последовательных преобразований исходного органического вещества осадочных пород в углеводороды нефти:

1. Исходное органическое вещество данных осадков — сапропель  $C_{12}H_{18}O_6$  — теряет воду и оксид углерода (IV), переходя в соединение, обедненное кислородом.

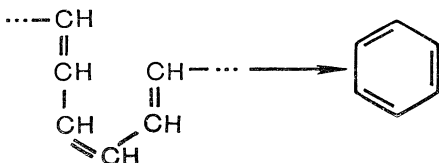
2. Полная потеря кислорода в результате декарбоксилирования приводит к образованию углеводорода.

Вот это последнее вещество должно стать исходным продуктом для получения нефти. Погребенное вещество не может непосредственно превратиться в углеводороды. Для этого ему необходимо пройти длинный путь, чтобы сформировалась нефть.

Источником образования нормальных углеводородов и их изомеров могут быть аминокислоты — структурные элементы белка:



Источником ароматических углеводородов могли служить ненасыщенные карбоновые кислоты, имеющие длинные цепи с чередующимися двойными связями:



Из клетчатки синтез углеводов, вероятно, осуществлялся за счет реакций декарбоксилирования и восстановления.

Большую роль в процессах образования углеводов играет реакция гидрогенизации. Гидрогенизация кислот, различных жиров, клетчатки приводит к образованию смеси углеводов.

Таким образом, экспериментальные данные и природный фактический материал говорят о принципиальной возможности синтеза нефтяных углеводов из органического вещества продуктов жизнедеятельности.

В заключение обзора основных положений взгляда на прошлое нефти следует остановиться на одном факте — изотопном составе углеводов нефти. Содержание стабильных изотопов  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$  в различных природных объектах характеризуется отношением  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ . Общая картина отношения изотопов в нефти и растительном мире почти идентична. Это может говорить в пользу органического прошлого нефти.

Таковы основные факты, которыми оперируют сторонники органического происхождения нефти. Мы оставили в стороне чисто геологические аспекты обеих позиций, так как это имеет специальный характер и выходит за рамки описания основных химических посылок теорий. Как мы видим, и та, и другая точка зрения располагают, казалось бы, неоспоримыми аргументами. Состав нефтей, логика преобразования продуктов жизнедеятельности говорят в пользу органического происхождения. Размещение же нефтяных месторождений и их приуроченность к разломам легче объяснить с позиций неорганического происхождения.

Все крупнейшие месторождения нефти находятся в породах с хорошими вмещающими свойствами, а нефтегазоносные районы расположены вблизи крупных глубинных разломов. Так на что же ориентировать поиск? На глубинные разломы — это отвечает положениям неорганического прошлого нефти, на осадочные породы — это совпадает со взглядами на органическое происхождение нефти?

В литературе часто встречаются слова «теория происхождения нефти». Приведенные данные дают нам право говорить о гипотезе, а не о завершенной теории. Спор ведь еще не окончен, и как знать, сможем ли мы стать свидетелями его завершения. Трудно поставить точку и

быть категоричным в оценке позиций спорящих, ведь предмет спора отдален от нас на миллионы лет и на сотни километров земных глубин. И все это доносит до нас лишь последствия событий, но не их причину. В Древней Греции на центральной площади Афин стояли большие солнечные часы. Скороходы определяли по ним время, а потом бежали по городу и сообщали его за мелкую монету. И чем дальше скороход удалялся от часов, тем меньше была вера его сообщениям. Не окажемся ли мы в этом споре в роли скорохода, пытаясь реконструировать события, отмеренные масштабами геологического времени?

Практика поиска нефти сделала большие успехи. И они в своей основе получены без теоретического прогноза о вероятных зонах генерации нефти. Сложилась в известной степени парадоксальная ситуация: нефтяники-поисковики не располагают обоснованными научными прогнозами, где и как образовалась нефть. Поиск нефти основан на том, где, в каких местах существуют благоприятные условия для формирования ловушек нефти — коллекторов. А ведь зная причины образования, можно вести направленный поиск. За постановкой вопроса — откуда же пошла нефть — стоят конкретные практические дела — где искать нефть. Поэтому-то продолжают спорить ученые о прошлом нефти, скрытом толщей земной коры и завесой миллионов лет.

## ПЕРВЫЙ ШАГ НЕФТИ НА ПУТИ К НЕФТЕПРОДУКТАМ

**Н**ефть, поднятая на поверхность, еще не тот продукт, который нам нужен. Она лишь сырой материал для последующих преобразований. Поэтому-то добытая нефть и называется **сырой**. Нас интересует, в конечном итоге, не сама добытая нефть, а продукты, полученные из нее. Сырая нефть должна пройти сложный путь, прежде чем стать *товарной* нефтью, а затем нужным нам продуктом.

Первым препятствием для превращения сырой нефти в товарный продукт является вода. Какие бы усилия ни предпринимались по отделению остаточных пластовых вод на нефтепромыслах, связанная или остаточная вода в нефти остается. А следовательно, в нефть попадают растворенные минеральные соли. Наличие солей в составе нефти ведет к коррозии аппаратуры и трубопроводов, отражается на эффективности работы реакторов.

Нефть с водой образует устойчивую эмульсию «вода в нефти», которую можно разрушить поверхностно-активными веществами — деэмульгаторами — при высокой температуре на специальных установках ЭЛОУ. Сущность работы этих установок состоит в следующем: нефть тщательно перемешивают с водным раствором деэмульгатора, затем образовавшуюся эмульсию подвергают воздействию электрического поля. При такой обработке эмульсия разрушается, и при отстае вода и растворенные в ней соли отделяются от нефти. После получения товарной нефти приступают к основной операции превращения нефти в нефтепродукты — разделению ее на отдельные фракции. Эта операция сродни той,

которой пользуются при анализе нефти. Основным продуктом нефти являются углеводороды, а их различие в свойствах и определяет сферу потребления. Поэтому, если при анализе нефти перегонка была инструментом для целей разделения компонентов по их химическим свойствам, то при нефтепереработке исходят из потребительских свойств. Эти два вида перегонки отличаются не только по своей цели, но и по технологии исполнения.

Основой любой установки для перегонки нефти является два конструктивных элемента: куб — емкость для нагревания жидкости и колонна — аппарат для разделения ее на фракции. Если работа куба колонны не нуждается в пояснениях, то о работе колонны нужно рассказать подробнее.

Название колонны определяется ее внешним видом (рис. 9). Колонна укреплена в металлической эстакаде,

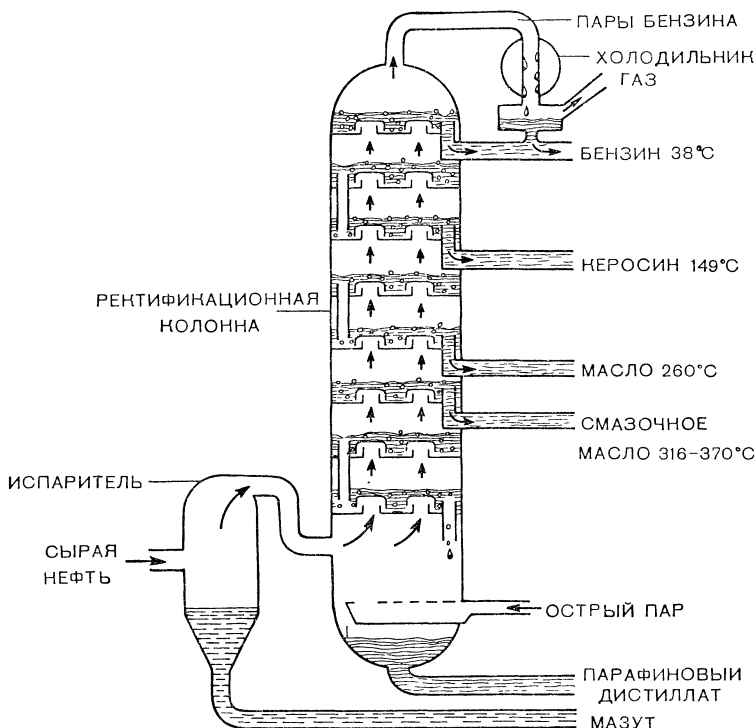


Рис. 9 Схема ректификационной колонны.

высота которой достигает 20—30 м. Внутренность колонны разделена на диски с отверстием посередине, которое закрыто колпаками с зазорами по краю. Каждая тарелка имеет свой трубопровод для подачи или съема отдельных фракций нефти. Нагретую нефть вместе с водяным паром подают в нижнюю часть колонны. Пар поднимает нагретую нефть вверх по колонне. Низкокипящие ее фракции и газ поднимаются на самые высокие этажи колонны. Температура охлаждения колпаков нижних этажей высока для них, и они, достигнув очередной тарелки, не конденсируются в жидкость, а через боковые отверстия вновь устремляются вверх, пока не окажутся под тем колпаком, где температура достаточно низка для их осаждения. В этом состоит принцип работы ректификационной колонны.

Разделение нефти возгонкой с паром — начальный процесс ее переработки. Попав в установки первичной перегонки, нефть только начинает путешествие по заводским трубопроводам, а длина всех нефтяных магистралей нефтеперерабатывающего завода составляет десятки километров. Переработка нефти, по сути дела, начинается только после перегонки. Полученные бензины, керосины, газойли — это еще не продукты, а лишь фракции нефти (см. табл.). Гореть они будут, но не приведут в движение автомобили, самолеты, тракторы.

*Газообразные продукты.* Это первая фракция отгона. Представлена она преимущественно пропаном и метаном, которые используются как топливо.

*Петролейный эфир.* Он состоит из смеси пентанов, гексанов, гептанов и широко используется как растворитель в пищевой и лакокрасочной промышленности.

*Бензин.* Этот бензин называется бензином прямой гонки. Он состоит преимущественно из предельных, циклических и ароматических углеводородов. Бензин прямой гонки используют как сырье для получения низших углеводородов. Нужные качества топлива бензин приобретает при введении в смесь углеводородов соответствующих добавок и последующей переработке.

*Керосин.* Он представляет собой смесь насыщенных и ненасыщенных углеводородов. В течение многих лет керосин использовался для освещения или подвергался крекированию для получения бензина. В последнее время керосин служит топливом для реактивных двигателей.

*Газойль и мазут.* Само название показывает, что эту



# Фракции, получаемые при перегонке нефти

Фракция	Содержание, %	Число атомов углерода в молекуле	Интервал температур кипения, °C	Применение
Газы	2	$C_1—C_5$	0	Топливо
Петро- лейный эфир	2	$C_5—C_7$	30—110	Растворители
Бензин	32	$C_6—C_{12}$	30—200	Моторное топливо, получение олефинов
Керосин	18	$C_{12}—C_{15}$	175—275	Дизельное и реактивное топливо
Газойль (тяжелое дизельное топливо)	20	$C_{15}—C_{19}$	250—400	Горячее
Смазоч- ные масла	—	$C_{19}$	300	Смазочные средства, асфальт

фракцию применяли для обогащения водяного газа при употреблении его в качестве топлива. Мазут используется в котельных установках, работающих на жидком топливе.

**Смазочные масла.** Эта фракция может быть разделена путем фракционирования на масла, отличающиеся между собой вязкостью. Вязкость масел зависит от структуры входящих во фракцию углеводородов. Смазки нашли широкое применение в различных областях техники для уменьшения трения механических частей, для предохранения металла от коррозии. К смазкам добавляют специальные вещества — присадки, обеспечивающие им нужную сферу использования.

**Кубовый остаток.** Остаток после перегонки нефти состоит из углеводородов асфальтового или парафинового типа. Из кубового остатка получают петролатум, обычно называемый вазелином. Кубовый остаток дает асфальт, который используют как связующий материал при изготовлении дорожных и изоляционных покрытий.

Таковы продукты первичной переработки нефти, но это еще не продукты, ради которых и добывают нефть, и так дорожат ею. Прежде чем они будут получены, фракции перегонки нефти пройдут сложный путь, указанный нефтехимией.

## СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ НЕФТИ

**О**сновы первичной переработки нефти пришли в сегодняшний день из далекого прошлого, когда нефть была еще диковинкой. Последующие маршруты превращения углеводородов нефти намечены нефтехимией, основной задачей которой является изучение и разработка процессов получения продуктов, необходимых народному хозяйству, из углеводородов нефти. Последние достижения многих наук воплотились в нефтехимии, которая и определяет судьбу нефти (рис. 10 и 11).

В создании многостадийных процессов переработки нефти действует строгий закон последовательных простых операций, образующих сложную картину маршрутов превращений нефти (рис. 12).

Одним из ключевых процессов в нефтехимии является пиролиз — источник получения ненасыщенных углеводородов из углеводородного сырья.

Ненасыщенные углеводороды не содержатся в составе нефти. Этот круг соединений объединяют по одному общему признаку — наличию ненасыщенной двойной связи. Атомы углерода в них связаны достаточно прочно этой связью, расстояние между ними короче, чем между атомами в насыщенных углеводородах.

Если вам доведется побывать на современном нефтехимическом заводе, то цех пиролиза вы отличите по бушующему огню в печах. Надо сказать, что понятие «печь» здесь уместно лишь в той степени, в какой у нас ассоциируется роль высоких температур в получении нужного нам продукта. В доменных печах, в печах кирпичных заводов высокая температура превращает сырье в металл, кирпич, в продукт, по своим свойствам значительно

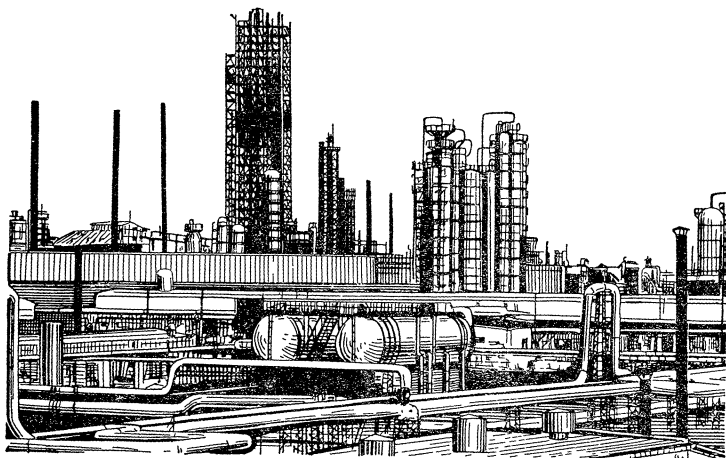


Рис. 10 Нефтеперерабатывающий комбинат.

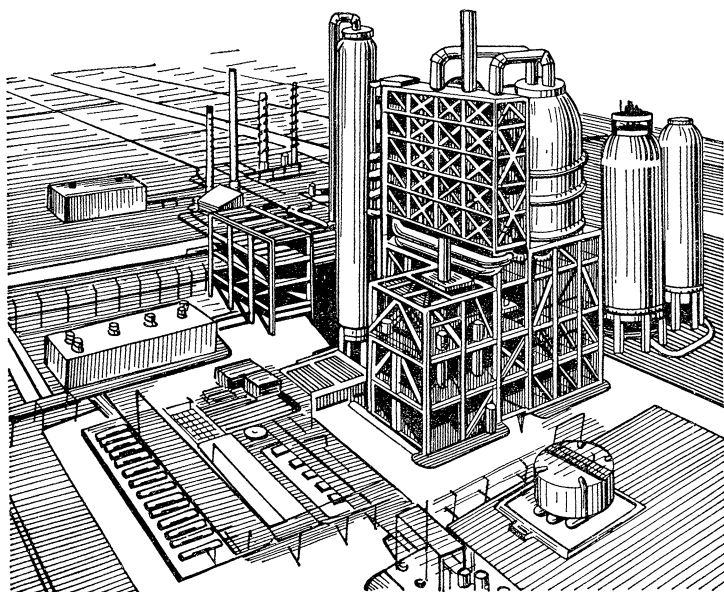


Рис. 11. Внешний вид установки подготовки нефти.

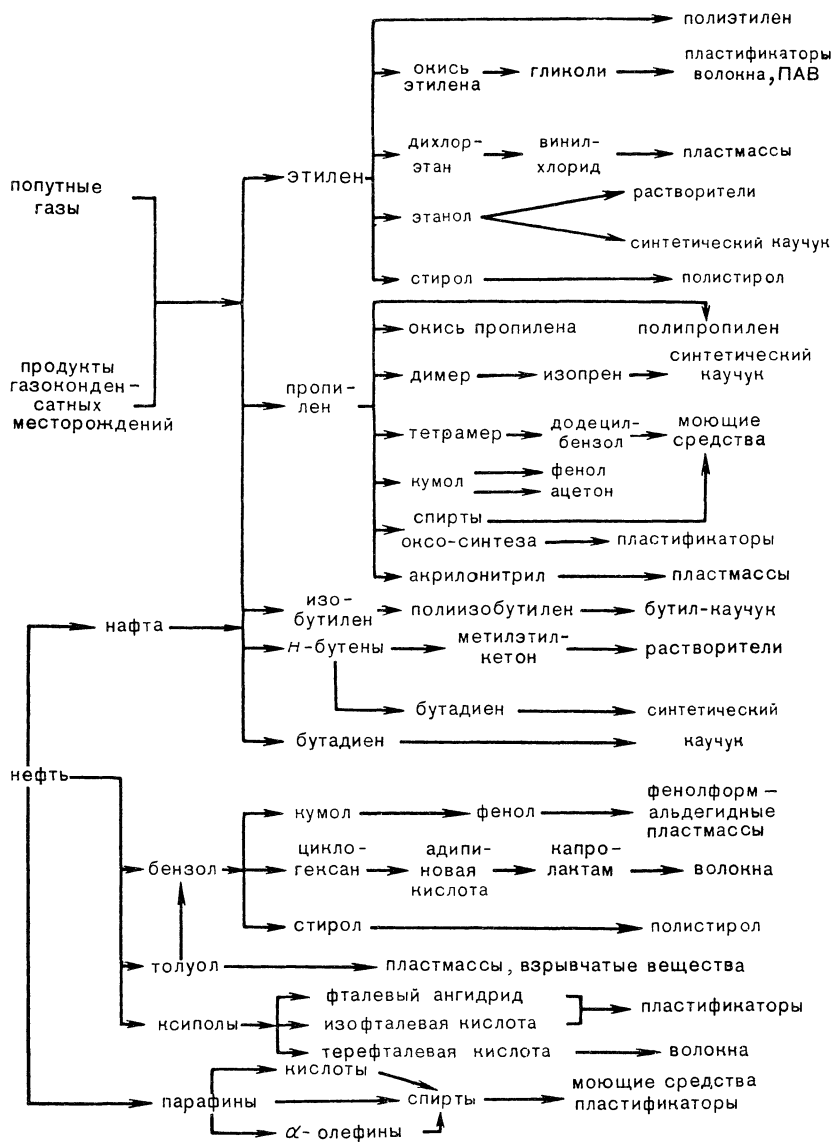


Рис 12 Структура нефтехимической промышленности

отличающийся от исходного. Пиролиз также проводят при высокой температуре. В зависимости от вида исходного сырья температура может колебаться от 400 до 1000°C.

Схема превращений углеводородного сырья в пиролизе внешне проста. Сырье по трубам поступает в печь, где горелки поддерживают высокую температуру. Затем по выходе из печи газ подвергают закалке — в него впрыскивают воду. После охлаждения до 350°C газ поступает в котлы-утилизаторы, где он отдает свою теплоту теплоносителю. Окончательно газ охлаждается в пенном аппарате и холодильнике.

Как мы видим, соблюдается классический принцип работы обычной печи: приготовили сырье — «сварили» продукт — охладили. Но на «стол» такой продукт еще рано подавать. Продукты пиролиза должны пройти разделение и очистку. Поэтому цех пиролиза вы отличите не только по печам, но и по этажеркам ректификационных колонн. Пиролиз — один из наиболее многотоннажных процессов в современной нефтехимии, обеспечивающих потребность в полимерных материалах из непредельных углеводородов. Комплекс установок по получению этилена производительностью 450 тыс. т в год представляет собой целый завод. Не так давно установки производительностью 60 тыс. т в год казались гигантами нефтехимии, сегодня установки ЭП-300 и ЭП-450 (производительностью 300 и 450 тыс. т в год) становятся рядовым явлением. Комплекс ЭП состоит из блока печей, где по жаропрочным трубам с высокой скоростью пропускается сырье, и блоков подготовки и разделения продуктов пиролиза.

Сырьевые базы процессов пиролиза в нефтепереработке в разных странах различны. Так, в США для этих целей используют газообразные углеводороды, т.е. природный газ, в Европе — бензиновую фракцию перегонки нефти. Это явилось следствием различных исторических традиций использования нефти. США имеют более давние нефтехимические традиции, нежели страны Европы. Развитие автомобильного транспорта США вызвало интенсивное потребление бензина, а газообразные углеводороды ( $C_2 - C_5$ ) подвергались пиролизу с целью обеспечения непредельными углеводородами. Таким образом, избыточные продукты первичной переработки — газообразные углеводороды стали в США основой нефтехимии.

Совершенно иную структуру сырьевой базы нефтехимии имеет нефтепереработка в Европе и в СССР. Здесь длительное время перегонка нефти проводилась по топливно-маслянной схеме, т.е. основным продуктом переработки являлись керосин и масла, бензин же был избыточным продуктом и на его базе выросла нефтехимическая промышленность.

В трубах печей пиролиза углеводороды претерпевают превращения, направленные на расщепление как по связи  $C—C$ , так и по связи  $C—H$ . Приоритетность разрыва каждой из этих связей определяется ее прочностью.

Бутаны начинают заметно расщепляться при температурах  $430^{\circ}C$  и подвергаются тем же превращениям, что и пропан, т. е. дегидрованию и расщеплению по связям  $C—C$ . Начиная с пентана, расщепление по связям  $C—C$  становится преобладающим. Высшие метановые углеводороды расщепляются только по  $C—C$ -связям, причем по мере увеличения числа атомов углерода в молекуле метанового углеводорода возрастает скорость крекинга.

Место разрыва в молекуле метанового углеводорода определяется энергиями диссоциаций связей, а также температурой и давлением. При умеренных температурах ( $400—500^{\circ}C$ ) разрыв происходит ближе к середине молекулы. С повышением температуры разрыв может происходить ближе к концам молекулы. Уменьшение давления также способствует разрыву ближе к концу молекулы, так как при этом образуются продукты с большей упругостью пара, что находится в соответствии с принципом Ле-Шателье. При повышении давления место расщепления смещается к центру молекулы вследствие того, что при этом образуются продукты с меньшей упругостью пара.

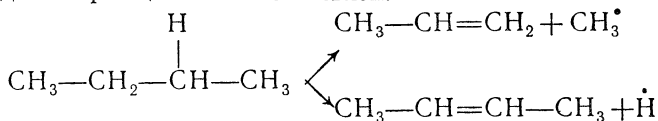
Изопарафины подвергаются крекингу легче, чем парафины нормального строения, хотя некоторые изопарафины симметричного строения термически стабильны.

Процесс термических преобразований углеводородов проходит через следующие этапы:

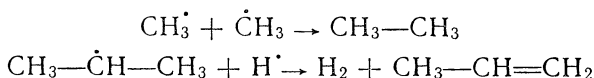
1. *Инициирование реакции* путем образования свободных радикалов при гомолитическом разрыве самой слабой связи  $C—C$  углеводорода. Возможен и разрыв связи  $C—H$ , хотя она прочнее  $C—C$ -связи. Следует отметить, что с повышением температуры различие в прочностях  $C—C$ - и  $C—H$ -связей уменьшается. При умеренных температурах ( $400—500^{\circ}C$ ) разрыв углеводородной цепи

происходит посередине, т. е. по наиболее слабым связям. С повышением температуры могут разрываться и другие связи.

2. *Развитие цепи.* Радикалы, как неустойчивые частицы, стремятся стабилизироваться, в результате происходит их расщепление по  $\sigma$ -связи:

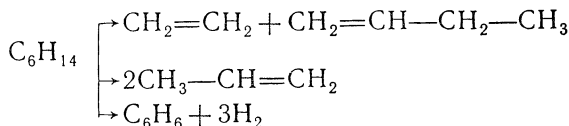


3. *Обрыв цепи.* Свободные радикалы сталкиваются между собой, образуя молекулу насыщенного углеводорода или другую ненасыщенную молекулу:

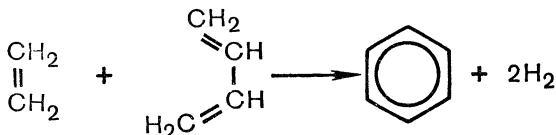


При столкновении свободного радикала с молекулой углеводорода происходит отрыв атома водорода. Этот атом может отрываться от первичных, вторичных и третичных атомов углерода. По относительной скорости отрыва атомов водорода от атомов углерода можно построить такой ряд углеродов: первичный < вторичный < третичный.

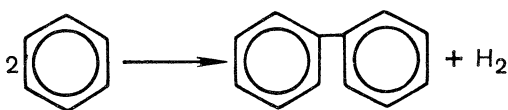
Непредельные углеводороды в условиях пиролиза проявляют более высокую устойчивость, чем остальные углеводороды. Это обусловлено тем, что для разрушения двойной связи требуется больше энергии, чем для разрушения простой связи. Поэтому-то преобладающими продуктами в процессе пиролиза являются предельные углеводороды. Циклопарафины при этом превращаются в в ароматические и непредельные углеводороды:



Ненасыщенные соединения могут давать продукты вторичных преобразований — ароматические углеводороды:



Ароматические углеводороды являются наиболее устойчивыми при высоких температурах. Бензол в этих условиях больше склонен к конденсации, нежели к распаду:



Основным инструментом превращения углеводородов в нефтехимии являются термические и каталитические процессы. В чем же их отличие? Ведь они в конечном итоге направлены к одной цели. Состав конечных продуктов любой реакции определяется термодинамикой этих преобразований. При этом состав продуктов многоступенчатых процессов, с множеством промежуточных продуктов, может отличаться от предсказуемого в силу более благоприятных условий протекания какой-либо из промежуточных стадий.

Если единственным условием ускорения реакции является температура, то трудно предугадать, какой же вариант протекания процесса окажется более предпочтительным. Иными словами, эффективность превращения исходного продукта будет высокой, а выход нужного продукта среди всей смеси полученных соединений будет ничтожен.

Катализатор позволяет ускорить ход протекания процесса в более мягких условиях и только в одном нужном направлении. Таким образом, эффективность превращений исходного продукта будет наибольшей.

При всей очевидности выгоды каталитических процессов нефтехимия не всегда к ним прибегает. Арбитром в выборе варианта метода переработки выступает такой критерий, как экономическая эффективность. Каталитический вариант иногда требует значительных затрат на свое осуществление.

Сегодня же большинство процессов переработки нефти протекает при достаточно высоких температурах, на что расходуется значительное количество самой нефти. Это вызвано невысокой активностью используемых катализаторов. Поэтому усилия ученых направлены на разработку новых высокоэффективных катализаторов, которые бы позволили создать «холодную нефтехимию». Пример тому подает нам сама природа. Ведь многие из тех



продуктов, что получают при переработке нефти, мы находим среди соединений, выделяемых из растительного материала. А ведь в природе нет таких жестких условий, какие мы создаем в промышленных процессах. Природа создала более эффективные катализаторы, которые в очень мягких условиях осуществляют синтез этих соединений. Такими катализаторами являются металлокомплексные соединения — ферменты. Учеными созданы в последние годы новые эффективные гомогенные металлокомплексные катализаторы, своими действиями имитирующие природные катализаторы. Многие из этих катализаторов уже применяются в нефтехимии.

Синтез непредельных и ароматических углеводородов из фракций нефти может быть инициирован не только высокой температурой, но и катализаторами. Таким процессом является каталитический крекинг дистиллятов с температурой 300—550°C.

Применение катализаторов позволило снизить температуру и давление, повысить выход бензина. Каталитический крекинг может быть осуществлен в присутствии алюмосиликатных катализаторов. Процесс осуществляется при 450—500°C и атмосферном давлении. Скорость процесса при этом в десятки раз выше, чем при термическом варианте.

Так же как и при термической активации, процесс состоит из трех стадий, но активирующей частицей является не радикал, а ион карбония. Этим методом получают авиационные бензины, содержащие значительное количество непредельных и ароматических углеводородов.

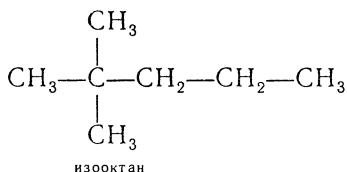
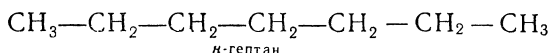
Бензины и другие виды топлив могут быть получены крекингом исходного сырья при повышенном давлении водорода. Такой процесс, называемый гидрокрекингом, осуществляется при температуре до 500°C в присутствии сульфидов и оксидов металлов на носителе. При гидрокрекинге протекают процессы расщепления, гидрирования и изомеризации углеводородов.

Высокооктановые бензины и ароматические углеводороды получают при каталитической переработке бензино-лигроиновой фракции под давлением в присутствии катализаторов — металлов VIII группы (Pt, Pd или Ni), нанесенных на активированный оксид алюминия. Катализаторы регулируют соотношение скоростей протекания этих реакций, так что повышается выход целевого продукта. Этот процесс называется *платформингом*, и

осуществляется он при температуре около 350°C. При этом могут протекать реакции дегидрирования, гидрокрекинга и изомеризации. Например, ароматические углеводороды превращаются в основной компонент бензина — бензол, а шестичленные циклические соединения изомеризуются в более энергоемкие циклопентаны.

Бензин прямой гонки подвергается этим дополнительным процедурам, прежде чем он станет продуктом, пригодным для использования как топливо в двигателях внутреннего сгорания. Если залить бензин прямой гонки без обработки в двигатель, то, помимо того что машина не двинется с места, мы услышим стук в моторе и похожие на выстрелы выхлопы. Это вызвано детонацией, т. е. неупорядоченным загоранием смеси бензина с воздухом. Иными словами, бензин взрывается, а не сгорает, как того требует технология работы двигателя внутреннего сгорания. Вот почему нормальные парафины, которые преимущественно содержатся в бензине прямой гонки, подвергают процессам крекинга и платформинга, чтобы получить изомеры разветвленного строения.

В качестве меры для оценки эффективности сгорания бензина в двигателях были выбраны два углеводорода — гептан и изооктан:

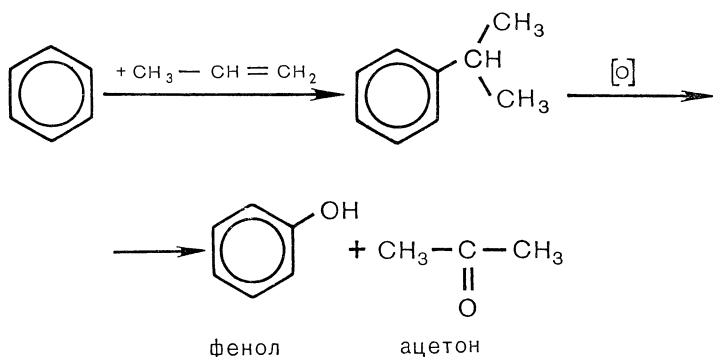


Качество бензина выражают октановым числом, при этом 0 соответствует гептану, а 100 — изооктану. Октановое число, таким образом, равно содержанию изооктана в продуктах. Это число растет по мере увеличения в бензине содержания углеводородов с разветвленной структурой, непредельных и ароматических.

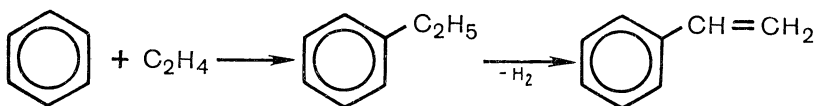
Повышение октанового числа может быть достигнуто введением в бензин таких добавок, как тетраэтилсвинец, бромэтан, триметилбутан и т. д. Кроме того, в бензин вносится масса других компонентов, придающих ему бактерицидные свойства, понижающие его коррозионную активность и повышающие его морозостойкость.

Сложный путь углеводородов нефти по маршрутам сегодняшней нефтехимии завершается целевым продуктом, в основе которого лежит узкая фракция углеводородов нефти или индивидуальный продукт первичной переработки. Отличительной особенностью современной нефтехимии является то, что на базе лишь одного продукта можно создать самостоятельное производство многих необходимых народному хозяйству химических соединений. Рассмотрим это для основных продуктов термической и каталитической переработки бензина прямой гонки — ароматических и непредельных углеводородов.

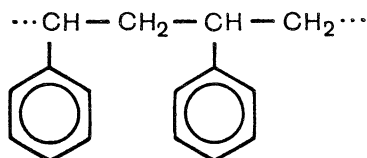
*Ароматические углеводороды.* Простейший из ароматических углеводородов — бензол — является одним из наиболее многотоннажных продуктов переработки нефти. Бензол, как мы видим из рисунка 12, служит сырьем для получения пластмасс, волокон и многих других продуктов химической промышленности. Советскими учеными разработан оригинальный метод получения в одном процессе на основе бензола двух продуктов, представляющих большой интерес для различных отраслей промышленности, — ацетона и фенола:



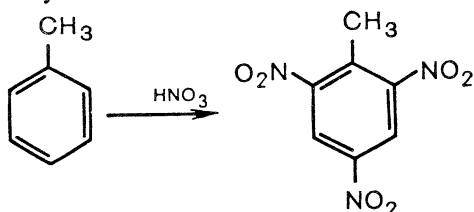
Алкилирование бензола этиленом дает возможность получить один из наиболее распространенных в химической промышленности мономеров — стирол:



На его основе получен ударопрочный полимер — полистирол:

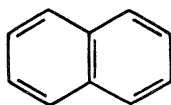


Гомолог бензола — толуол, или метилбензол, —  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$  используется для получения горючего для самолетов и автомобилей, растворителей лаков и красок, а также иногда для получения... бензола. Тoluол имеет печальную известность как исходный продукт производства одного из наиболее сильных взрывчатых веществ — тринитротолуола:

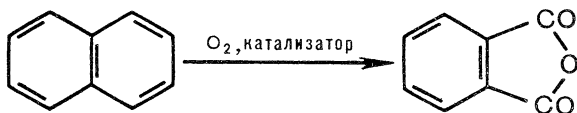


Другой гомолог бензола — ксилол, или диметилбензол —  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ , широко применяется как высокооктановый компонент бензина, в качестве растворителя, для производства синтетических волокон и пластмасс.

Из конденсированных ароматических углеводородов, получаемых из нефти, наибольшее потребление нашел **нафталин**:

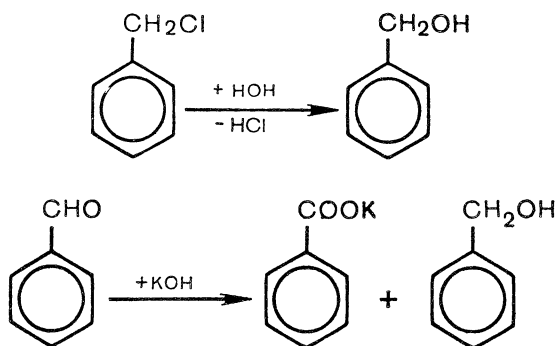


Основные массы нафталина используются для получения фталевого ангидрида:



Из него получают синтетические смолы, пластификаторы, красители и фармацевтические препараты. Фталевый ангидрид может быть получен и из бензола.

Производные бензола и родственных ему соединений составляют одно из наиболее разветвленных направлений нефтехимии. Прежде всего стоит остановиться на ароматических спиртах — бензиловом и фенолэтиловом. Они могут быть получены либо гидролизом из соответствующего хлористого производного, либо путем одновременного окисления-восстановления альдегида сильным основанием:



Ароматические спирты имеют приятный характерный запах, поэтому их широко используют в парфюмерии.

Наиболее потребляемыми производными бензола являются фенол и его гомологи, в молекуле которых, в отличие от бензола, один или несколько атомов водорода замещены на гидроксильные группы. В фенолах гидроксильная группа обладает кислотным характером, что и предопределило сферу их использования как антисептиков. Большинство фенолов применяется для получения синтетических фенолформальдегидных смол и пластмасс, красителей и взрывчатых веществ.

Производное фенола — 2,4,6-тринитрофенол, или пикриновая кислота, служит для производства взрывчатых веществ.

Ароматические альдегиды — бензальдегид, коричневый альдегид, эвгенол, ванилин — применяют для получения парфюмерных и душистых веществ. Другие кислородные производные бензола — кислоты и эфиры — используются в сходных отраслях народного хозяйства.

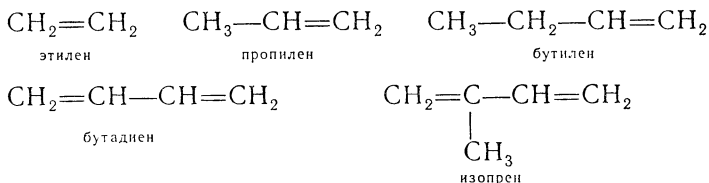
Среди производных бензола ароматические амины занимают особое место в народном хозяйстве. Ведь анилин является основой для большинства красителей.

В промышленности анилин получают восстановлением нитробензола:

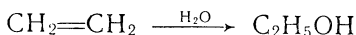


Сульфаниламиды являются соединениями, лежащими в основе сульфамидных лекарственных препаратов.

**Непредельные углеводороды.** Эта ветвь нефтехимии берет свое начало от наиболее многотоннажных продуктов переработки нефти — этилена, пропилена, бутадиена и изопрена. Крона ее столь густа, что она составляет одно из основных и самых многоликих ответвлений нефтехимии. Этот раздел нефтехимии объединяет ненасыщенные соединения ряда этилена и бутадиена:



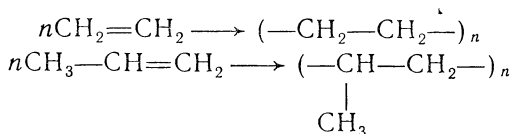
На основе этих соединений получают многочисленные производные материалы и полимеры. Так, гидратацией этилена получен этиловый спирт:



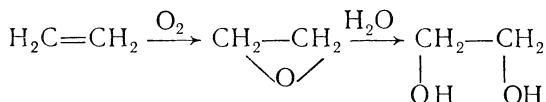
Промышленный этиловый спирт, получаемый таким способом, содержит большое количество токсичных примесей. Это исключает его использование для пищевых целей. Часть этилового спирта расходуется для получения антифризов как растворитель. Одно время он использовался для производства высокочистого этилена в синтезе полиэтилена. В настоящее время в ряде стран этиловый спирт стал использоваться как компонент горючего для автомобильного транспорта.

Значительное количество этилена и пропилена идет на производство полимеров — полиэтилена и полипропилена, которые являются основными видами продукции промышленной химии полимерных материалов. Вероятно, не стоит тратить время на перечисление областей использования полиэтилена и полипропилена. Мы живем

в мире вещей, полученных из нефти, и их основную массу составляют изделия из полиэтилена и полипропилена. Они образуются при взаимодействии ненасыщенных мономеров:



На основе этилена и пропилена получены простейшие многоатомные спирты в результате их окисления до оксидов с последующим гидролизом:

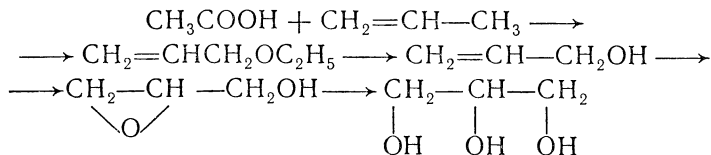


Промежуточный продукт этого синтеза — окись этилена — имеет большое значение как полупродукт в многочисленных процессах. Так, например, при взаимодействии окиси этилена с первичными спиртами получен органический растворитель, способный смешиваться с водой в любых соотношениях, — целлозоль.

Этиленгликоль растворим в воде и по сравнению с этиловым спиртом имеет более высокую температуру кипения. Эти свойства делают его ценным антифризом. Кроме того, он используется как растворитель лаков и красок.

Окислением этилена может быть получена уксусная кислота, которая широко используется для производства пластмасс, киноплёнки, пищевых продуктов, искусственного шелка.

В нефтехимии разработаны методы синтеза трехатомного спирта — глицерина, который ранее получали гидролизом пищевых жиров. Исходными веществами в процессе синтеза глицерина являются пропилен и уксусная кислота:



Глицерин необходим для получения пищевых и парфюмерных изделий, синтетических смол и киноплёнки. При

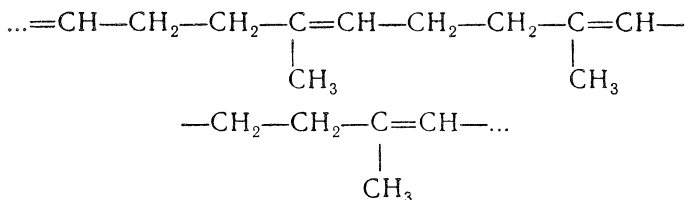
действии на глицерин смеси азотной и серной кислоты получается глицеринтринитрат, известный больше как нитроглицерин. Это и взрывчатое вещество, и лекарственный препарат.

Промежуточный продукт синтеза глицерина — аллиловый спирт, используемый для производства волокон, армированных стеклопластиков, полимеров, медикаментов и изделий парфюмерии.

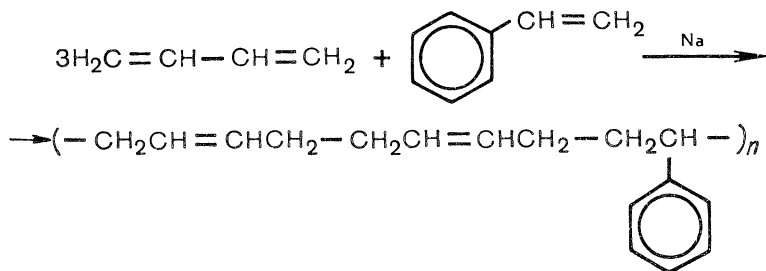
Из других кислородсодержащих соединений, синтезируемых из нефти, заслуживает внимания метилэтилкетон — растворитель и полупродукт различных синтезов.

Обзор ненасыщенных соединений нефтехимии можно завершить продуктами, получаемыми на основе бутадиена, — синтетическими каучуками.

Натуральный каучук представляет собой полимер, состоящий из остатков изопреновых молекул:



В 1932 г. синтетический каучук впервые получил советский ученый С. В. Лебедев. В основу предложенного способа была положена реакция полимеризации бутадиена. Но, как показали испытания, этот вид каучука обладал рядом нежелательных свойств: низкая устойчивость к пониженным температурам, невысокие эксплуатационные свойства. Этого удалось избежать, взяв в качестве сополимеров бутадиен и стирол:





В настоящее время из синтетического каучука на основе бутадиена (80%) и стирола (20%) производят разнообразные автомобильные шины и изделия.

Мы прошли по основным маршрутам переработки нефти путями превращений фракций нефти в нефтепродукты и полупродукты промышленного синтеза и убедились, что нефтехимия как самостоятельная отрасль промышленности имеет свои, только ей присущие приемы переработки сырья, располагает в своем арсенале определенным набором стереотипных химических превращений, которые являются ее оружием, обеспечивающим получение нужных продуктов. Рассмотрим отдельно приемы и процессы, характерные для нефтехимии.

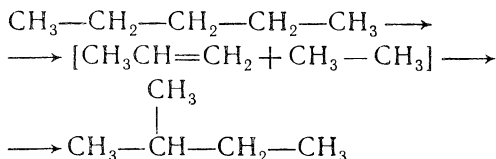
*Изомеризация* — внутримолекулярная химическая реакция, которая приводит к возникновению новых структурных групп или к перемещению связей в молекуле без изменения числа атомов. Эта реакция лежит в основе всех наиболее важных процессов переработки нефти, с ней мы сталкиваемся в большей или меньшей мере в практике всех преобразований, претерпеваемых нефтью.

Так, изомеризация жидких и газообразных парафинов и непредельных углеводородов с нормальной цепью углеродных атомов способствует улучшению детонационной стойкости моторных топлив. При изомеризации циклопарафинов увеличиваются ресурсы ароматических углеводородов. Изомеризация является одной из основных реакций платформинга и крекинга.

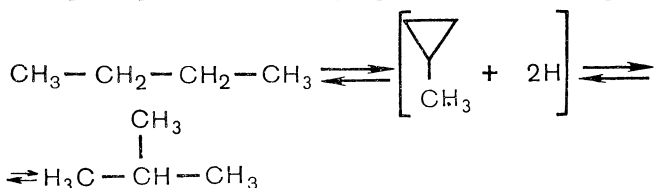
Реакция изомеризации идет при любых температурах, но при высоких температурах она сопровождается массой побочных нежелательных превращений. В тех случаях, когда реакция изомеризации является основной, ее осуществляют в присутствии специально подобранных катализаторов, так как без них она протекает медленно.

Для объяснения механизма изомеризации углеводородов предложено несколько схем:

1. Углеводороды нормального строения вначале диспропорционируют, а затем рекомбинируются в изомеры:

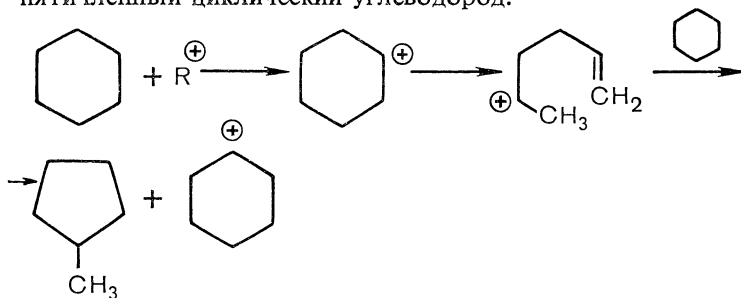


2. Углеводороды нормального строения в качестве промежуточного продукта трансформируются в циклическую структуру, после чего превращаются в изомер:

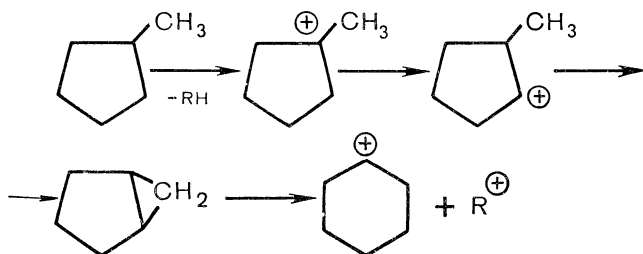


Более тонкий механизм превращения парафинов в изоструктуры часто рассматривается на основе карбоний-ионного механизма. Так, протон кислотного катализатора (или кислотного центра оксидного катализатора) образует с непредельным углеводородом, который присутствует в реакционной смеси, карбоний-ион. Он и порождает свою цепочку преобразований, приводящих к новой структуре углеводорода.

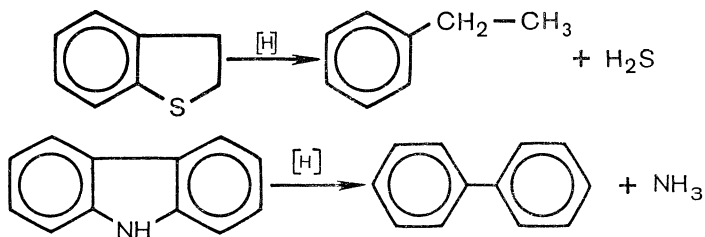
Циклические углеводороды в условиях каталитического крекинга подвергаются реакциям изомеризации со сжатием и расширением кольца. Так, из шестичленных циклопарафинов образуется циклогексильный ион карбония, который распадается по  $\sigma$ -связи с циклизацией в пятичленный циклический углеводород:



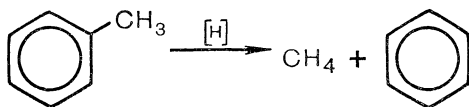
Расширение кольца идет по сходной схеме:



*Гидрогенизация* объединяет круг реакций, в основе которых лежит взаимодействие с водородом. Но следует знать, что в силу специфически используемых приемов это не получение насыщенных соединений из ненасыщенных, а способ получения с помощью каталитической гидрогенизации новых структур путем разрыва связи между атомами. Так, для очистки нефтяных фракций от соединений, содержащих серу, азот и кислород, применяют гидроочистку — гидрогенолиз по связи между атомом углерода и гетероатомом под давлением водорода:



Гидрогенизация под давлением может вести к деалкилированию:



Процесс осуществляется в присутствии катализаторов — металлов VIII группы. Механизм этих и близких к ним преобразований был подробно рассмотрен в книге М. А. Андрусева и А. М. Табера «Н. Д. Зелинский»<sup>1</sup>.

*Дегидроциклизация* — эффективный способ превращения парафиновых углеводородов, которые являются преобладающей группой в составе нефтей, в ароматические. Это водородная каталитическая реакция осуществляется в присутствии металлов VI, V и IV групп таблицы периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева.

Как известно из предыдущих разделов, основное большинство технологических приемов переработки нефти направлено на ее превращение в более реакционноспособные соединения. До недавнего времени для этого использовали в первую очередь жесткие условия процес-

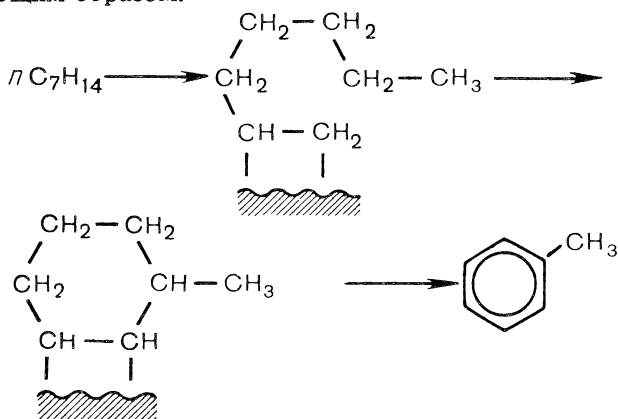
<sup>1</sup> Андрусев М. А., Табер А. М. Н. Д. Зелинский, М., 1984.

са — давление и температуру. Каталитическая реакция дегидроциклизации позволяет в относительно мягких условиях из нормальных углеводородов получать дефицитные ароматические, которые имеют широкий спрос как полупродукт органического синтеза и как компонент высокооктановых топлив. Реакция дегидроциклизации положена в основу такого многотоннажного процесса, как каталитический риформинг.

Возможные пути перехода от предельных углеводородов к ароматическим можно отразить схемой:



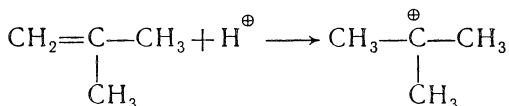
Вероятный механизм этой реакции на поверхности гетерогенного катализатора может быть представлен следующим образом:



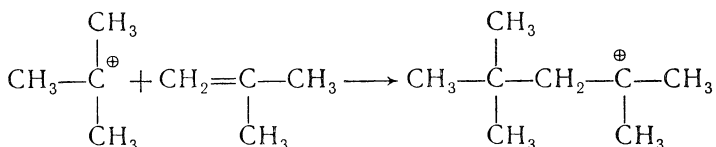
**Полимеризация** — реакция соединения двух или более одинаковых ненасыщенных молекул в более крупные. Полимеризация наблюдается в различных процессах переработки нефтяного сырья: при крекинге, очистке нефтяных продуктов, получении высокооктановых топлив, полимерных материалов и т. д.

Полимеризация состоит из стадий, близких для ранее рассмотренного процесса пиролиза: образование активных частиц, рост и обрыв цепи.

Для объяснения механизма реакций полимеризации существуют различные теории. В частности, для процесса ступенчатой полимеризации изобутилена (синтез высокооктановых углеводородов) предложен карбоний-ионный механизм полимеризации. Протон катализатора, присоединяясь к молекуле непредельного углеводорода, образует ион карбония:



Затем ион карбония присоединяется к следующей молекуле:



И на последней стадии происходит отщепление иона карбония.

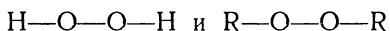
Реакции осуществляются в присутствии апротонных кислот:  $\text{BF}_3$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{AlBr}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  и т. д.

**Алкилирование** — реакция присоединения непредельных углеводородов к предельным. Эту реакцию применяют в промышленности для производства алкилбензина, используемого как высококачественное топливо.

Еще совсем недавно предельные углеводороды считались весьма инертными в реакции присоединения. Однако работы советских ученых показали, что в присутствии протонных катализаторов даже при низкой температуре они способны к этим реакциям. Превращение углеводородов при каталитическом алкилировании можно объяснить с точки зрения карбоний-ионного механизма.

**Окисление** — наиболее эффективный способ превращения углеводородов нефти в кислородсодержащие соединения путем окисления кислородом. Таким методом получают чрезвычайно важные продукты переработки нефти: моющие средства, фармацевтические препараты и т. п. В основе наших представлений о химизме этой реакции лежит перекисная теория, предложенная академиком А. Н. Бахом.

Органические перекиси представляют собой производные пероксида водорода, где водород заменен соответствующим радикалом:



Органические перекиси нестойки и легко разлагаются со взрывом. При окислении углеводородов в процессе реакции образуется гидроперекись, которая при соответствующей обработке разлагается на целевые продукты. Так в промышленном масштабе в одну стадию из изопропилбензола получают фенол и ацетон.

Мы дали обзор важнейших химических реакций, лежащих в основе многих процессов переработки углеводородов нефти. Все они каталитические, и успех их в промышленном масштабе зависит от эффективности и доступности использования катализаторов.

Необходимо отметить, что путь от открытой в лаборатории реакции до создания промышленного процесса бывает долгим и непростым, так как за химическими символами не всегда видны трудности реализации идеи ученого. Это, так сказать, невидимые миру слезы. Отметим эти трудности хотя бы бегло.

Итак, открыта принципиально новая схема получения вещества С по реакции:



До этого вещество С получали по многостадийной схеме с применением дефицитных реагентов. Открытая реакция выносится на суд технологам. И тут оказывается, что вещество А требует особо сложной очистки, вещество В — высокостойких коррозионных аппаратов, а промышленность не выпускает требуемых мешалок и реакторов для осуществления процесса. Кроме того, технологически трудно очистить продукт С от остатков исходных веществ А и В. Как быть? Слабые опускают руки, уверенные в будущем своего процесса начинают искать способы преодоления этих трудностей.

Но вот после длительных опытов было доказано: а) А можно использовать без предварительной очистки; б) модификация В менее агрессивна к металлу в серийном оборудовании. Все? Успех? Нет.

Следует, пожалуй, самый сложный этап: отработки технологии процесса на так называемой пилотной установке. Это уменьшенная модель будущего процесса. На

ней определяются оптимальные параметры процесса и осваиваются технологические приемы. Пилотная установка вызывает «подводные камни», которые не были видны в лаборатории. Так, оказывается, что выделяется большое количество теплоты за счет вторичных процессов, продукт С выпадает в осадок в трубопроводах, исходное сырье не может подаваться насосами в реактор, нет нужного контрольного аппарата и т. д. и т. п. А за этим стоит труд аппаратчиков, технологов. И опять вносятся усовершенствования в предложенную схему процесса. На финише она порой имеет мало общего с той, какая была на старте.

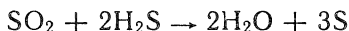
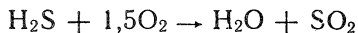
Преодолены и эти трудности. Теперь автор имеет не только идею, но ее материальное воплощение — технологию. И выступает на арену самый строгий арбитр, который должен поставить последнюю точку, — экономист. Ему предстоит решить, может ли быть предложенная идея конкурентоспособной действующей технологии, да и выгодно ли это вообще. Деятельность ученого, труд людей, помогавших ему воплотить идею, оцениваются одним критерием — рублем, затратами на воплощение идеи и эффектом от ее реализации.

Каждая из приведенных в этом разделе реакций прошла нелегкий путь до своей материализации в процессе. Создатель синтетического каучука С. В. Лебедев сказал однажды, что нет большего счастья для ученого, чем видеть воплощенную в металл свою мечту. Этим словам можно верить, они сказаны ученым, прошедшим весь трудный путь от идеи до создания целой отрасли химической промышленности.

## КОРОЛЕВА ПЛОДОРОДИЯ

**В** предыдущих разделах мы дали краткий обзор основных направлений использования углеводородов нефти. Есть еще одна важная сфера применения нефти, на первый взгляд, не столь четко очерченная в нефтехимии, как те, о которых шла речь выше. Такой сферой использования нефти и получаемых из нее продуктов является земледелие. За вклад нефти в эту сферу народного хозяйства ее по праву назвали королевой плодородия.

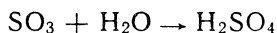
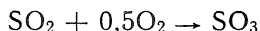
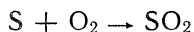
На основе нефти сейчас получают один из наиболее потребляемых продуктов в производстве минеральных и других видов удобрений — серную кислоту. На тех предприятиях, где перерабатывается сернистая нефть, содержащая в больших количествах сераорганические соединения и сероводород в составе попутных газов, трубы у печей цеха пиролиза покрыты желтым налетом серы, которая образуется при разложении сераорганических веществ. Целенаправленно серу как основной продукт получают из сероводородных газов. Для этого газ сжигают, в результате получается оксид серы (IV). При взаимодействии последнего с сероводородом образуется сера:



Процесс этот проводят в печах при температуре 1000°C без катализаторов. Если же использовать катализаторы (силикагель, глинозем, бокситы), то температура может быть около 700°C.

Из оксида серы (IV) далее получают серную кислоту. Химизм всего процесса следующий:





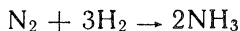
Сера в расплавленном виде подается в печь для сжигания, где окисляется до оксида серы (VI); последний поступает в адсорбер и поглощается водой.

Получать серную кислоту можно и по другим схемам, например методом мокрого катализа. При этом оксид серы (IV), образованный сжиганием сероводорода, окисляется на ванадиевом катализаторе в оксид серы (VI). Этот оксид далее конвертируется в серную кислоту.

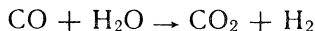
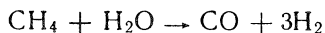
Метод получения серной кислоты на основе попутных газов заменил способ производства этой кислоты на основе серного колчедана. Новый способ требует в два-три раза меньше затрат, что обусловило его столь быстрое развитие.

На полях часто можно увидеть автоцистерны с надписью «Аммиачная вода». Это насыщенный водный раствор аммиака, который стал одним из наиболее распространенных видов жидких удобрений.

Синтез аммиака проводят по хорошо известной реакции:



Для получения аммиака необходимо большое количество водорода. Более половины затрат на производство аммиака приходится на долю водорода. А вот сам водород сегодня получают из метана — спутника нефти и основного компонента природных горючих газов. Превращение метана в водород проходит в две стадии:



В принципе возможен и более простой путь:

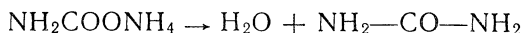


Но этот процесс пока не вышел за стены лабораторий.

Процесс получения аммиака в промышленном масштабе протекает при высоких температурах и давлении. Это производство занимает по масштабности одно из первых мест, так как аммиак потребляется в очень больших количествах. Для его транспорта строят специальные суда-аммиаковозы и укладывают трубопроводы — аммиакопроводы.

Аммиак является необходимым элементом круговорота веществ в жизни растений. В природе аммиак образуется без больших температур и высокого давления. Природа смогла обойтись без этого, создав эффективный механизм каталитического синтеза аммиака. В лабораториях Института химической физики АН СССР был расшифрован этот механизм и найдены катализаторы, обеспечивающие протекание процесса фиксации азота при комнатной температуре и нормальном давлении.

Более эффективным удобрением, чем аммиачная вода, является мочеви́на (карбамид). Это удобрение хорошо сохраняется в почве и эффективно для многих видов культур. Синтез карбамида осуществляется в две последовательные стадии:



Приведенные примеры участия нефтепродуктов в увеличении плодородия почвы в основном затрагивают процессы получения минеральных удобрений. Опыт их многолетнего применения показал, что это может вести к потере урожая от сорняков, вредителей и болезней растений. Избежать этого позволяют пестициды, в производстве которых также играют важную роль нефтепродукты. Синтез этих соединений чрезвычайно сложен, и его обсуждение требует самостоятельного рассмотрения. Но об этом следует помнить, так как это тоже одно из направлений использования нефти.

Не менее важным направлением использования нефти является получение белков. Еще несколько лет назад вопрос об их синтезе на основе нефти, вероятно, решался бы по традиционной схеме синтеза химических соединений. Молекула углеводорода при этом, естественно, рассматривалась бы как углеводородный каркас. Сейчас же процесс получения пищевых белков на основе углеводов ведут с помощью микробов.

В настоящее время потребность в пищевом белке удовлетворяется только наполовину. Большая его часть для питания человека и для нужд животноводства пока поступает в виде пищевых продуктов. Решение проблемы питания является глобальной первоочередной задачей всего человечества. Так, миллионы людей на земном шаре или голодают, или недоедают. В нашей стране проблема пищевого белка для нужд питания человека решена, но

требуется внимание к обеспечению все возрастающих потребностей животноводства.

По данным специалистов животноводства, на Земле потребляется более 60 млн. т кормовых примесей с добавками белка. Перспективным источником получения белка для нужд животноводства оказались дрожжи, выращенные на специальных питательных средах. Процесс этот представляет сложный биохимический синтез. Но решать проблему использования дрожжевых культур для получения белка можно, лишь располагая для этого эффективной сырьевой базой. Как показали работы ученых, углеводороды нефти и природного горючего газа могут стать основным сырьем для микробиологического синтеза белка. Направленный подбор микробов, определение нужных условий подачи углеводов, разработка технологии получения белка являются главными задачами новой отрасли промышленности — биотехнологии.

Полученный на углеводородном сырье синтетический белок для нужд животноводства ни в чем не уступает природному, а по некоторым показателям превосходит его, так как он содержит значительно больше основного сырья, хранится более длительное время, легко усваивается организмом животных. Неоспоримым преимуществом биотехнологии синтетического белка является возможность направленного, контролируемого процесса синтеза требуемого белка.

Сейчас во всем мире метод получения белка на основе углеводов чрезвычайно распространен. Добавка синтетического белка к кормам животных избавляет от необходимости использовать для этих целей пищевые продукты. Например, 100 тыс. т синтетического белка по своей эффективности эквивалентны пищевой сое, выращенной на 60 тыс. га плантаций. Только 2% мировой ежегодной добычи нефти, переданные на микробиологический синтез белка, могут обеспечить 2 млрд. человек. Для синтеза белка используются не только углеводороды нефти, но и низкомолекулярные синтетические спирты, являющиеся продуктами нефтехимической промышленности. Переработка углеводов нефти для этих целей может носить и комбинированный характер. Так, ряд белков можно получить в несколько этапов. На одних из них ведется чисто нефтехимический синтез, на других — ферментативный катализ для получения требуемых аминокислот.

Биотехнология добилась больших успехов в получении ряда незаменимых кислот в пищевом рационе человека и животных. Синтез этих соединений на основе нефти и природного газа в будущем станет одной из приоритетных сфер потребления нефти и утвердит ее в звании королевы плодородия.

Роль нефти и нефтепродуктов в увеличении плодородия почвы наиболее ярко проявляется в том, что на килоджоуль дополнительной энергии, получаемой в форме пищи, мы затрачиваем в 10 раз больше энергии. Эта цифра складывается из затрат энергоносителей на повышение энерговооружения сельскохозяйственной техники, на удобрения и т. д. Сегодня агропромышленный комплекс поглощает около 20% нефти только как энергоносителя. Последние десятилетия показали, что количество вносимых удобрений не ведет к росту урожайности. Так, если в 50-х годах на 1 т внесенных удобрений урожай увеличивался на 11,5 т, то в 60-х годах прибавка составила 8,3%, в 70-х — 4,6 т, в 80-х — еще меньше. Это явилось следствием того, что нарушалась структура почвы. Кроме того, сама техника оказалась не готова к работе с более высокими нагрузками. Так что же, прекратить вносить удобрения, ждать, пока восстановится структура почвы? Выход из этой ситуации найден в новой технологии внесения удобрений, в создании новых тракторов, более энерговооруженных, но с меньшей массой и с меньшим воздействием на почву. Это вновь потребовало увеличения потребления нефти на нужды сельского хозяйства. Общие тенденции развития сельского хозяйства показывают, что приведенное соотношение 1 : 10 будет с каждым годом падать. Это, к сожалению, факт, с которым приходится считаться, как и с тем, что роль нефти в увеличении плодородия земли с каждым годом будет расти.

В последние годы углеводороды нефти и газа нашли новое применение в сельском хозяйстве. Они способствуют сохранению продукции и уничтожению сорняков. Продукты сгорания газов сушат фрукты, бобовые культуры. Они создают атмосферу с пониженным содержанием кислорода, что также продлевает срок хранения фруктов, овощей и корма для скота.

На распаханых полях часто можно видеть цистерны для сжиженного газа. Содержащиеся в них газообразные вещества используются для огневой очистки почвы.

## НЕФТЯНОЙ ЧАД

Среди многих проблем, которые стоят перед человечеством, охрана окружающей среды от последствий его производственной деятельности является одной из первоочередных. Собственно, само понятие «окружающая среда» вошло в наш обиход только тогда, когда мы стали осознавать, насколько негативно отражается на планете бурная деятельность человека в различных сферах производства материальных благ. По словам одного юмориста: окружающая среда — это то, что оставил от природы человек. И, к сожалению, это недалеко от истины.

В октябре 1952 г. Лондон был окутан на несколько дней туманом. Это в общем-то не новое явление для этих мест, но туман содержал большое количество выхлопных автомобильных газов (рис. 13), сернистых соединений — продуктов сгорания котельных топлив. Как следствие этого — тысячи погибших от удушья. Аналогичная ситуация сложилась несколько лет спустя в Лос-Анджелесе и Нью-Йорке (рис. 14).

Парфенон и Акрополь в Афинах, Колизей и арка Августа находятся в таком состоянии, что современники их не узнали бы (рис. 15). Стены потеряли первоначальный цвет и изъедены кислотами. А голые лиственные леса Австрии и Швеции после «кислых» дождей! Это тоже последствия выхлопных газов автомобилей.

Европейский и социальный Совет при ООН выделил шесть основных загрязнителей, которые служат критериями для определения качества воздуха. К ним относятся: оксид серы (IV); твердые частицы (сажа, пыль и т. д.); оксид углерода (II); окислители, образующиеся под



Рис. 13. Скопление автомобилей в городе

действием солнечного света из автомобильных выхлопных газов и компонентов, входящих в состав атмосферы; оксиды азота и свинец, содержащиеся в выхлопных газах автомобилей. В большинстве стран мира многие загрязнители образуются в результате деятельности промышленности по переработке нефти или систем обогрева



Рис. 14. В некоторых крупных городах капиталистических стран загрязненная атмосфера превышает допустимые нормы.

нефтепродуктов. Около 60% от их общего числа приходится на автомобильный транспорт. Эти шесть загрязнителей характеризуются как первичные, которые под действием водных паров, кислорода, света и других примесей образуют вторичные загрязнители, такие, как сульфаты, озон, нитраты и органические соединения. Совместное присутствие в воздухе первичных и

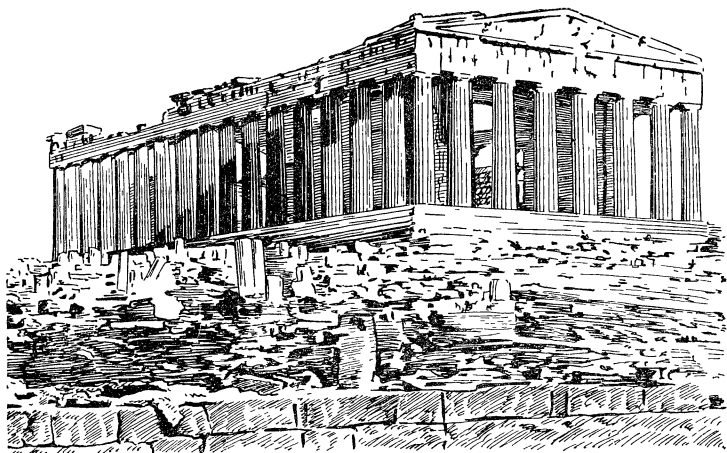


Рис. 15. Парфенон в Афинах

вторичных загрязнителей создает так называемый смог. Первичные и вторичные загрязнители оказывают действие не только на природу, но и на человека. Загрязнители в своем большинстве канцерогенны. Итак, одна из первопричин загрязнения воздушной среды — последствия использования нефтепродуктов и нефти. Но они оседают не только в воздухе.

Вода — средство тушения пожара — может гореть. Вода — символ чистоты — может быть самым коварным ядом. Вода — символ среды первообразования жизни — может стать смертельным врагом живого. Но в этом сама вода меньше всего повинна. Виной тому могут быть нефть и нефтепродукты, попавшие в воду. Нефть, попавшая в воду, — бедствие глобального масштаба (рис. 16 и 17). Эта беда затрагивает всю экосистему в целом. Существует мнение, что основными источниками загрязнения воды нефтью являются танкерный флот, нефтепроводы, буровые платформы. Но это заблуждение. Просто эти источники более очевидны на первый взгляд.

Статистика показывает, что из тех миллионов тонн нефти, попадающей в Мировой океан, лишь половина поступает с транспортных магистралей, проходящих по океану, а другая половина попадает в него со стоками рек с суши. Нефть загрязняет океан при аварийных ситуациях, возникших на танкерах, разрывах морских трубопрово-



Рис 16 Нефтяное пятно в море

дов, авариях на морских буровых. Масштабы этих бедствий известны. Гигантские нефтяные пятна разливаются по поверхности, покрывают сотни километров пленкой нефтепродуктов (рис. 16 и 17). В результате этих аварий в 1980 г. в океан было выброшено около 200 тыс. т нефти. Но в то же время ежегодно в океан сливается 2,5 млн. т нефтепродуктов с промывными водами, в результате небрежностей при перекачке нефти. Допустимая норма содержания нефтепродуктов в воде 0,005 мг/л, при более высокой цифре все живое может погибнуть. Теперь сделайте несложный арифметический подсчет: сколько же литров

морской воды будет непригодно при выбросе 2,5 млн. т нефти?

Нельзя сказать, что ничего не предпринимается для предотвращения загрязнений нефтью Мирового океана. Наша страна является активным членом Международной конвенции по предотвращению загрязнений моря с судов, сокращенно — МАРПОЛ-73/78. Советские суда неукоснительно выполняют жесткие ограничения МАРПОЛ по сбросу нефтесодержащих отходов. В наших портах можно встретить суда — сборщики нефти, разлитой по акватории. Советские ученые разработали технологию очистки танкеров с применением эффективных моющих средств. На нефтеперерабатывающих предприятиях внедряется



безотходная технология, осваиваются методы извлечения нефтепродуктов из вод. Сейчас используют эффективные методы борьбы с нефтью, разлитой на поверхности воды. Так как нефть представляет собой несмешивающуюся с водой жидкость, которая растекается тонкой пленкой, ее можно убрать с помощью специальных судов. Нефть собирают в специальные емкости, отсасывают, а чистую воду сливают в море. Смесь песка с мелом, попадая на нефтяное пятно, сорбирует нефть. Затем эта масса оседает на дно. Поверхностно-активные вещества препятствуют растеканию нефтяного пятна и способствуют его удалению.

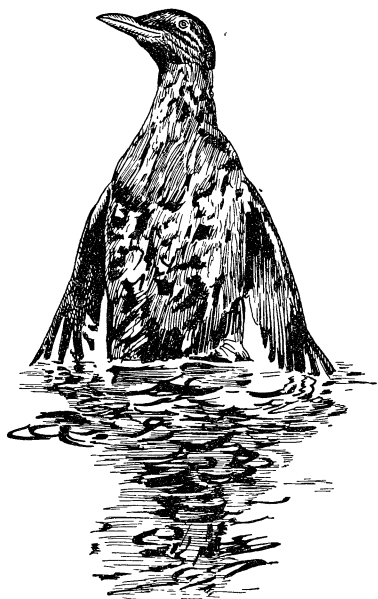


Рис 17. Птица, попавшая в нефтяной слой в море.

Подняв нефть на поверхность Земли, человек не нарушил природного равновесия — пустоты в залежах заполнились водой и структура планеты не претерпела изменений. Но, приступив к переработке нефти и к ее использованию, человек нанес природе тяжелые раны.

Нефть дала неисчислимые блага человеку, мир переживает нефтяной бум. Но за этим бумом не сразу заметили чад, отравляющий планету. Когда же заметили — стали предпринимать хотя и запоздалые, но ощутимые по затратам усилия.

Для примера оценим затраты США по снижению различных загрязнений (по данным Европейского и социального совета ООН на 1976 г., см табл. на с. 72).

Или такой факт: тонна нефти в среднем стоит около 30 р. А вот для того, чтобы собрать эту тонну с поверхности воды государство затрачивает до 1 тыс. р.

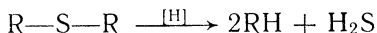
За чистотой вод осуществляется международный контроль со спутников и кораблей.

Капитальные затраты по снижению загрязнения (млн. долларов)			Валовые ежегодные затраты на снижение загрязнения (млн. долларов)		
общего	воздуха	воды	общего	воздуха	воды
441,0	236,0	200,0	767,0	459,0	263,0

У нас в стране приняты за последние годы «Основы земельного законодательства СССР», «Основы водного законодательства СССР» и постановление «О мерах по дальнейшему улучшению охраны окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов». Эти законодательные акты и практические мероприятия ставят в нашей стране барьер загрязнениям нефтью и нефтепродуктами окружающей среды. Но следует признать, что еще больше предстоит сделать, чем сделано сегодня.

Не меньшую опасность для окружающей среды представляют газовые выбросы при переработке нефтепродуктов. При сгорании нефтепродуктов, содержащих серу, образуется оксид серы (IV), который служит причиной возникновения дождей, содержащих серную кислоту, сульфиты и сульфаты аммония.

Наряду с очисткой дымовых газов сейчас большое внимание уделяется процессам гидрообессеривания нефтей. Это не только способствует охране окружающей среды, но и улучшает последующую переработку нефти. Сущность этого процесса состоит в каталитическом гидрогенолизе связи C—S в серосодержащих соединениях:



В настоящее время масштабы гидрообессеривания бензинов, керосинов и топлив достигают 500 млн. т в год. Годовая добыча нефти приближается к 3 млн. т, в то же время 40—50% от этой массы требуют очистки от серы. Хотя за счет гидроочистки цена нефтепродукта повышается на 3%, процесс удаления серы таким путем широко внедряется. Гидроочистку осуществляют при повышенном давлении водорода и температурных режимах около 400°C. Катализаторами этого процесса являются оксиды и сульфиды вольфрама, никеля, кобальта.

Для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания на выхлопную трубу двигателя надевают спе-

циальную насадку. Она содержит катализатор, который инициирует процесс дожигания продуктов неполного сгорания. Предложено в топливопроводе автомобилей закреплять металлическую сетку с нанесенным на нее полупроводником для окисления оксида углерода (II) до оксида углерода (IV).

Особо стоит сказать о продукте сгорания нефти — оксиде углерода (IV) — углекислом газе. Он является звеном в цепи круговорота веществ в природе. Известно, что если бы углекислый газ исчез из атмосферы, погибла бы и жизнь. Хозяйственная деятельность человека стремительно увеличивает ресурсы  $\text{CO}_2$ . В природе действует механизм балансирования его количества, но возможности биосферы не беспредельны. Ежегодное сжигание ископаемого топлива в топках и в двигателях достигает сейчас около миллиарда тонн (в пересчете на углерод). Избыток оксида углерода (IV) в атмосфере может привести к необратимым негативным последствиям парникового эффекта. Для того чтобы в природе не нарушился баланс, предложены проекты, которые даже сегодня поражают своей фантастичностью. Так, в частности, предполагается сжигать оксид углерода (IV) и закачивать его в глубины океана, из которых он вернется в атмосферу через сотни лет. Но это борьба со следствием, а не с причиной! А причина — сжигание нефти в топках котлов и в двигателях автомобилей. Поэтому рано или поздно, если не в силу недостатка в нефти, то под угрозой нанести вред человечеству, придется отказаться от привычки «топить печь ассигнациями».

Проблема избавления планеты от нефтяного чада имеет глобальный характер. Мы используем кислород из одного и того же воздуха. Углекислый газ, который выбрасывается в воздух какой-либо страной, через некоторое время распространяется по всей планете, в результате чего состав воздуха над Антарктидой мало чем отличается от состава воздуха над Америкой. Нас омывают одни и те же океаны. Поэтому так велика роль международного сотрудничества в решении проблемы уничтожения нефтяного чада.

## НЕНЕФТЯНОЕ БУДУЩЕЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

**Н**аш мир приближается к рубежу третьего тысячелетия новой эры... Каким оно будет, что ждет человека за этой чертой? Размышления о будущем всегда волновали человечество, а сейчас, когда так расширились наши представления о возможностях производительных сил общества, вопрос о завтрашнем дне становится актуальным как никогда. Сегодняшний уровень развития науки позволяет предвидеть события будущего и если не изменить их, то внести существенные коррективы для смягчения негативных последствий уже сегодня.

Многочисленные прогнозы о развитии общества и его производительных сил при всей разобщенности и противоречивости их отправных позиций едины в одном — оскудение природных сырьевых ресурсов, и в первую очередь нефти, станет определяющим фактором в тенденциях развития различных отраслей промышленности.

Преодолеть грядущую кризисную ситуацию в обеспечении невозобновляемыми природными ресурсами можно двумя путями: а) экономно и разумно использовать природные ресурсы; б) создать новые сырьевые источники, заменяющие традиционное природное сырье.

Следует признать, что прогноз о близости исчерпывания сырьевых запасов нефти не так и нов. Напомним, что еще в 30-е годы Н. Д. Зелинский предупреждал, что нефть как природный продукт конечна, что рано или поздно ее не станет. С тех пор определялись различные сроки, например в 100—150 лет или в 30—70 лет. Темпы добычи нефти растут, уровень научных прогнозов сейчас достаточно точен. Сегодня ученые определяют критический

уровень снижения запасов нефти где-то на рубеже XX—XXI вв. Можно дискутировать о точных сроках, но сам факт неоспорим — промышленно доступные запасы нефти освоены, резервы их незначительны, перспектива открытия новых залежей не так уж велика. Нефть стала дорогим и труднодоступным полезным ископаемым. За ней приходится идти в отдаленные необжитые районы, в сложные геологические регионы. Сейчас 1 т нефти Тюмени стоит 24 р., приполярная нефть будет стоить 100 р.

Если в 30-е годы предвидение Н. Д. Зелинского мало кого трогало, то сейчас последствия истощения нефти практически всем становятся очевидны. Не будем оперировать цифрами, а представим себе такую картину. Отопление в вашем доме отключено — нет мазута или природного газа в котельной. В булочной нет хлеба — поля не получили минеральных удобрений, из-за отсутствия топлива стоят трактора. Выйдите на улицу, и вы не узнаете город — нет машин, нет огней в домах, нет предметов повседневного быта. Это вообще мертвый, по нашим меркам, город. И это не фантастика. Такая обстановка могла стать вполне реальной, если бы мы сегодня не думали о завтрашнем дне.

Первый и естественный шаг в подобной ситуации — экономия нефти. Стимулом для этого явилось то, что эффективность производства продуктов в различных отраслях стали характеризовать так называемым нефтяным эквивалентом, под которым понимается совокупность сырьевых и энергетических затрат, соответствующих теплотворной способности эквивалентного количества нефти. Нефть стала критерием оценки рентабельности любого производства; она стала международным эталоном цены каждого продукта, производимого в любой стране земного шара.

Основной сферой потребления нефти пока является топливно-энергетический комплекс (рис. 18 и 19). Поэтому так ощутима экономия энергоресурсов в этой области. Действительно, 1% сэкономленных энергоресурсов при их оценке по мировым ценам эквивалентен примерно 1,9 млрд. р. После апрельского Пленума ЦК КПСС (1985 г.) в нашей стране проведена большая работа по экономии энергоресурсов, и в первую очередь нефти. Эти же вопросы экономии отражены в Основных направлениях экономического и социального развития СССР на

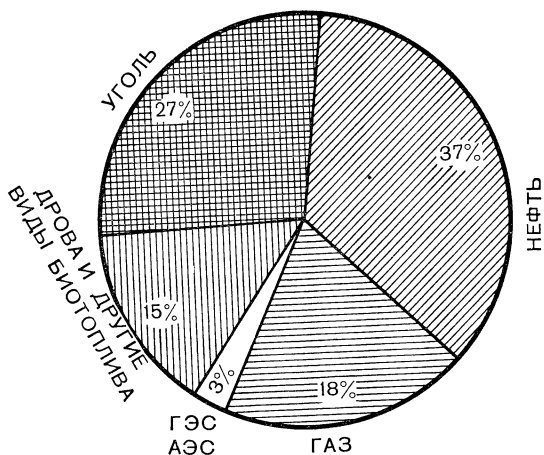


Рис. 18. Доля различных видов энергетических ресурсов в общемировой выработке первичной энергии.

1986—1990 годы и на период до 2000 года, а также в Комплексной программе химизации народного хозяйства СССР на период до 2000 года.

Активно ведется эта работа и в зарубежных странах. В США только за счет снижения энергозатрат в химической промышленности за 1981—1984 гг. сэкономлено 28 млн. м<sup>3</sup> сырой нефти. В ФРГ за тот же период сокращено энергопотребление на 41%. К 1996 г. США планируют снизить уровень потребления энергии на 60% и полностью отказаться от экспорта нефти.

Экономия нефти является лишь частной мерой, не решающей проблемы в целом. Если нельзя сегодня отказаться от сжигания нефти, то необходимо это делать с наибольшим эффектом. Поэтому оптимизация горения топлива также является мерой по экономии нефти. Перспективным направлением работ для осуществления этой задачи является использование каталитических генераторов теплоты, разработанных в Институте катализа АН СССР под руководством академика Г. К. Борескова. Каталитическое сжигание отличается от горения тем, что топливо окисляется на поверхности твердых катализаторов без пламени. Иными словами, получается костер без пламени, но с выделением того же количества теплоты, что и при ярком огне. При этом сгорание происходит

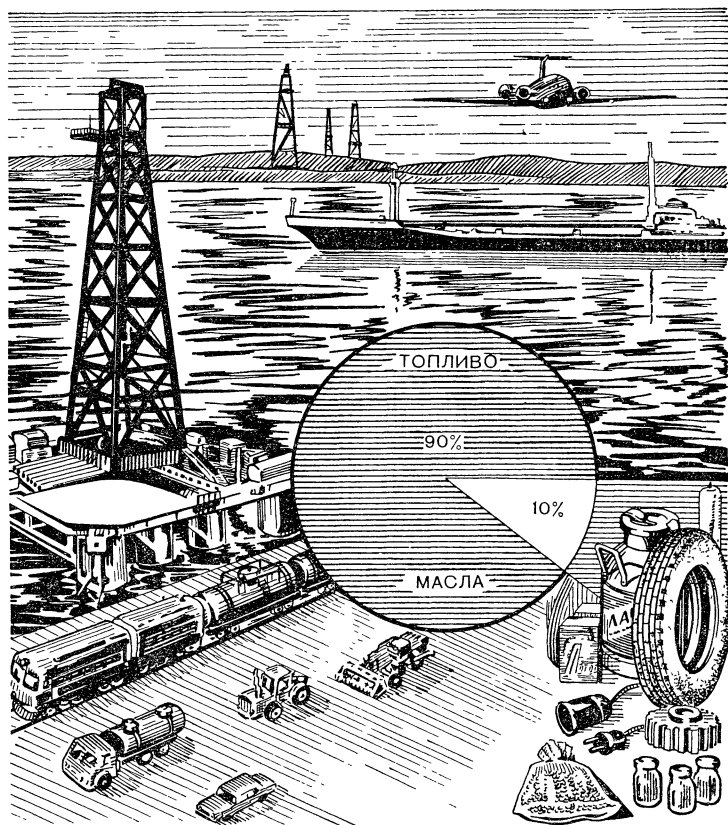


Рис. 19. Нефть — топливное сырье.

более полно, без выделения токсичных продуктов неполного окисления. Этот метод может быть использован для интенсификации горения топлив в камерах сгорания газовых турбин, для нагревания и испарения жидкостей, для сушки порошковых материалов и т. д.

Частичная замена углеводородов для получения бензинов может быть выполнена использованием их смеси с такими кислородсодержащими веществами, как метиловый, этиловый и бутиловый спирты.

Этанол уже сейчас широко используется в странах Латинской Америки, где его получают при ферментации сахарного тростника. Но наиболее близок по свойствам к

бензинам бутанол. Он может быть получен гидролизом биомассы, содержащей целлюлозу (солома, стебли кукурузы и сено).

Поиск заменителей нефтепродуктов порой принимает, на первый взгляд, курьезный характер. Одна из фирм США производит 4,5 мВт за счет сжигания... скорлупы грецких орехов. Ранее для получения этой энергии фирма сжигала 10 тыс. т нефти. А другая фирма вырабатывает 8,5 мВт электроэнергии за счет сжигания косточек персика.

Нефть представляет ценнейшее сырье для химической промышленности, и поэтому в будущем именно эта сфера потребления нефти будет приоритетной, так как источниками энергии должны стать более новые и совершенные процессы, и в первую очередь термоядерные реакции.

Одним из наиболее эффективных и реальных заменителей нефти может явиться спутник нефти — природный газ. Основными компонентами его являются насыщенные углеводороды  $C_1—C_5$ . Запасы природного газа значительно превышают запасы нефти. Транспорт природного газа значительно проще и эффективнее транспорта нефти. В нашей стране построены гигантские магистральные газопроводы общей протяженностью около 40 тыс. км. Пока природный газ в основном потребляется теплоэнергетикой. Отказаться сегодня от сжигания газа в котлах и турбинах электростанций мы не можем. Но будущее природного горючего газа — химия. Уже в ближайшем будущем крупнейшим центром по переработке природного газа станет Сибирь, где на Тобольском нефтехимическом комплексе природный газ заменит бензин прямой гонки при получении этилена и пропилена, синтезе полимерных материалов и других продуктов. Сотрудники Института нефтехимического синтеза АН СССР предложили получать из природного газа ацетилен при температурах более 2000°C:



Многим довелось видеть необычные заправочные станции с символом огнедышащего дракона. От них отъезжают машины с баллонами, укрепленными либо на крыше (у автобуса), либо под рамой (у грузовика). Это газозаправочные станции, снабжающие высокоактивным топливом (октановое число газа 107—110), использование которого в серийных двигателях внутреннего сгорания не



требует их серьезной переделки. При этом токсичность выхлопных газов такого двигателя значительно ниже. Учитывая это, Энергетическая программа СССР на длительную перспективу предусматривает быстрое развитие газовой промышленности.

Потребность в природном газе резко возросла в мире. В настоящее время на морских дорогах нефти стали курсировать танкеры-газовозы с объемом баков более 100 тыс. м<sup>3</sup>, перевозящие сжиженный природный газ.

Природные битумы и горючие сланцы так же, как и природный горючий газ, могут явиться источником нефтеподобных продуктов. Природные битумы представляют собой породы, напитанные высоковязкой нефтью, которую можно выделить при их нагревании. Так, при переработке природных битумов получено от 20% до 40% нефти. Этим способом из битумов месторождения Атабаски ежегодно добывают до 9 млн. т нефти. Запасы же природных битумов весьма значительны. Но следует иметь в виду, что переработка природных битумов требует больших затрат. Это и сдерживает сегодня их широкое использование. Горючие сланцы по своей природе занимают промежуточное положение между нефтью и углем. Соотношение водорода и углерода в них ниже, чем в нефти, но выше, чем в углях. Метод получения жидких топлив из них принципиально не отличается от предыдущего: термической обработкой при 500°C из них выделяют до 40—70% смолы. Смола находит применение как в качестве малосернистого котельного топлива, так и для производства ароматических углеводородов, фенолов и т. п.

Гидрогенизация угля сегодня многим представляется кардинальным решением сырьевой проблемы грядущего углеводородного голода. Сама идея получения жидкого топлива из угля хотя и не нова, но сейчас она переживает новый расцвет и заслуживает более пристального рассмотрения (рис. 20).

Мы уже отмечали, что главным отличием нефти от угля является отношение водорода к углероду (H : C). У высших сортов моторного топлива оно достигает 2, у углей колеблется от 0,5 до 0,8. Таким образом, чтобы уголь стал нефтеподобным продуктом, нужно на его основе получить вещество, содержащее большее количество водорода. Вот в этом и состоит вся идея использования угля для получения синтетической нефти.

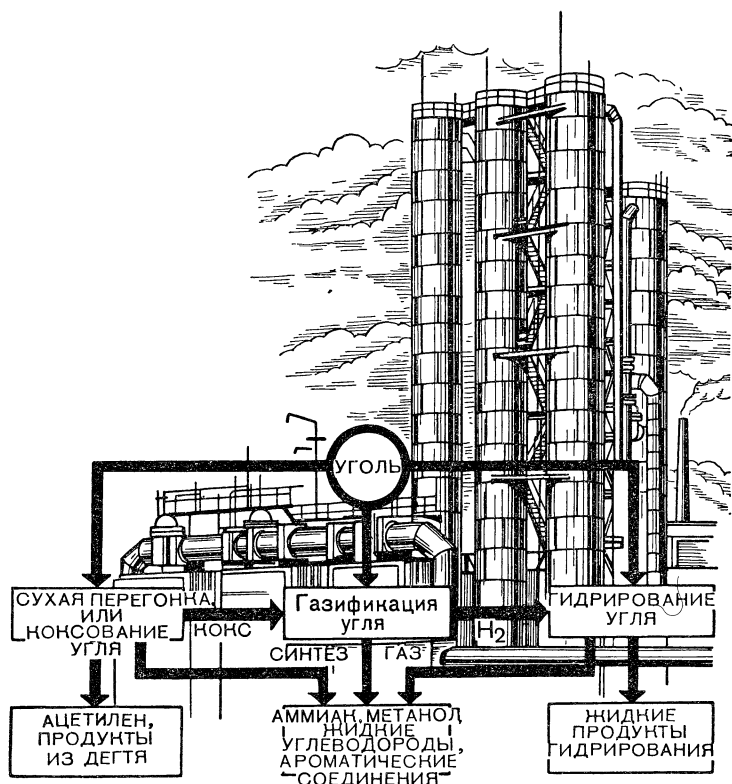


Рис. 20 Заменители нефти — уголь и природный газ

Итак, гидрогенизация углей. Сейчас к подходу к материализации этой идеи есть несколько путей. Один из них в СССР разрабатывается сотрудниками Института горючих ископаемых. Ими создана полупромышленная установка по каталитическому гидрированию бурых углей. Процесс осуществляется при высоком давлении водорода в присутствии катализаторов. По этому пути пошли и некоторые фирмы за рубежом. В ряде стран уже действуют такие промышленные установки. Но можно использовать другой метод, который предложен специалистами Энергетического института имени Г. М. Кржижановского. В основе его лежит идея пиролиза. При высокотемпературном нагревании без доступа воздуха молекулы веществ, составляющих бурый уголь, рас-

щепляются. Возникают свободные валентные связи. Водород, который содержится в буром угле, занимает освободившиеся вакансии. В результате одна часть перерабатываемого угля повысит свое отношение  $C : H$ . Так получится синтетическая нефть. Реализовать предлагаемые проекты можно только в районах, богатых дешевым бурым углем, например в Канско-Ачинском бассейне.

Ресурсы бурого угля на планете велики. Они составляют 40% от общих запасов угля. Теплотворная способность бурого угля в полтора раза меньше, чем у антрацита, и в два раза меньше, чем у нефти. Он содержит много влаги. Понятно, что от простого сжигания его в топках электростанций большой пользы не будет. Для этого нужно использовать магнетогидродинамические (МГД) генераторы, сконструированные нашими учеными. Эти генераторы сегодня позволяют с высоким КПД преобразовать теплоту, которая образуется при движении высокотемпературной плазмы ( $\sim 3000^\circ C$ ) через магнитное поле, в электричество. Плазма представляет собой субстанцию, состоящую из заряженных частиц, полученных при сжигании в особых условиях топлива. Вот таким топливом и может быть бурый уголь. Собственно, будет использоваться не бурый уголь, а продукты его неполного сгорания — оксиды углерода (II и IV). В процессе сгорания в МГД-генераторе вся эта смесь превращается в оксид углерода (IV), который на выходе из реакционной зоны подается в мелкодисперсную раскаленную смесь угля. При контакте частичек угля с оксидом углерода (IV) образуется оксид углерода (II). Из последнего при добавлении водорода каталитическими методами можно, в принципе, получить весь спектр тех углеводородов, которые ныне по традиции связывают с нефтехимией. Можно, например, вырабатывать этилен, полиэтилен, ацетилен, метанол и так далее — разнообразнейшее сырье для химической промышленности.

На рисунке 21 приведена общая схема возможных синтезов продуктов промышленного органического процесса на основе оксида углерода (IV) и водорода. Эти процессы протекают в присутствии катализаторов, и от их удачного выбора будет зависеть будущность приведенных процессов.

Использование оксида углерода (II) и водорода для синтеза различных соединений, которые ранее получались из нефти, не так уж и ново. Впервые в промышленных

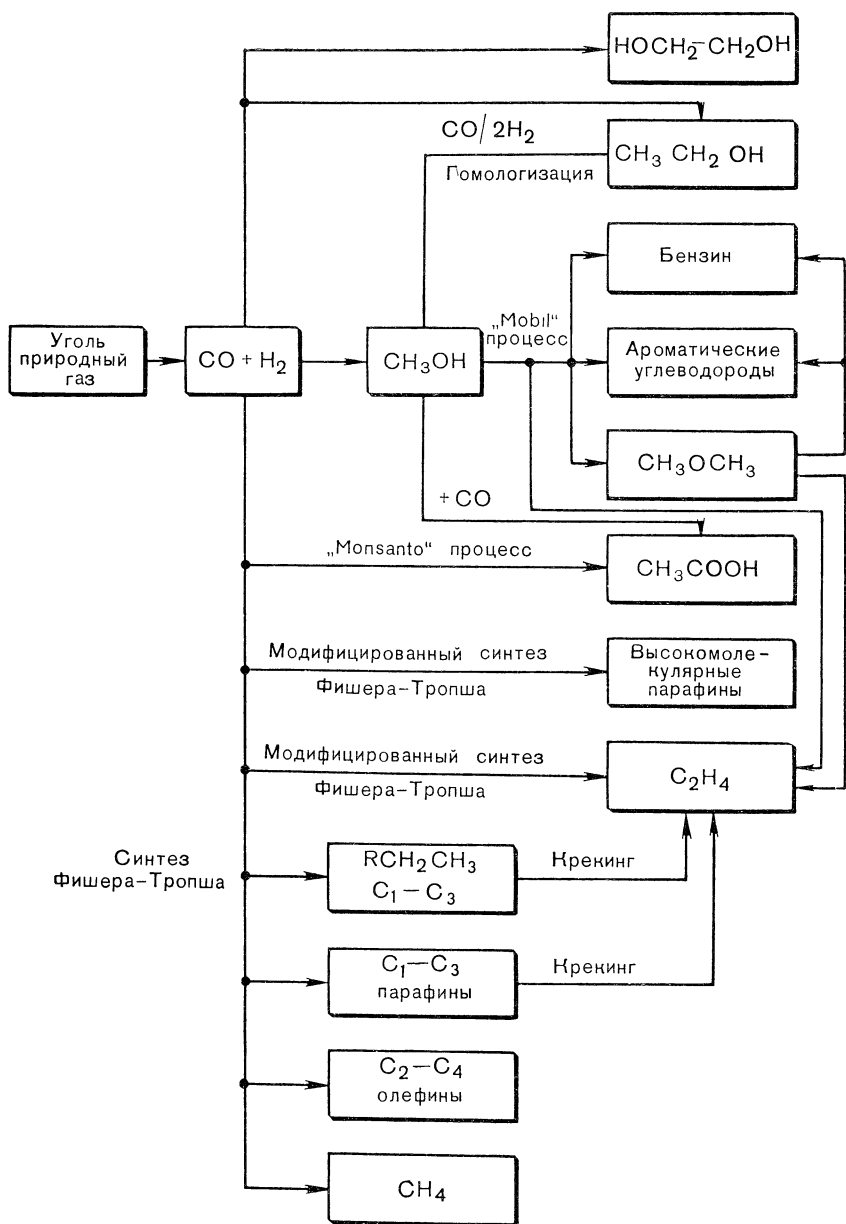


Рис. 21 Замена нефти углем и природным газом

масштабах углеводороды были получены в 1936 г. в Германии по схеме синтеза Фишера — Тропша:



В годы второй мировой войны Германия испытывала нефтяной голод, и выход из него виделся в создании заводов по получению синтетического жидкого топлива из оксида углерода (II) и водорода. Тогда в Германии работало 15 заводов, на которых получали в год 70 тыс. т топлива.

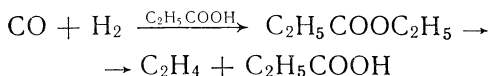
Развитие синтезов углеводородов на основе оксида углерода (II) и водорода идет по двум направлениям: а) синтез высокооктановых топлив, б) синтез ценных химических продуктов (непредельных углеводородов, высокомолекулярных парафинов и т. д.).

В СССР уже функционирует завод по производству синтетических углеводородов. В ЮАР на заводе «Сасол» (г. Сасолбург) действует мощная установка по получению искусственного жидкого топлива из продуктов газификации бурого угля. Основными продуктами этих процессов являются углеводороды. В качестве примесей получают спирты, кетоны, альдегиды. Последние используются для производства пластификаторов, моющих средств. Суммарная ежегодная мощность заводов по выпуску синтетических жидких топлив достигает сейчас 5 млн. т.

Кислородсодержащие продукты нефтехимии получают в основном на базе ненасыщенных углеводородов. Но и смесь оксида углерода (II) с водородом открывает возможность заменить нефть. Еще в предвоенные годы в Германии этим методом получали синтетические спирты. Реальный практический интерес представляет синтез этанола, а это может открыть путь получению и основного продукта переработки нефти — непредельных углеводородов:



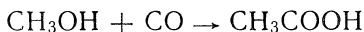
Синтез этих углеводородов может быть осуществлен и таким путем:



Наибольшее внимание в последнее время привлекает один продукт, полученный на основе оксида углерода (II)

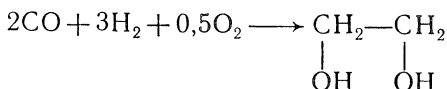
и водорода, — метанол. По мнению специалистов, с этим продуктом превращения данной смеси в недалеком будущем будет связано решение многих проблем получения традиционных продуктов нефтехимии на ненефтяном сырье.

Более 10 лет известна реакция карбонилирования:

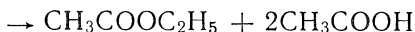
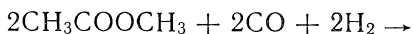
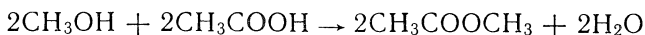


Но лишь в последнее время производство уксусной кислоты таким способом стало вровень по тоннажу с традиционным, основанным на нефтепродуктах. Одна из зарубежных фирм разработала эффективный родиевый катализатор этого процесса, что обеспечило ему высокую рентабельность и конкурентоспособность. В Советском Союзе получают уксусную кислоту по этой технологии.

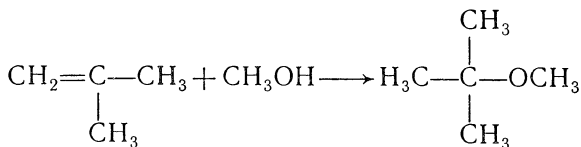
Выше мы приводили беглое описание синтеза этиленгликоля на основе окиси этилена, но этиленгликоль может быть получен исходя из оксида углерода (II):



Этилацетат — один из наиболее распространенных растворителей. Сегодня его получают этерификацией этанола уксусной кислотой. Но возможно получить этот продукт через метанол и оксид углерода (II):



Метанол может быть использован для промышленного выпуска высокооктановых добавок к моторным топливам. Имеется в виду не использование метанола в смеси с высшими спиртами, что уже делается в ряде стран, а синтез новой высокооктановой добавки:

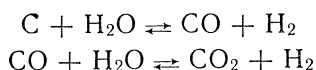


Этот эфир имеет октановое число выше 100.

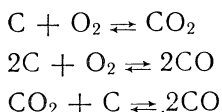
Говоря о синтезах на основе метанола или оксида углерода (II), мы часто употребляли слово «возможен»,

так как многие из процессов пока не вышли на промышленный простор. Этому в известной степени препятствуют высокая стоимость катализаторов и сложность отдельных технологических операций. Реализации разработок будет, бесспорно, способствовать усовершенствование и удешевление процессов получения оксида углерода (II).

Синтез оксида углерода (II) из угля в настоящее время осуществляется путем газификации бурых углей паровоздушной смесью. Сущность газификации состоит в образовании водяного газа при пропускании через слой угля паровоздушной смеси. При взаимодействии углерода с водяным паром протекают следующие реакции:



При взаимодействии же углерода с воздухом образуется сначала оксид углерода (IV):



Теплотворная способность водяного газа достаточно велика. Не так давно можно было встретить грузовики с баками газогенераторов, в которых из древесины получался водяной газ — топливо для автомобильных двигателей. И как знать, может быть, к этому еще придется вернуться.

Таким образом, у мира есть возможности выйти из критической сырьевой ситуации, связанной с запасами нефти. Надо еще раз подчеркнуть, что создавшееся положение ничего исключительного не имеет. Недостаток какого-либо ресурса — картина обычная. С истощением запасов нефти цены на нее возрастут. Станет выгодным реализовать приведенные выше технологии, которые пока дорогостоящи. Должна измениться и структура потребления нефти. Если сейчас только 10% всей добываемой нефти потребляется нефтехимией, а остальное идет на удовлетворение нужд топливно-энергетического комплекса, то в будущем рациональнее будет использовать нефть только для получения нефтепродуктов. Поэтому хотя и рано говорить о конце нефтяной нефтехимии, но и не поздно подумать сегодня о ее ненефтяном будущем.

## ДОРОГИ НЕФТИ

**П**редметом многолетних исследований ученых являются торговые связи народов мира. Одним из наиболее спорных вопросов среди археологов долгое время был «Оловянный путь» — маршруты поступления олова в Европу. А знаменитые «Шелковый путь» с Востока на Запад и Соляные караванные пути Африки! Дороги доставки товаров создавали города и придавали забвению целые цивилизации.

Непрерывно возрастающие масштабы торговли нефтью сделали ее в настоящее время как по объему, так и по стоимости товаром мирового рынка. В 1984 г. топливо составляло четвертую, а нефть — пятую часть общего объема товарооборота в мире, достигшего около 200 млрд. долларов. Исторически сложилось так, что основная масса месторождений нефти значительно удалена от мест ее потребления и переработки (рис. 22). Поэтому так велико значение маршрутов дорог нефти и средств ее доставки к потребителю.

Нефть — коварный товар для перевозки. На солнце закрытый сосуд с нефтью нагревается, а это приводит к взрыву, на холоде — застывает. При малой искре нефть загорается. В открытой таре ее нельзя перевозить — улетучивается часть продукта, да это и опасно. При пожаре нефть не зальешь водой. Известны десятки трагедий, возникших при транспортировке нефти, особенно тогда, когда люди не имели должного опыта обращения с таким экзотическим по тем временам грузом, как нефть.

Вероятно, первые дороги нефти пролегали на караванных путях в переметных сумах и амфорах. Затем их





Рис 22 Нефтегазоносные районы СССР

сменил гужевой транспорт. Так, наверное, в XVI в. нефть была впервые доставлена в Москву. По мере того как нефть и нефтепродукты приобретали все большее значение, становилось очевидным, что проблема их транспортировки становилась все более острой, так как от этого зависел исход конкуренции и судьба нефтяных предприятий.

С момента поступления нефти на мировой рынок, т. е. с начала XIX в., основным видом земных дорог нефти стали железнодорожные магистрали. Организация перевозок нефти этим способом не требовала сложных технических решений. Для этих целей стали использовать нефтеналивные железнодорожные цистерны — цилиндрические сосуды, укрепленные на рамах вагонов. Доставка нефти в цистернах и сегодня наиболее распространенный из видов транспортировки. Примером того, какую роль могут играть дороги нефти в конкуренции нефтяных держав, могут быть и железные дороги. В конце прошлого века США и Россия производили 90% всей нефти в мире. Лишь после открытия в 1883 г. железной дороги, связавшей нефтяные месторождения России с черноморским портом Батуми, на Европейском рынке возникла острая конкуренция этих стран, которая до этого момента была в пользу США. Конкуренция нефтедобывающих

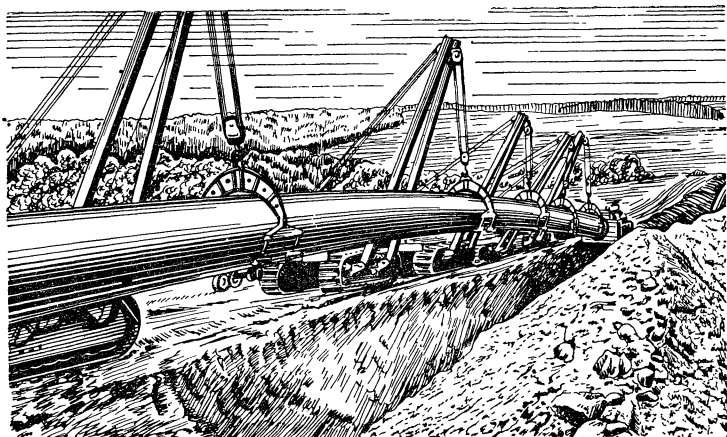


Рис. 23 Строительство нефтепровода

фирм за более дешевые виды транспорта дала толчок строительству нефтепроводов — сооружений для перекачки нефти по трубопроводу. Это один из наиболее надежных методов транспортировки нефти. Но этот способ не так прост, как кажется внешне. Необходимо уложить в сложных геологических и географических условиях в траншеи герметичный многокилометровый трубопровод, построить нефтеперекачивающие станции, в задачу которых входит перекачка нефти центробежными насосами. Строительство нефтепровода ведется не один год и требует немалых затрат. В нашей стране основным видом транспортировки нефти являются нефтепроводы (рис. 23). Крупнейший в мире нефтепровод «Дружба»; его протяженность — 5327 км. Нефтепровод Самотлор — Тюмень — Куйбышев протянулся на 2119 км. Общая же длина всех трубопроводов Западной Европы составляет 2500 км.

Первый нефтепровод длиной 6 км был построен в 1865 г. в США фирмой «Стандарт ойл» как попытка сбить высокие транспортные тарифы железнодорожных компаний. Нефтепроводы позволили «Стандарт ойл» приобрести независимость от железнодорожных компаний. Фирма впоследствии даже начала строить свои нефтепроводы параллельно нефтепроводам конкурентов с целью разорить их.

Идея «гнать нефть по трубам, а не перевозить» не

нова. Археологи находят в древних поселениях трубопроводы для перекачки воды. При всей видимой простоте перекачки нефти по трубам таит немало скрытых трудностей.

В нашей стране 85% всей добываемой нефти перекачивается по нефтепроводам, которые требуют определенных усилий по обеспечению их бесперебойной эксплуатации. Трубопровод уложен в траншею, извлечь его для ремонта непросто. Особую трудность реализации идеи «гнать, а не перевозить» представляет сама нефть. В некоторых нефтях, например таких, как нефти Мангышлака, содержится значительное количество воскоподобных при комнатной температуре парафинов. Такие нефти принято называть парафинистыми. Парафины и смолы выпадают в осадок в нефтепроводах, забивая их и препятствуя движению нефти. Кроме того, высокая вязкость этих нефтей также способствует этому. Поэтому нефтепроводы часто сопровождают «спутники» — трубы, по которым гонят горячую воду. Нефтяники Узбекистана предложили в нефтепровод накачивать воду, а затем впрыскивать нефть. Таким образом нефть, содержащая смолы и парафины, оказывается в водяном мешке и ее вязкость не отражается на скорости перемещения по нефтепроводу.

Немалую опасность представляют минеральные примеси в нефти. Они способствуют коррозии металла труб. И тем не менее «гнать, а не перевозить» пока самый надежный и удобный способ транспортировки нефти.

Но как бы ни были удобны и надежны в эксплуатации нефтепроводы, они не могут обеспечить доставку нефти так далеко, как это делается по морским дорогам. Эти дороги сегодня самые длинные и трудные. По ним доставляется более половины всей добываемой нефти. Длина морского маршрута доставки нефти из Персидского залива в США составляет 13,5 тыс. км, в Южную Европу — 8 тыс. км, из Саудовской Аравии в Японию — 12,5 тыс. км. Покрыть такие расстояния могут лишь современные, безопасные в эксплуатации морские суда. Сейчас объем морских перевозок нефти возрастает чрезвычайно быстро — почти на 60% ежегодно. Только за период 1950—1973 гг. он составил 57% всех морских грузоперевозок.

История морских дорог нефти связана с техническими средствами обеспечения более экономичной транспор-

тировки ценных грузов сырой нефти, с ростом танкерного флота. В конце XIX столетия США были основным поставщиком нефти в Европу. В те годы черноморский порт Батуми был «нефтяными воротами» России в Европу. Поставки нефти осуществлялись тогда парусниками, снабженными цистернами. Пионером такого флота было судно «Стат», построенное в 1869 г., на борту которого размещались цистерны с нефтью. Плавание на таком судне сопровождалось определенным риском. Нефть в цистернах раскачивалась в ритм колебаний судна, а это грозило ему потерять устойчивость. Возникли большие сложности и при разгрузке нефти. Пришлось преодолеть трудности, связанные с отсутствием опыта перевозок такого горючего материала, как нефть. Нередки были случаи, когда матрос с зажженной свечой спускался в трюм с целью проверить уровень нефти в танках или на корабле использовали открытые топки. К чему это приводило, понятно всем.

Резко возросшие потребности в нефти дали импульс к созданию паровых танкеров-нефтевозов. В этих судах нефть заливается не в цистерны, установленные на палубе, а в отсеки, именуемые танкерами. В 1878 г. на Каспии стал курсировать танкер «Зодиак», а в 1879 г. на линии Филадельфия — Гавр появился нефтевоз «Шарлес». И все же несмотря на это, еще многие годы большинство судов, курсировавших между Европой и Америкой, были по-прежнему парусные. Но со временем становилось очевидно, что парусные суда должны уступить нефтяные дороги паровым. Пароход мог пересечь Атлантику 14 раз в году, парусник — только 6. Экономическая эффективность парохода перед парусником была очевидна, и это предвещало конец века парусных судов. К началу XX в. паровые танкеры стали практически единственным видом транспорта на дорогах нефти. Этого требовали темпы роста потребления нефти. Если для производства первого миллиарда тонн нефти потребовалось 36 лет, то для второго — 8 лет, для третьего — 2 года.

Нефтедобывающая промышленность в географическом плане стала обретать мировой характер. В 50-х годах танкерный флот переживает бум своего развития. В эти годы число танкерных судов увеличивается вчетверо. Это в известной степени было вызвано изменением географии нефтяных дорог. США из экспортера нефти преврати-

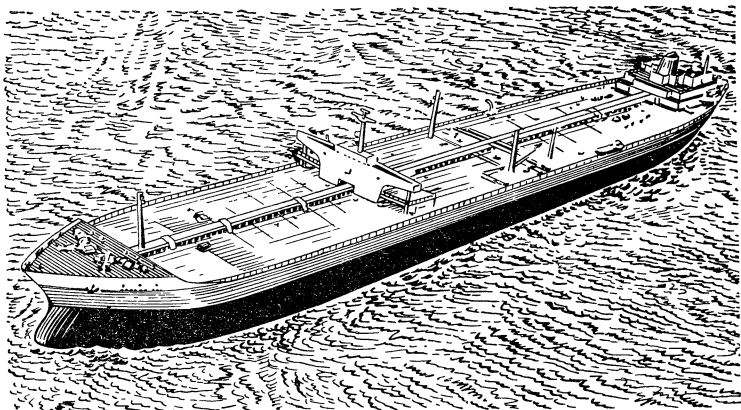


Рис. 24 Транспортировка нефти на супертанкере.

лись в ее импортера. Центры добычи нефти значительно удалились от конечных пунктов ее переработки. Поэтому так остро встал вопрос о создании гигантских кораблей-супертанкеров, которые при наименьшей затрате средств могли бы перевезти максимум нефти (рис. 24).

К 1960 г. появился танкер-гигант «Суермакс» грузоподъемностью 100 тыс. т, затем танкеры грузоподъемностью более 250 тыс. т.

В настоящее время на первое место выходит супертанкерный флот Японии. Ей принадлежат такие гиганты, как «Глобтик-Токио» грузоподъемностью 477 тыс. т и «Глобтик-Тэнкерз» — 700 тыс. т. В нашей стране также начаты работы по созданию танкеров большой грузоподъемности.

Тяжесть ударов нефтяных кризисов первыми испытывали морские дороги нефти. Многие супергиганты стали лишними. Рост цен на нефть снизил ее потребление в развитых странах. Изменилась и география дорог: экспорт сырой нефти из Северной Африки и Северного моря в Америку и Европу значительно сократил расстояние по сравнению с доставкой с Ближнего Востока.

Так какова же география морских дорог нефти в будущем? Она во многом зависит от тенденций на мировом рынке. Резкий рост цен на нефть в 70-е годы снизил ее потребление в мире; эта тенденция сохраняется и в 80-е годы. Поэтому около трети судов танкерного флота можно было бы, исходя из реальных потребностей, считать

лишними. Но как это ни парадоксально, размеры танкеров и их количество продолжали расти до начала 80-х годов. Появились проекты создания гигантов, способных перевозить 1 млн. т нефти за рейс. Но этим проектам не суждено было осуществиться. За период 1976—1980 гг. было построено 126 супертанкеров, каждый из которых мог за рейс перевозить в среднем более 240 тыс. т нефти. Но за последующее пятилетие было построено только 5 судов этой серии. Более 60% этих гигантов сегодня поставлено на прикол. А простой такого судна уже сам по себе несет колоссальные убытки. Стоимость среднего супертанкера составляет около 50 млн. долларов. Эксплуатационные расходы, которые несут фирмы и портовые сооружения, необходимые для обслуживания этих гигантов, также значительны. Поэтому стали не редкостью сообщения в газетах о продаже на слом супертанкеров или о проектах использования их как хранилища воды. Кроме того, неоднократные катастрофы супертанкеров и ущерб, который наносила разлившаяся в море нефть, во многом способствовали созданию мнения о бесперспективности их дальнейшего использования.

Супертанкеры явились порождением нестабильной политической ситуации в мире. Агрессия Израиля против Египта привела к закрытию Суэцкого канала. Западные страны, целиком зависящие от импорта нефти, вынуждены были спешно начать строить супертанкеры, которые огибали мыс Доброй Надежды, перевозя за рейс сотни тысяч тонн жидкого топлива. Но вот Суэцкий канал вновь открыт, и это грозит гибели «динозаврам моря», как называют супертанкеры в Японии. Верен ли этот прогноз, покажет время.

Данные о разведанных запасах нефти свидетельствуют о том, что 55% нефти находится на Ближнем Востоке, за ним следуют Латинская Америка, Советский Союз и Африка. Поэтому ближайшие годы не внесут серьезных изменений в географию морских дорог.

Следует иметь в виду, что объем морских перевозок может снизиться с вводом в строй трубопровода Саудовской Аравии и увеличением пропускной способности Сумедского и Иракско-Турецкого трубопроводов. Железнодорожный транспорт вряд ли будет играть столь значительную роль в будущем. На развитие дорог нефти, безусловно, будет влиять политическая ситуация в мире.

## «НЕФТЯНЫЕ ВОЙНЫ»

**В**ойны за рынки сбыта товаров, за обладание источниками сырья стали неперенным атрибутом общества, основанного на угнетении человека человеком. Если начать листать историю любой эпохи, то всегда найдутся страницы, посвященные кровавым событиям борьбы либо за обладание территорией, богатой полезными ископаемыми, либо за право продавать свой товар, где это более выгодно.

Почти 100 лет нефть неразрывно связана с событиями международной жизни. Можно сказать, что почти каждый международный конфликт и предыстория возникновения мировых войн в той или иной мере были предопределены нефтяной проблемой. Ведь борьба за нефть это и есть борьба за «дележ мира» между союзами капиталистов. Нефть прошла путь от товара, имеющего ограниченный сбыт только в своей стране, до предмета международной торговли, борьба за нее — от объекта борьбы между отдельными фирмами внутри страны до столкновений международных картелей, в которые втягиваются целые страны. Борьба за рынки сбыта, битва за контроль над нефтяными месторождениями, ожесточенная борьба за нефтяные поставки стали жизненно важным фактором со времени начала энергетического кризиса 70-х годов.

Около двух третей ныне разведанных запасов нефти капиталистического мира приходится на Ближний Восток. Отсюда нефть, как из гигантского источника, растекается в страны Западной Европы, Америки, в Японию. К этим потокам в последнее время добавились нефть Латинской Америки и Северного моря.

Мы не сгустили краски, назвав борьбу за нефть, за рынки ее сбыта войной. Это, действительно, войны, со своей стратегией и тактикой, со своими неписаными законами. Любой вид борьбы на этой арене носил в большей или меньшей мере политический характер. В свое время и Россия была ареной этой борьбы. Так, в начале XX в. Россия по объему добываемой нефти обогнала ведущую нефтедобывающую державу того времени — США. В 1900 г. Россия добывала 76 млн. баррелей<sup>1</sup> нефти, а США — 64. Основными нефтедобывающими районами России были Баку, Грозный и Эмба.

Для многих стран развитие промышленности связано с участием иностранного капитала. Например, промышленность и транспорт США были построены на европейские капиталы. Не избежала этой участи и Россия; при этом главным объектом притока иностранного капитала явилась нефтяная промышленность. Общая сумма на 1900 г. вложенного иностранного капитала в промышленность России возросла более чем в 4 раза по сравнению с предыдущими годами. При этом вклады в нефтяную промышленность увеличились более чем в 30 раз и составили 84 млн. р. Проникновение иностранного капитала в Россию было продиктовано не только стремлением овладеть доходными русскими предприятиями и выгодным рынком сбыта нефтепродуктов, но и попыткой оказать давление на Россию в ее внешней политике.

Царское правительство пыталось регулировать проникновение иностранного капитала в нефтяное дело сообразно интересам своих нефтепромышленников. Так, ставились всевозможные рогатки на пути «Стандарт ойл» — крупнейшей международной корпорации, главного соперника русской нефти на внешних рынках. В то же время создавался режим наибольшего благоприятствования будущим союзникам по войне 1914 г. — Франции и Англии. Интересы же германского капитала игнорировались.

Французская фирма «Бр. Ротшильды», используя тяжелое финансовое состояние нефтяной промышленности Баку, захватила большинство нефтепромыслов Апшерона. Царское правительство, давая концессии Ротшильдам, погрязло в долговой кабале. Иностранные

---

<sup>1</sup> 1 баррель = 159 л



концессии, пользуясь этим, оказывали давление на Россию и в принятии важных международных решений. Интересен в связи с этим и сам факт захвата нефтяных рынков Ротшильдами в собственной стране — Франции.

Ротшильды не могли захватить нефтяной рынок Франции, так как он контролировался объединением владельцев нефтеперегонных заводов, которые определяли цены на нефть и нефтепродукты. Прорваться в эту запретную для них зону Ротшильды могли только одним путем — выбросить на рынок большое количество более дешевой нефти. А этого можно было достигнуть только снижением таможенного барьера, ограждавшего рынок от поступления избыточной дешевой нефти и позволяющего поддерживать доходы нефтеперегонных фирм на высоком уровне. Тогда Ротшильды, используя свое влияние на царское правительство, потребовали от его имени у Франции снижения таможенных барьеров для поставок русской нефти, но эта-то нефть и добывалась Ротшильдами, была их собственностью. Так Ротшильды использовали иностранную державу, для того чтобы овладеть нефтяным рынком своей страны.

Фирма «Бр. Ротшильды» находилась в состоянии постоянной острой борьбы с фирмой Нобеля, которая, проиграв битву за контрольный пакет акций в Баку, овладела нефтеналивной флотилией Каспийского моря и Волги. Ей же принадлежали и железные дороги, доставлявшие нефть в глубь России. В дележе «нефтяного пирога» России активное участие принимали и английские фирмы, которые захватили нефтепромыслы Грозного и контролировали нефтеналивной флот России на Черном море. Торговля русским керосином была под контролем нобелевской фирмы «Нафтан». Борьба между фирмами велась не только на бирже или в кабинетах министров. Горели нефтепромыслы конкурентов, взрывались по «неизвестным» причинам танкеры и цистерны.

Но иногда, когда этого требовали интересы выгоды, фирмы объединялись и выступали единым фронтом. Так, в целях монополизации всего нефтяного дела в России фирмы «Бр. Нобели» и «Бр. Ротшильды» в 1902 г. заключили картельное соглашение по единой политике на внутренних рынках России. К тому времени этот картель вывозил по Каспию 57% всего производимого в России керосина и поставлял на нефтяной рынок России 45% мазута и 68% смазочного масла.

Не были сторонними наблюдателями в этой борьбе и русские нефтепромышленники Тагиев, Манташев, Лианозов и другие, которые в критические для себя моменты были готовы пойти на альянс с любым иностранным капиталистом, даже если это противоречило международным интересам России.

В 900-е годы уже были заложены ростки будущих экономических противоречий между державами, породивших первую мировую войну. Германия не имела собственных нефтяных месторождений и целиком зависела от США. Между тем немецкий рынок поглощал самое большое количество керосина в Европе. Поэтому в Германии борьба нефтяных фирм достигла наиболее острых форм. Весь нефтяной рынок Германии был под контролем американской фирмы «Стандарт ойл» — наиболее опасного конкурента русской нефти. У Германии был только один выход освободиться от опеки американцев — перейти на русскую нефть. Казалось бы, интересы отечественной промышленности должны были подтолкнуть Россию на этот шаг. Но русская нефть была лишь в том смысле русской, поскольку она добывалась в России. Фактически ею владели Ротшильды, Нобили, Детертинги. Они определяли, что выгодно, а что нет. В их интересах было сохранить то положение вещей, которое существовало. Возник серьезный русско-германский конфликт, который, по словам тогдашнего главы кабинета министров царского правительства Витте, предопределил неизбежность войны с Германией.

Годы, предшествующие первой мировой войне, знаменательны переходом флота на нефтяное топливо. Именно в этот период английский адмирал Дж. Фишер высказался, что кто владеет нефтью, тот правит миром. Эти слова произнес человек, который свято исповедовал истину, что могущество Британии зиждется на ее флоте. Лишь флот был способен держать в повиновении колонии и обеспечивать за их счет могущество Британии.

Первый лорд Адмиралтейства, а впоследствии премьер-министр У. Черчилль считал, что перевод судов на нефтяное топливо жизненно важен для Англии. Для выполнения поставленной задачи он считал пригодными все средства. Так, в Иран, где открыли богатейшие залежи нефти, были посланы войска под видом охраны посольства. Путем подкупа и закулисных сделок Англия настраивала местных шейхов против центрального правительст-

ва. Политика «разделяй и властвуй» дала свои плоды — Англия к началу первой мировой войны стала монопольной владычицей нефти Ирана.

Борьба за нефть Мексики, вероятно, стала первым примером того, что война, которую развязали США против этой страны, велась открыто, без всяких демагогических прикрытий, за обладание нефтью. Мексика в те годы располагала наиболее мощными запасами нефти на Северо-Американском континенте и занимала третье место по нефтедобыче. Политическая обстановка в стране была напряженной. Сменявшие друг друга политические группировки пытались с большей выгодой для себя продать нефть США. Но в 1912 г. поднялась волна крестьянского движения против олигархии. Нависла угроза над капиталами американцев, вложенными в нефть Мексики. В мексиканские порты Веракрус и Тампико был высажен десант, но это не спасло положения. Отряды вожака крестьян Панчо Вилья успешно действовали против правительственных войск. Поэтому против армии этого национального героя Мексики был послан двенадцатитысячный экспедиционный корпус, с помощью которого было подавлено народное восстание и к власти пришло угодное американскому нефтяному капиталу правительство.

Более 4 лет полыхал пожар мировой войны. Немалую лепту в него внесли нефтяные корпорации борющихся держав. Они были вовлечены в военные приготовления и влияли на созревание мировой войны. Страны Антанты оказались в лучшем положении, чем австро-германский блок, так как были обеспечены нефтью. Лорд Керзон сказал по этому поводу, что союзники приплыли к победе на волнах нефти. А нефтяные фирмы союзников в результате дележа итогов победы обогатились еще больше. Послевоенные годы наметили новые горячие точки борьбы за нефть. Уже тогда Ближний Восток (точнее, его нефтеносные районы) стал главным узлом противоречий международного капитала.

Послевоенные годы не внесли успокоения в мир нефтепромышленников. Грызня между ними приобрела более острые и непримиримые формы. Ситуация обострилась еще и тем, что прогноз по запасам нефти в США говорил об истощении залежей. А США поставляли на мировой рынок 65% всей нефти. Цена на сырую нефть превышала втрое уровень 1912 г.

Англия пыталась овладеть нефтеносными районами Саудовской Аравии. В Аравийской пустыне действовал английский разведчик Лоуренс. Английские дипломаты пытались в «законном» порядке овладеть нефтеносным Ираном. Франция блокировалась с Англией в борьбе против фирм США.

На международную арену вышла новая нефтяная держава — Советская Россия. Наиболее рьяными врагами Советской России стали те, кто потерял нефтепромыслы, нефтеперерабатывающие заводы и нефтеналивной флот. Они финансировали заговоры и террор, объявленный против нового государства. В этом они действовали рука об руку с правительствами стран Антанты. Показателем такой факт: в 1920 г., спустя 3 года после создания Советского государства, государственный департамент США благословил приобретение акций национализированной компании «Бр. Нобили». Этим подогревались надежды на скорое падение Советской власти. Пример Советского государства мог стать заразителем для других народов, ведь оно посягнуло на «священное право собственности». Первые деловые контакты западного мира с Советской Россией в Генуе показали, что нефтепромышленники (их представляла «Стандарт ойл») не намерены считаться с исторической действительностью.

Разрушенная в годы войны и интервенции, нефтяная промышленность была восстановлена и набирала силу. Нефть Советской России стала важным фактором развития международных отношений в послевоенном мире. Этот мир был недолгим. В конце 30-х годов прозвучали первые предвестники второй мировой войны. Одним из основных мотивов, побудивших международный империализм к этой кровавой авантюре, явилась все та же ненасытная жадность к новым рынкам, к обладанию новыми сырьевыми запасами.

Нефть к тому времени приобрела исключительно важное значение как энергетическое сырье и как исходный продукт для химической промышленности. Повсеместный переход военно-морских судов и кораблей гражданского флота на нефть, бурное развитие автомобильного транспорта превратили нефть в жизненно важный источник. Это привело к тому, что нефтяные корпорации стали открыто действовать рука об руку с правительствами своих стран, стремясь овладеть наиболее перспективными месторождениями нефти.

План «Барбаросса» предусматривал одной из основных задач германской армии захват промыслов Баку, а пока он не был реализован, немецкое командование полагало использовать промыслы Румынии. Этот план, как и ему подобные, был сорван. Поэтому в критический момент немецкие ученые и инженеры вложили немало усилий в освоение и создание промышленной технологии производства синтетических топлив на основе синтеза Фишера — Тропша. Стоит вспомнить, что к такой же мере прибегло и правительство ЮАР, когда это государство апартеида было подвергнуто нефтяному бойкоту.

В послевоенном мире обозначалась одна характерная черта последующей эволюции «нефтяных войн». Практически все нефтяные запасы западного мира были поделены между членами Большой семерки — «Эксон» («Стандарт ойл К° оф Нью-Джерси»), «Мобил» («Стандарт йол К° оф Нью-Йорк»), «Стандарт ойл оф Калифорния», «Галф», «Бритиш петролеум К°» и «Ройл Датч Шелл», которые установили контроль над производством и сбытом нефтепродуктов капиталистических стран. Они стоят за последними событиями на Ближнем Востоке, за кровавыми столкновениями на ирако-иранском фронте.

Создание союза «семи сестер» обострило борьбу на политической арене мира между странами, потребляющими нефть, и ее экспортерами. Последние для защиты своих интересов объединились в Организацию стран — экспортеров нефти (ОПЕК), куда вошли развивающиеся страны — Алжир, Венесуэла, Габон, Индонезия, Ирак, Иран, Катар, Кувейт, Ливия, Нигерия, Объединенные Арабские Эмираты. Стоит взглянуть на карту мира, как станет ясно, что эти страны еще совсем недавно были задворками капиталистических держав, откуда последние черпали сырье. Мир изменился, и хозяева нефти хотят диктовать условия ее продажи на мировых рынках. ОПЕК сама пытается бороться за рынки сбыта, устанавливает объем добываемой нефти и ее цену. Поэтому страны ОПЕК все активнее вмешиваются в политический спор вокруг нефти.

«Семь сестер» активно борются с ОПЕК на мировом рынке, прибегая к различного рода махинациям с целью дезорганизации положения на международных рынках. Так, в начале 80-х годов ими были установлены более низкие цены на продукты переработки нефти, чем сама

сырая нефть. Тем самым они добились снижения цены на нефть, нанеся удар по экономике ОПЕК.

Нефтяные монополии создают значительные резервные запасы нефти, резко повышают цены на продукты, поставляемые ими странам ОПЕК. Если раньше борьба за нефть могла быть разрешена посылкой экспедиционного корпуса, то теперь это стало «войной цен» на международных рынках.

Щупальца «семи сестер» протянулись и к ледяному континенту — Антарктиде. В 1961 г. 10 стран, ведущих исследования Антарктиды, заключили договор, призывающих сохранить этот континент как международную лабораторию для научных исследований. На Антарктиде самый чистый воздух и самая спокойная сейсмическая обстановка. Но вот в конце 70-х годов компании «Галф» и «Тексако» начали разведку континентального шельфа Антарктиды на нефть. Результаты были весьма обнадеживающие: под шельфом Антарктиды, действительно, скрываются запасы нефти, намного превосходящие по своему объему месторождения Северного моря. Антарктиде грозит участь стать объектом бесконтрольной деятельности частных компаний по разработке ее недр. Последствия такой деятельности приведут к тому, что Антарктида потеряет свою уникальность, а «нефтяной чад» нанесет ледяному континенту тяжелейшие травмы.

В 60-х годах на границе трех стран — Советского Союза, Чехословакии, Польши — состоялось открытие нефтепровода «Дружба». Советский Союз — единственная из социалистических стран, обладающая значительными запасами нефти. И его нефть стала поступать на заводы братских стран. Социалистические страны совместными усилиями построили газопровод от Оренбургского газового месторождения в Европу. Трасса, протяженностью 2750 км была разделена на 15 участков. На каждом из них трудились рабочие Венгрии, Болгарии, ГДР, Чехословакии, Польши и Советского Союза.

Социалистическое содружество породило новую форму обмена углеводородным сырьем, впервые в мировой практике между странами был начат обмен продуктами углеводородных производств. Создается этиленовое кольцо этиленопроводов, связывающих все этиленовые установки стран — членов СЭВ в единую систему. К 1990 г. протяженность этого кольца составит 3500 км, и оно свяжет 19 пиролизных установок.

## УГЛЕВОДОРОДНОЕ ДОСТОЯНИЕ ПЛАНЕТЫ

Сегодня уровень потребления энергии стал важнейшим показателем степени развития той или иной страны. И это отражает объективную картину современного мира, так как без энергетики сейчас нельзя решить ни одной задачи развития промышленности, транспорта, сельского хозяйства и т. д. Мировая потребность в энергии удовлетворяется преимущественно за счет нефти и газа.

Наша страна занимает одно из первых мест в мире по объему добываемых нефти и газа. Тем не менее, чтобы наше народное хозяйство опиралось на прочную энергетическую базу, у нас разработана и действует Энергетическая программа. В ней наряду с мерами по расширению добычи нефти и газа предусмотрены меры по рациональному их использованию.

Запасы нефти и газа в одной стране незримыми нитями связаны с проблемами сырьевых энергетических ресурсов других стран. И проблемы с нефтью и газом, возникшие в одной стране, в большей или меньшей степени отражаются на экономике и темпах развития другой. Поэтому важно рассмотреть вне политических границ географию нефти и газа.

Все основные месторождения нефти на нашей планете сконцентрированы в девяти основных районах, соответствующих либо континентам, либо их крупным частям: в Северной Америке, в Латинской Америке, на Ближнем и Среднем Востоке, в Южной Азии, в Юго-Восточной Азии, на Дальнем Востоке, в Австралии и Океании. В пределах этих регионов расположены государства с различным количеством стран и уровнем экономического развития. Рассмотрим их общую характеристику.

Североамериканский регион включает две промышленно развитые страны континента — США и Канаду. Запасы нефти этого региона оцениваются в 262 млрд. т. Часть их законсервирована, часть активно разрабатывается.

Латиноамериканский регион охватывает огромную территорию, протянувшуюся от южных границ США до оконечности Огненной Земли. Его запасы нефти составляют 232 млрд. т. В его пределы входят страны с развитой нефтегазодобывающей промышленностью (Венесуэла, Мексика, Тринидад и Тобаго, Колумбия, Аргентина) и страны, где эта промышленность только создается и ведутся активные работы по поиску нефти (Эквадор, Бразилия, Перу, Чили, Боливия), а также страны, где только начат поиск нефти (Гвиана, Гайана, Суринам).

Западноевропейский регион охватывает девять высокоразвитых стран (Австрия, Великобритания, Дания, Испания, Италия, Нидерланды, Норвегия, ФРГ, Франция). Это один из старейших нефтедобывающих районов. Отличительной особенностью его является то, что из 35 млрд. т добываемой нефти 32 млрд. т получают с акватории Северного и Балтийского морей.

Площадь Африканского региона превышает 30 млн. км<sup>2</sup>. Запасы нефти в нем составляют 154 млрд. т. Крупные нефтегазодобывающие страны расположены в северной и юго-западной части Африки.

Богатейшим нефтегазоносным районом является Ближний и Средний Восток — 366 млрд. т — более 1/4 всех мировых запасов нефти. В него входит группа стран, расположенных по обеим берегам Персидского залива (Бахрейн, Ирак, Иран, Катар, Кувейт, Объединенные Арабские Эмираты, Оман, Саудовская Аравия), по восточному побережью Средиземного моря (Израиль, Иордания, Ливия, Сирия, Турция). Все эти страны, за исключением Иордании, имеют развитую нефтедобывающую промышленность. Само понятие «черное золото» ассоциируется с Персидским заливом, где расположены месторождения-гиганты.

Южноазиатский регион охватывает Индостанский полуостров. Здесь расположены Индия, Пакистан, Бангладеш, Афганистан, Непал, Бирма, Шри-Ланка. Эти страны только вступают в разряд нефтедобывающих. Ресурсы региона — 195 млрд. т. нефти.

Юго-восточная Азия — обширный район планеты от



берегов Бенгальского залива до территориальных вод Австралии. Запасы нефти — 53 млрд. т. В его пределах находятся развитые страны (Индонезия, Малайзия) и только ведущие поиск нефти (Филиппины, Таиланд, Кампучия).

Наименьший из регионов — Дальний Восток (Япония и близлежащие острова) — имеет незначительные запасы нефти — 7 млрд. т.

Несколько больше нефти в регионе Австралии и Океании — 31 млрд. т, в основном в пределах Австралии.

Советский Союз является одной из ведущих нефтедобывающих стран мира. Сегодня у нас добывается около 1 млн. т нефти в год. Крупнейшие месторождения нефти расположены в районах Западной Сибири, Азербайджана и Западного Казахстана. Давно ведется добыча «черного золота» в районах Поволжья, Прикаспия, Западной Украины.

Нефть добывают теперь с больших глубин, чем это было раньше (2—4 км). На глубине 4—8 км сейчас ведется промышленная добыча более чем 1000 месторождений. Около 10% всей добываемой нефти получают с очень больших глубин. Например, в Мексике и США на больших глубинах получают до 70% всей добытой нефти, в Аргентине и Ливии — до 30%.

За нефтью приходится идти не только на большие глубины земной коры, но и в море. На шельфах всех континентов сейчас разрабатывается более 100 месторождений-гигантов. Промышленные запасы нефти открыты в акватории Атлантического, Индийского, Северного Ледовитого и Тихого океанов. Акватория Каспийского моря уже стала более известным местом добычи нефти, чем Апшерон. Нефтяные платформы Северного и Балтийского морей стали привычной деталью пейзажа.

Исходя из этих разведанных запасов нефти и строятся все прогнозы об общих запасах нефти. Можно ли считать эти подсчеты достоверными? Вероятно, в этом нельзя быть категоричными. Природа располагает еще неизвестными кладовыми, содержащими углеводородное сырье. Так, например, моря и океаны хранят гигантские запасы углеводородных газов... в твердом состоянии. Здесь нет опечатки: действительно, в твердом. В конце 50-х годов в Мексиканском заливе в районе небезызвестного «Бермудского треугольника» было отмечено необычное явление: на поверхности моря образовался кипящий газом

водяной купол, из которого вырывались газовые гейзеры. Подобные купола занимали значительную площадь. Они периодически появлялись и исчезали, выделение газа проходило бурно и сопровождалось большим шумом. Может быть, появление и исчезновение подобных гигантских выбросов газа и отметили радарные установки кораблей и самолетов в виде загадочно исчезающих островов «Бермудского треугольника»? Причина этого явления состояла в том, что Мексиканский залив расположен в зоне активной тектонической деятельности. Это привело к нарушению структуры пород, падению в них давления, образованию многочисленных разломов и трещин, по которым и мог вырваться наружу колоссальный объем горючего газа, заключенного в твердые, похожие на лед частицы газовых гидратов.

Газовые гидраты в условиях высоких давлений глубин Земли представляют собой своеобразный «горючий лед». Ранее уже говорилось, что нефть в глубинах Земли отличается от той, которая поступает на поверхность. Так и газ и вода в необозримых глубинах могут находиться в необычных формах. Понять это можно только с помощью физики и химии, которые дополняют геологические науки в толковании таких необычных явлений.

Газовые гидраты — это не что иное, как известные соединения включения, или, как их еще называют, кластеры. Эти вещества нельзя рассматривать как истинные химические соединения с валентными связями. Образно говоря, их можно представить как соединения-ловушки, когда одна молекула попадает в полый объем другой, более крупной молекулы. При этом молекула «гость» имеет связь с молекулой «хозяином». «Гостья» достаточно прочно связана с «хозяином», и для прорыва ее наружу необходимо приложить усилия. Молекула «хозяин» должна быть достаточно объемной, чтобы внутренняя ее полость отвечала объему молекулы «гостья». Соответственно и пространственная конфигурация молекулы «гостья» должна отвечать объему этой полости. При анализе состава углеводородов нефти мы уже сталкивались с аналогичным примером, когда молекулы мочевины избирательно «захватывали» определенный тип углеводородов.

«Хозяином» в газовом гидрате является молекула воды. Но сама молекула воды очень мала, чтобы создать окружение молекуле метана, объем которой равен

$5,8 \cdot 10^{-8}$  см. В данном случае должны создаваться условия, при которых молекулы воды сформируются в молекулу «хозяина». Ведь в газовых гидратах на 8 молекул газа приходится 46 молекул воды. Возможность создания таких макромолекул заложена в свойствах самой воды.

Вода в жидком состоянии состоит не из отдельных молекул, а из большого числа агрегатов в виде неустойчивых структур, которые под воздействием теплового движения разрушаются и вновь создаются. Связь между отдельными молекулами в этих структурах осуществляется за счет смещения электронного облака от атома водорода к атому кислорода, ковалентно связанного с атомом водорода. При этом  $s$ -орбиталь атома водорода частично «освобождается» для принятия электрона атома кислорода, принадлежащего соседней молекуле. В настоящее время установлено, что водородная связь длиннее ковалентной, поэтому она менее прочная. За счет водородной связи элемент структурной ячейки воды имеет тетраэдрический характер, при котором каждая молекула окружена четырьмя другими.

Жд. Бернал и Р. Фаулер высказали предположение о существовании в жидкой воде льдоподобных образований объемной конструкции в виде тетраэдров. Отдельные молекулы метана, растворенные в воде, могут оказаться в объеме такой структуры. Высокое давление и низкие температуры стабилизируют такое включение, и «горючий лед» готов. Таков в общих чертах механизм образования газового гидрата. Такой агрегат стабилен при определенных давлении и температуре, но стоит их нарушить (уменьшить давление и поднять температуру), газ вырывается из плена молекул воды. Последствия этого и наблюдали у Бермудских островов. Ведь  $1 \text{ м}^3$  газового гидрата содержит около  $200 \text{ м}^3$  газа.

Залежи газовых гидратов часто встречаются в осадках глубоководных акваторий и в недрах суши с мощной вечной мерзлоты. Так, залежи газовых гидратов открыты в заполярной части Тюменской области, и в их числе Мессояхское месторождение. Открыты залежи гидратов у побережья Аляски, берегов Мексики и Северной Америки.

Запасы газа в форме гидратов в десятки раз превосходят все разведанные запасы нефти. Как полагают ученые, 9/10 площади Мирового океана хранят газовые

гидраты. А это может стать неисчерпаемым источником углеводородного сырья.

Пока неясна сама причина, побудившая природу создать запасы горючего газа в таких необычных условиях: то ли это следствие миграции газа из глубин Земли в зону вечной мерзлоты, то ли погружение насыщенных газом водных растворов в осадочных породах...

Еще Н. Д. Зелинский говорил, что метан может явиться тем кирпичиком, из которого получатся все углеводороды нефти. Одновременно метан может быть предпоследней ступенькой в деструкции углеводородов нефти до углерода и водорода. Весь опыт нефтехимии и термодинамические расчеты показывали, что метан устойчив при температурах, не превышающих  $\sim 600^\circ\text{C}$ . Но вот оказалось, что в составе газа, выделяющегося из раскаленных до температуры близкой к  $1000^\circ\text{C}$  пород одного из вулканов Аляски, содержится 15% метана, а в газах вулкана Монтань-Пеле на острове Мартинике — около 18%. Подобный перечень, вероятно, мог быть длинен, если бы велись специальные исследования состава газов других вулканов.

Мнение о том, что метан нестойк при высоких температурах, базировалось на экспериментах и расчетах, выполненных при относительно низком давлении. Это отвечало небольшим глубинам Земли. Но вот что выявили расчеты и эксперимент: при высоком давлении метан оказался чрезвычайно устойчив при температурах, близких к  $1000^\circ\text{C}$ . Данный факт требует еще более убедительного подтверждения на природном материале, и, как знать, может быть, он сыграет свою роль в формировании взглядов на направленность поиска нефти. Но если этот факт — высокая термическая стабильность метана в зоне больших давлений — имеет конкретные природные проявления, то почему бы не стать метану глубинных залежей неиссякаемым источником углеводородного сырья?

«Горючий лед», глубинный метан — это, вероятно, не последние сюрпризы подземных кладовых, которые заставят нас пересмотреть сложившуюся точку зрения на запасы нефти и газа.

Чтобы завершить инвентаризацию запасов нефти, следует сказать еще об одном, редко упоминаемом, ее виде — «тяжелой» нефти (heavy oil). Этот вид углеводородного сырья в отличие от обычной, «легкой» нефти представляет собой вязкую массу с плотностью близкой

к 1, которая пропитывает песчаники и известняки. «Тяжелая» нефть имеется практически во всех нефтеносных районах, однако промышленная разработка этих залежей ведется в небольших масштабах. Общие запасы «тяжелой» нефти близки к 2000 млн. м<sup>3</sup>. В СССР добыча «тяжелой» нефти ведется в районе Тимано-Печерской впадины.

Ценность нефти как полезного ископаемого определяется углеводородами. Но планета располагает их запасами не только в такой форме, как нефть. Углеводороды содержатся и в угле, и в рассеянном состоянии в горных породах, и в подземных водах, и т. д. Углеводородное достояние планеты велико, но оно неравноценно по доступности и содержанию.

На Международной конференции по долгосрочным ресурсам, организованной Институтом ООН по обучению и исследованиям (ЮНИТАР) в конце 1975 г. в Монреале (Канада), было принято решение все источники углеводородного сырья на планете классифицировать как традиционные и нетрадиционные. К первой группе отнесены те, что стали для нас сегодня обычными источниками углеводородного сырья, — нефть и природный горючий газ, ко второй — жидкие и газообразные углеводороды, полученные из битуминозных пород угля, горючих сланцев, промышленных и бытовых отходов. Такое деление условно и отражает сегодняшние возможности по извлечению углеводородов. Так, технология добычи и переработки нефти уже хорошо освоена. А вот получение углеводородов из отходов пока не имеет совершенных и доступных технических решений. По мере появления новых технических возможностей рамки традиционных источников углеводородного сырья будут расширены.

«Тяжелая» нефть является частным случаем битумов или битуминозных пород. В широком смысле этим термином обозначается целая гамма твердых, вязких и жидких природных органических соединений, пропитывающих различные породы. Битумы и близкие к ним полезные ископаемые относят к разряду нетрадиционных источников углеводородного сырья. Их мировые запасы превышают 100 млрд. м<sup>3</sup>. Одной из разновидностей битумов являются горючие сланцы. По внешнему виду они похожи на бурые угли. Органическое вещество в них (кероген) окислено в большей степени, чем в нефти. Поэтому выделенные из битумов и горючих сланцев органические вещества восстанавливают в углеводороды. Таким путем по-

лучают из сланцевой смолы «синтетическую» нефть.

Но можно и другим путем подойти к получению сырья для нефтехимии из горючих сланцев — использовать подземную газификацию. Под землей на значительной глубине поджигают пласт сланцев. Выделяющиеся из такой подземной «реторты» газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) могут быть использованы в нефтехимической промышленности. Такая подземная газификация позволяет освоить крупные залежи углеводородного сырья в неблагоприятных для добычи полезных ископаемых районах. В нашей стране разработаны и широко применяются методы термической переработки сланцев в Эстонской ССР. Переработка 1 млн. т сланцев в год позволяет заменить 1,4 млн. т нефти.

С другим нетрадиционным источником углеводородных газов — метаном — связаны несчастные случаи с трагическими последствиями на угольных шахтах. Метан находится в толще породы в сорбированном состоянии, заполняя ее поры. По оценкам геологов, по всем угленосным районам мира запасы метана близки к 500 трлн.  $\text{м}^3$ .

Метан может содержаться и в подземных водах. Количество растворенных газов в них превосходит все разведанные запасы традиционного источника углеводородов — горючего газа. В пластовых водах месторождения Галф-Кост (США) растворено 736 трлн.  $\text{м}^3$  метана, тогда как разведанные запасы в США составляют только 20 трлн.  $\text{м}^3$ .

Сравнительно недавно бытовые и промышленные отходы стали рассматриваться с практической точки зрения — как возможный источник получения метана. Такой источник углеводородов для нужд энергетики имеет большие перспективы в сельской местности, где, кроме метана, получают удобрения. Сегодня на фермах США, Западной Европы агрегат для получения биогаза — метантенки — обязательное сооружение.

В основе технологии получения биогаза лежат процессы анаэробного брожения органических веществ. Сырьем для него могут служить пищевые отходы, канализационные стоки и продукты жизнедеятельности скота. Из стоков одного мясокомбината можно получить в сутки до 20 тыс.  $\text{м}^3$  газа. Станция биологической очистки промышленных стоков в сутки дает 180 тыс.  $\text{м}^3$ . Годовая «производительность» Люберецкой и Куприяновской

станций аэрации составляет 110 млн. м<sup>3</sup> биогаза. Современная биотехнология позволяет из отходов сельского хозяйства получать биогаз. Так, из 1 млн. т соломы можно получить около 140 млн. м<sup>3</sup> метана, а из 1 млн. т картофельной ботвы — 230 млн. м<sup>3</sup>. Запасы биомассы, пригодной для переработки, к 2000 г. достигнут только в нашей стране 5000 млн. т. Их переработка может обеспечить получение до 90 млрд. м<sup>3</sup> метана. Микробиологический синтез биогаза решает многие экологические проблемы больших городов. Количество метана, получаемого таким путем из городских свалок, может обеспечить до 10% потребляемого городом природного газа.

Из приведенных данных можно сделать один вывод — в кладовых природы имеются значительные запасы углеводородного сырья. Традиционные его источники поддаются точному учету, нетрадиционные — оцениваются ориентировочно. Добывать пока из последних углеводороды дорого, но нашей памяти свежи примеры, когда кризис сырьевых ресурсов служил импульсом развития технологий, которые в недалеком прошлом казались почти фантастическими.

Много или мало углеводородного сырья запасено планетой? Хватит ли его на наш век? Это в конечном итоге будет зависеть от того, как экономно и бережно мы будем пользоваться этим богатством.

## ЭКОНОМНО И БЕРЕЖНО

**Б**ыть экономным и бережливым в расходовании «драгоценного дара» природы — нефти — это отнюдь не означает быть скупым. Нужно только полнее использовать то, что добыто с таким трудом. Это означает также то, что необходимо в принимаемых решениях ориентироваться на завтрашний день, применять новые технологические решения, обеспечивающие меньший расход нефти на получение готовой продукции. Ведь нефть стала одним из наиболее дорогих полезных ископаемых и, несмотря на принимаемые меры, дешевле не становится. Чтобы понять пути уменьшения затрат на получение нефтепродуктов, нужно взглянуть на путь нефти от скважины до готового изделия глазами экономиста.

Поиск нефти — весьма дорогостоящее предприятие, проводимое без полной гарантии успеха. Оно требует значительных затрат для создания основных производственных фондов, т. е. средств, вкладываемых в орудия производства для поиска и добычи нефти. Но приходится тратить средства и на непроизводственную сферу — жилые поселки, здания сферы обслуживания, больницы, школы и т. п. Без этих непроизводственных объектов не смогут долгое время (а поиск нефти ведется не один год) жить геологи, бурильщики и их семьи. Затраты на это принято называть основными непроизводственными средствами. Но вот из десяти пробуренных скважин в одной оказались промышленные залежи нефти. Но затраты-то были сделаны на все скважины этой площади. Поэтому и затраты со всех «неудачных» девяти скважин переносятся на одну «удачную». Нефть, полученная с этой скважины, впитала затраты всех остальных. Значит, чем меньшим числом буровых



найдена залежь, тем дешевле нефть. Поэтому так высока цена прогноза на ее залегание.

О том, как эффективно работает предприятие, судят по тому, сколько продукции получено на 1 руб. основных производственных фондов. Например, годовая продукция нефтедобычи составила 10 млн. руб., а стоимость основных производственных фондов — 5 млн. руб. В таком случае фондоотдача будет равна 2 руб. Отсюда следует, что предприятие будет тогда выгодным, когда прирост добычи будет достигнут с меньшим объемом затрат, т. е. необходимо сократить (или по крайней мере не увеличить) количество используемого оборудования, не использовать дорогостоящие приборы и инструменты — все то, что мы называем основными производственными фондами. Нужно также сократить строительство временных поселков и уменьшить их инфраструктуру (дороги, здания сферы обслуживания и т. п.), т. е. уменьшить основные непроизводственные фонды.

Но это еще не все. Мы знаем, что сегодня половина разведанных запасов нефти остается в залежи. Поиск же и остальные сопутствующие ему операции проводились на все найденные в залежи запасы. Основные производственные фонды также формировались из расчета на всю нефть в залежи, а не на ту, что смогли достать. Поэтому затраты на недобытую нефть должны быть перенесены на добытую, поднятую на поверхность. Отсюда вывод — полнота извлечения нефти из залежи не только увеличивает топливно-энергетический потенциал страны, но и удешевляет добытую нефть.

Следует сказать еще об одной причине удорожания нефти, которая известна очень многим. Это факел горящего газа над буровой, видный издали. Еще очень часто такие факелы горят над нефтепромыслами. Не располагая техникой и условиями для использования попутного газа и конденсата, их сжигают по мере выделения из скважин. Факелом сгорают деньги, затраченные на поиск и добычу нефти, увеличивая ее стоимость.

Транспортировка нефти от места добычи до потребителя также сопряжена с потерей части нефти. Здесь она усугубляется тем, что затраты на нефтепроводы и другие виды транспортировки нефти сделаны из расчета перевозки заданного объема нефти. Неэффективная эксплуатация транспортных средств не обеспечивает их окупаемости. Это, как и потерянная нефть, повышает ее цену.

Основные производственные фонды необходимо сокращать и в связи с тем, что они обладают такими качествами, как моральное старение и технический износ. Например, при начале буровых работ использовалось одно оборудование, но, пока велись работы по подготовке скважины к эксплуатации, появилось новое, более эффективное, т. е. старое морально устарело. Поэтому если его быстро и эффективно не использовать — либо простаивает, либо работает вполсилы, — то оно может просто устареть, не оправдав затрат на свое приобретение. Технический износ оборудования при поиске и добыче нефти очень высок и неизбежен. Но есть еще одна беда у основных фондов нефтедобытчиков: оборудование часто хоронится в земле, так и не успев состариться и износиться. Представим себе такую картину. Скважина истощилась, промышленная добыча нефти прекратилась, нефтедобытчики переходят в другой район. Часть оборудования, та, что на поверхности, перевозится. А та, что под землей, смонтирована так, что не подлежит транспортировке, остается на прежнем месте. Поэтому фондоотдача в нефтедобывающей промышленности сегодня самая низкая среди других отраслей народного хозяйства и так дорога пока сегодня нефть.

Но на этом не прекращаются этапы удорожания нефти. Переработка нефти сегодня не располагает ни одним процессом со 100%-ной селективностью. Это ведет к значительной потере нефти и росту цен на конечный продукт.

Проведенный нами анализ позволяет выделить главные моменты по экономному и бережному расходованию нефти:

1. Обеспечить эффективный поиск с меньшими затратами средств. Для этого необходимо располагать надежными научными предпосылками и совершенной поисковой техникой. Поиск должен быть дешевле.

2. Добыча нефти из залежи должна обеспечить извлечение всей массы нефти. Для этого нужно создать новые условия нефтеотдачи.

3. Увеличение добычи нефти должно опережать темпы увеличения средств, вкладываемых в этот процесс.

4. Создать новые технологические процессы переработки нефти с высокой степенью селективности.

Так, затраты на добычу нефти возросли, а прогноз на ее запасы весьма пессимистичен. Вот почему приоритетным потребителем нефти становится та сфера промыш-

ленности, где цена конечного продукта выше. Такой сферой становится химия, а не энергетика. На это еще в начале века указывал наш соотечественник Д. И. Менделеев. Он считал, что неразумно использовать в качестве топлива не только нефть, но и остаточный продукт — мазут. «Топить остатками — не значит соломой, а все равно что топить едва вытрясенным сеном, который дал самое зрелое зерно»<sup>1</sup>.

Природный горючий газ сегодня стал по значимости вровень с нефтью. Из него теперь получают практически весь ассортимент изделий, на что ранее шла нефть. Но использование газа пока идет преимущественно на нужды ТЭЦ и котельных. Они потребляют ежегодно около 55% всего добытого газа. Экономический эффект от такого применения составляет около 7 руб. на каждые 1000 м<sup>3</sup> газа. Остальные 45% расходуются следующим образом: 40% — промышленностью, 5% — на нужды коммунально-бытового сектора. И те 40% газа, которые используются промышленностью на получение автомобильных шин, полимерных материалов и т. п., обходятся стране в порядке 40 руб. на каждые 1000 м<sup>3</sup> газа. Сравнение двух цифр — 7 и 40 — наглядно показывает экономическую невыгоду переработки углеводородов в виде топлива. Но, к сожалению, пока эта потеря неизбежна. Замена газа на уголь потребует еще больших затрат на очистку «выдыхаемого» ТЭЦ газа до требуемых норм чистоты. Поэтому одним из мероприятий по сохранению углеводородного достояния природы должно быть создание принципиально новой технологии энергетики, исключающей потребление углеводородных энергоносителей.

Движение за экономное и бережное расходование нефти приняло глобальный характер для всех передовых в техническом отношении стран. В 1984 г. был опубликован чрезвычайно важный для нас документ «Основные положения Энергетической программы СССР на длительную перспективу». В нем предусмотрено проведение работ по сокращению потерь нефти и объемов ее использования для нужд энергетики. Особое внимание обращено на создание новых источников энергии, не использующих в качестве энергоносителя нефть. Аналогичные цели предусматривает принятая в США программа «Независимость».

---

<sup>1</sup> Менделеев Д. И. Соч. — М., 1949 — С. 548.

Политика экономии нефти влияет на изменение наших взглядов на сырьевые ресурсы планеты и на развитие идей по созданию новой техники. Так, например, создание солнечной энергетики потребует огромных количеств таких дефицитных материалов, как серебро и галлий. Развертывание атомной энергетики обусловило повышенный спрос на бериллий, ниобий, ванадий. Все это, в свою очередь, будет способствовать появлению новых добывающих отраслей. Центр тяжести добычи нефти и газа переместится в труднодоступные районы Аляски, Австралии, Западной и Северной Сибири, возрастет добыча на шельфе Мирового океана. Все это потребует новой техники, а это стимулирует и развитие машиностроительной промышленности.

Как мы убедились, отдельные отрасли современной промышленности связаны как звенья единой цепи. Нефть в этой цепи — одно из главных и наиболее хрупких звеньев, поэтому так важно бережно к нему относиться.

## СОЕДИНЕННЫМИ УСИЛИЯМИ

**Н**а протяжении многих лет девизом Международных геологических конгрессов были слова «*Mente et malleo*» — «с умом и молотком». На последнем, XXVII Международном геологическом конгрессе в Москве академик В. А. Котельников, приветствуя его участников, предложил этот девиз дополнить словами «*veribus unitis*» — «соединенными усилиями». В таком виде девиз наиболее полно отражает усилия многих наук понять тайны вселенной. «Вдаваясь в глубь Земли, приходится вдаваться в глубь многих знаний» — это было сказано еще в начале века Д. И. Менделеевым, но актуальность его слова по-настоящему обрели лишь сейчас.

Наш бурный век поставил перед исследователями недр проблему познания глубинного строения Земли. Без ее решения сегодня нельзя ответить на вопрос, по каким законам шло образование нефти и других полезных ископаемых. А для этого необходимо получить сведения об устройстве планеты в целом и в особенности о строении ее самых верхних слоев.

До недавнего времени геологи довольствовались либо той информацией, которую давали керны, полученные при бурении, а также газ и нефть, либо следами прошлых геологических событий на поверхности планеты.

Первым и естественным шагом к познанию глубин Земли было создание сети сверхглубоких скважин. Первой сверхглубокой скважиной на территории СССР явилась Кольская скважина. Такие скважины будут бурить у нас в Прикаспии, Криворожском бассейне, на Урале, в Днепровско-Донецкой впадине. Сверхглубокая

---

<sup>1</sup> Менделеев Д. И. Соч. — М., 1949. — С. 235

скважина — это целое предприятие. Ее бурение представляет большие технические трудности. Приходится преодолевать сопротивление горных пород в условиях высоких давлений и температур. Поэтому каждый керн, поднятый с больших глубин, по цене и значимости не уступает керну с лунным грунтом.

Материалы, полученные на Кольской сверхглубокой скважине, заставили пересмотреть наши представления о многих, казалось бы, неопровержимых фактах. Так, полагали, что на глубинах 7 км температура будет около 50°C, а на глубинах 10 км — 100°C. На самом же деле температура растет с глубиной быстрее: каждые 100 м проходки прибавляли 2,5°C. На глубине 10 км температура была 180°C. Для предохранения бурового оборудования от перегрева в скважину закачивали раствор, охлажденный до 10—12°C, а на поверхность он возвращался нагретым до 45°C.

Кольская скважина опровергла также еще бытующее представление о безжизненности глубин Земли. На глубине более 8 км были найдены микроорганизмы, которые обитали на Земле еще около 2,5 млрд. лет назад. На всем протяжении скважины было зарегистрировано присутствие таких газов, как гелий, метан и другие углеводороды. По мере погружения содержание углеводородов сходит на нет, но возрастает содержание гелия и водорода.

Однако любая скважина, даже самая сверхглубокая, может рассказать только о строении Земли, а не о законах, обусловивших это строение. Приблизить к решению этой проблемы нас может лишь союз таких наук, как геология, физика и... космонавтика. Да, только космонавтика позволяет масштабно увидеть картину строения нашей планеты. Перед другими методами исследования Земли она имеет неоспоримое преимущество — обзорность. Специальная космическая фотосъемка предоставляет информацию о геологических процессах, приведших к формированию сегодняшнего лица планеты. Материалы космических съемок сейчас стали основными для изучения географии Земли. Они позволяют более обоснованно прогнозировать поиск полезных ископаемых. Съемка ведется со спутников «Метеор», «Космос» и орбитальных станций.

Космическая съемка обеспечила не только выявление перспективных районов по добыче нефти и газа, но и позволила организовать более рациональное использова-

ние уже открытых месторождений. Так, космическая съемка обнаружила на территории Туркмении и Узбекистана перспективные залежи нефти и газа.

Научные данные, полученные из космоса, дают возможность узнать о раннем этапе жизни нашей планеты. Эту информацию предоставляют исследования планет земной группы, поскольку эволюции всех планетных тел земного типа принципиально близки. Изучая эти планеты с помощью космических аппаратов, ученые как бы перелистывают первые страницы истории Земли. Как знать, может быть, там и скрыта тайна происхождения нефти!

Особенную значимость в настоящее время для познания тайн глубин Земли приобрел метод, созданный союзом многих наук — сейсмический метод исследования. Сущность его можно проиллюстрировать простым примером: камень, брошенный в пруд, поднимает радиально расходящиеся волны, которые, встречая на своем пути препятствия, затухают с различной скоростью. Так и горные породы, обладая упругостью, по-разному реагируют на действие какого-либо источника колебания. Если собрать информацию об этих волнах, то можно судить о характере пород, их отразивших. Аналогичный эффект действия проявляется и при прохождении электромагнитных волн по породе. Эти волны, встречая на своем пути различные по электрическим свойствам породы и жидкости, рисуют с помощью ЭВМ геологическую картину строения исследуемого района. Так, отличие в электрическом сопротивлении различных веществ дает возможность представить минералогический состав пород. Данный метод позволяет сделать то, чего не может пока ни один другой, — проникнуть на сотни километров в глубь Земли.

Для проникновения в большие глубины необходим мощный источник тока, формирующий электромагнитный импульс. Физики предложили использовать для этих целей плазму — струю раскаленных до нескольких тысяч градусов продуктов сгорания веществ. Эффект действия магнитно-гидродинамических генераторов (МГД-генераторов) основан на возникновении электрического поля при прохождении через магнитное поле плазмы. МГД-генератор для сейсмических исследований в упрощенном виде представляет собой ракетный двигатель на пороховом заряде. При сгорании этого заряда плазма пересекает магнитное поле и генерирует сильный магнитный импульс. Такой «выстрел» имеет мощность в несколько ме-

гаватт, что недоступно пока для любой электростанции. Он может контролировать площадь в десятки квадратных километров.

Как известно, нефть является плохим проводником тока, но ее спутник — вода — проводит его хорошо. Это дает основание судить и о присутствии нефти. Этим же путем можно получить информацию и о перспективных слоях породы для локализации залежей нефти. Данный метод позволяет не только выявить перспективные по нефти районы, но и четко ограничить районы расположения залежей. А ведь раньше для этого приходилось вести дорогостоящее оконтуривание района сетью буровых. Этим методом, например, удалось выявить перспективные нефтегазовые участки в Прикаспии и Восточной Сибири.

Завтрашний день нефти зависит не только от того, как много нам удастся узнать, где и как найти нефть, но и от того, как более эффективно мы сможем использовать с таким трудом добытое ценнейшее полезное ископаемое. Ведь эффективность использования сырья и определит в конечном итоге масштабы потребности в нем. А это зависит от того, какой вклад в общие *с о е д и н е н н ы е у с и л и я* внесет нефтехимия.

Нефтехимия сформировалась как самостоятельная наука на базе органической и физической химии. Поэтому и завтрашний день этой отрасли знаний будет зависеть от уровня развития органической и физической химии. Уже сегодня исходя из достигнутого можно представить себе, как будет выглядеть нефтехимия завтра.

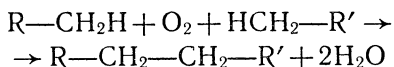
Прежде всего, это будет «холодная» нефтехимия. Высокотемпературные процессы переработки нефти (пиролиз, крекинг и т. д.), требующие больших затрат электроэнергии и сырья, будут заменены на каталитические процессы, протекающие при относительно низких температурах, высокоселективно, с малой потребностью в сырье. Да и сама сырьевая база получения многих нефтепродуктов будет иной. В первую очередь основой многих процессов станут предельные углеводороды. Сегодня первой ступенькой в синтезе многих продуктов нефтехимии является этилен. Потом уже на его основе получают полимеры и другие разнообразнейшие продукты. Этилен же получают из предельных углеводородов.

Но в начале 70-х годов было показано, что в присут-

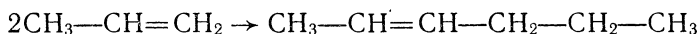
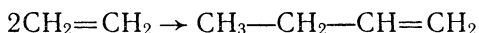


ствии кислот метан может быть превращен в изобутилен.

Из изобутилена синтезируют полиизобутилен. В настоящее время данный мономер получается очень сложным путем. Поэтому синтез изобутилена из метана (сырье — природный газ) очень перспективен. Остановка только за эффективным катализатором. Сегодня уже известны металлокомплексные катализаторы активации предельных углеводородов. Работы в этом направлении продолжаются, и можно ожидать их материализации в будущих технологических процессах. Не исключена возможность, что одним из направлений активации предельных углеводородов явится реакция такого типа:

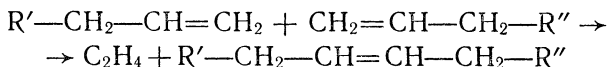


Широко будет внедряться в промышленность реакция олигомеризации этиленовых углеводородов. Так, в качестве мономеров будут использоваться бутилен и амилен вместо этилена и пропилена:



Олигомеры транспортабельнее, чем этилен и пропилен, и круг их возможных превращений шире.

Большое распространение получит такое взаимопревращение олефинов, как реакция диспропорционирования:



Прогресс нефтехимии во многом будет зависеть от создания новых катализаторов. Это не только упоминавшиеся ранее металлокомплексные катализаторы, но и гетерогенные окисные и металлические. Открытие таких окисных катализаторов, как цеолитов, доказывает, что этот тип катализаторов еще не исчерпал своих возможностей. А создание мембранных металлических катализаторов открывает перспективу разработки принципиально новых технологий.

Не исключено, что переработка углеводородного сырья пойдет не совсем обычным путем — синтез продуктов нефтехимии с участием ферментов. В лаборатории ученые уже получили полимер путем микробиологического преобразования метилового спирта. Найдены микробы, способные осуществить ферментативный синтез окиси пропилена.

Есть еще одна сторона девиза «*veribus unitis*», которая придает ему особую глобальную актуальность в наши дни. Сейчас на мировую арену вышли новые развивающиеся страны с проблемами, с которыми промышленные страны не сталкивались на сходных этапах своего становления. Это в первую очередь высокий прирост населения. Он идет в среднем со скоростью 2—3% в год, тогда как в развитых странах он обычно составляет от 1 до 0,5% и даже меньше. Стремительный рост населения требует увеличения производства пищевых продуктов, повышения энергетических расходов общества. При этом энергетика развивающихся стран стала в массовом порядке основываться на тех же технологических средствах, что в промышленно развитых странах.

Характерной чертой энергетики развивающихся стран является низкая эффективность, так как основные энергоносители имеют растительное происхождение. В этих странах сельское хозяйство является преобладающей сферой хозяйственной деятельности населения. Электроэнергия доступна лишь незначительной части людей, живущих на этих территориях. Поэтому до 80% энергетических потребностей данных государств удовлетворяется за счет вырубки лесов.

Заготовка дров в 8 раз превышает объем получения промышленной древесины. Ежегодно сжигается 1 млрд. м<sup>3</sup> дров, т. е. около 8 м<sup>3</sup> на человека. Но несмотря на это «энергетический рацион» в странах, потребляющих биотопливо, в 10 раз ниже, чем там, где используются нефть и газ. Такое удовлетворение энергетических потребностей является главной причиной современного вредного влияния на биосферу нашей планеты.

За последние 10 лет площадь лесов на Земле уменьшилась на 3%. Наибольшие потери понесли тропические леса, которые справедливо называют «легкими планеты». Если темпы, с которыми в настоящее время сводятся леса, сохранятся, то в очень недалеком будущем леса будут сведены на нет.

Последствия уничтожения лесов отражаются на изменении режима подпочвенных вод, ведут к наступлению пустыни. Использование растительности в качестве топлива является решающим фактором в опустынивании. За весь исторический период ему подверглось около 1 млрд. га. Темпы этого процесса составляют около 7 млн. га за год. Специалисты считают, что для сдерживания этого отрицательного явления необходимо увеличить производство электроэнергии в развивающихся странах в 5—10 раз. В противном случае энергетический дефицит в условиях демографического взрыва нанесет тяжелейший урон всей планете.

Решить эту проблему в условиях нашего сложного времени будет чрезвычайно трудно. И ключи к ее осуществлению будут в руках тех, кто располагает запасами нефти, совершеннейшей технологией ее переработки. Для развивающихся стран решение этой проблемы в одиночку невысказимо. Поэтому так высока цена помощи этим странам, выполняемая в рамках программ ООН и сотрудничества с развитыми странами.

Итак, «*veribus unitis*» — залог существования и развития нашей планеты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Любая попытка дать характеристику такому многогранному дару природы, как нефть, никогда не может быть ичерпывающей. О нефти писали и будут писать. И это понятно: меняется мир, меняется наше представление о нем, точка зрения на явления природы и общественной жизни.

Нефть стала неотъемлемым элементом нашей повседневной жизни. В истории человечества еще не было полезного ископаемого, настолько прочно связанного с жизнью общества. Это явление знаменательно и тем, что оно показывает, как современный человек зависит от природы. А ведь он, казалось, стал так могуществен! Что это — расплата за комфорт, за изобилие? Вероятно, все-таки не так. Мы овладеваем тайнами природы не затем, чтобы зависеть от нее, а чтобы извлечь из ее даров максимум пользы и, повысив свой жизненный потенциал, подняться на следующую ступень. Сейчас или по крайней мере где-то в недалеком будущем мы подойдем к этой черте. Исчерпав все, что могла дать нефть, человек должен найти новые источники материальных благ и энергии.

Сегодня в структуре топливно-энергетического комплекса нефть занимает ~40% (рис. 8). По своей эффективности как энергоноситель нефть не имеет себе конкурентов. Это, к сожалению, предопределило тот факт, что нефть горела и, вероятно, еще долго будет гореть в топках. Николай Дмитриевич Зелинский по этому поводу сказал: «Химику всегда трудно примириться с тем, что он видит, когда сжигается нефть в топках»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Материалы Чрезвычайной сессии АН СССР. — М., 1931.

При всей противоречивости прогнозов о запасах нефти очевидно одно — рано или поздно ее станет не хватать для обеспечения наших запросов. Что же должно занять место нефти? Природный газ? Но и его запасы не безграничны. США обладает 23% промышленных запасов газа, а их хватит не более как на 10 лет при имеющихся темпах потребления. Уголь? Скорее всего, именно этот вид полезных ископаемых может отвести угрозу от существования индустриального общества. Ведь в свое время большинство теперешних продуктов нефтехимии были получены углехимией. Нефть оттеснила уголь и все, что связано с ним, на второй план. Теперь настало время об этом вспомнить. Примеры возврата к забытым технологиям в критические минуты в истории уже были.

Наметившиеся тенденции в направлениях использования нефти дают основания полагать о приоритетной переработке ее на химические продукты. Темпы развития нефтехимии почти вдвое опережают нефтепереработку. К 2000-му году нефтехимическая промышленность по мощностям должна увеличиться более чем в 30 раз. От нефтехимии зависит решение не только технических задач, но и проблем питания.

Негативные последствия от промышленного использования нефти представляют серьезные, но преодолимые трудности. История знает немало примеров, когда разведанные запасы природного сырья, попав в нечистые руки, обращается в зло. Не избежала этого и нефть. Но есть в истории и примеры, когда любое новое открытие используется только на благо человека и во имя человека. Эти примеры показала наша страна.

Советские ученые сделали многое в поиске, исследовании и разработке способов применения нефти. Много делается, чтобы полноценно и без потерь использовать нефть. Нет оснований полагать, что с исчерпыванием запасов нефти (если такое состоится) будет написана последняя страница ее истории. Нефть дала миру неисчислимые богатства, и это не может пройти в истории бесследно.

В издательстве «Просвещение» вышли книги по химии из серии «Мир знаний»

Макаров К. А. Химия и медицина. 1981 г.

Книга знакомит учащихся старших классов с некоторыми достижениями теоретической и практической медицины, являющимися результатом развития химической науки. При изложении материала автор основывается на знаниях учащихся, полученных ими на уроках химии. Рассказывает о незнакомых учащимся свойствах некоторых химических элементов — положительном и отрицательном их влиянии на жизнедеятельность человека.

Макаров К. А. Химия и здоровье. 1985 г.

В книге изложены основные данные о влиянии продуктов питания на здоровье человека. В помощь школьникам автор приводит специфические биохимические реакции, лежащие в основе процессов роста и развития организма. В пособии уделяется большое внимание гигиене питания, приведены данные о молекулярных механизмах разрушающего действия алкоголя, никотина и наркотиков на здоровье человека и наследственность.

Николаев Л. А. Металлы в живых организмах. 1986 г.

В научно-популярной форме автор рассказывает о роли металлов в биохимических процессах, протекающих в живых организмах. Есть ли металлы в клетках растений, животных, человека? Конечно, речь идет не о металлах в свободном состоянии, но ведь металлы легко переходят в ионное состояние, образуя соли. Есть ли они в клетках? Если да, то зачем и что они там делают? Случайные ли это примеси или необходимые составные части живого вещества?

Ответы на эти и другие вопросы, связанные с присутствием металлов в живых организмах, читатель найдет в этой книге.

**С о л о м о н З. Г.** Волокна из нефти и газа. 1981 г.

В книге рассказывается о химических веществах, получаемых из нефти и газа. Наряду с описанием волокон, широко применяемых в быту, автор большое внимание уделяет практическому применению волокон, которые могут длительное время работать при высоких температурах, воспринимать тепловые нагрузки, выдерживать воздействие горячих кислот, щелочей и растворителей.

**С т а ф е е в К. Г.** Жизнь вулканов. 1982 г.

Книга содержит современные сведения о вулканической деятельности Земли. Она расширяет знания учащихся в области химии природных процессов, происходящих на нашей планете при вулканических извержениях. В ней рассказывается о зависимости типов вулканических извержений от химического состава пород, приводятся данные о составе вулканических продуктов в зависимости от их агрегатного состояния. Рассмотрены петрохимические типы пород, сообщается о содержании различных элементов в вулканических газах и жидкостях, показана связь ряда месторождений полезных ископаемых с вулканическими породами разного химизма.

# СОДЕРЖАНИЕ

## *Введение*

3

## ЧТО ЖЕ ТАКОЕ НЕФТЬ?

5

## ПРОШЛОЕ НЕФТИ

21

## ПЕРВЫЙ ШАГ НЕФТИ НА ПУТИ К НЕФТЕПРОДУКТАМ

36

## СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ НЕФТИ

40

## КОРОЛЕВА ПЛОДОРОДИЯ

62

## НЕФТЯНОЙ ЧАД

67

## НЕНЕФТЯНОЕ БУДУЩЕЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

74

126



**ДОРОГИ НЕФТИ**

**86**

**«НЕФТЯНЫЕ ВОЙНЫ»**

**93**

**УГЛЕВОДОРОДНОЕ ДОСТОЯНИЕ ПЛАНЕТЫ**

**101**

**ЭКОНОМНО И БЕРЕЖНО**

**110**

**СОЕДИНЕННЫМИ УСИЛИЯМИ**

**115**

*Заключение*

**122**

АНАТОЛИЙ МАРКОВИЧ ТАБЕР

## НЕФТЬ — ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

---

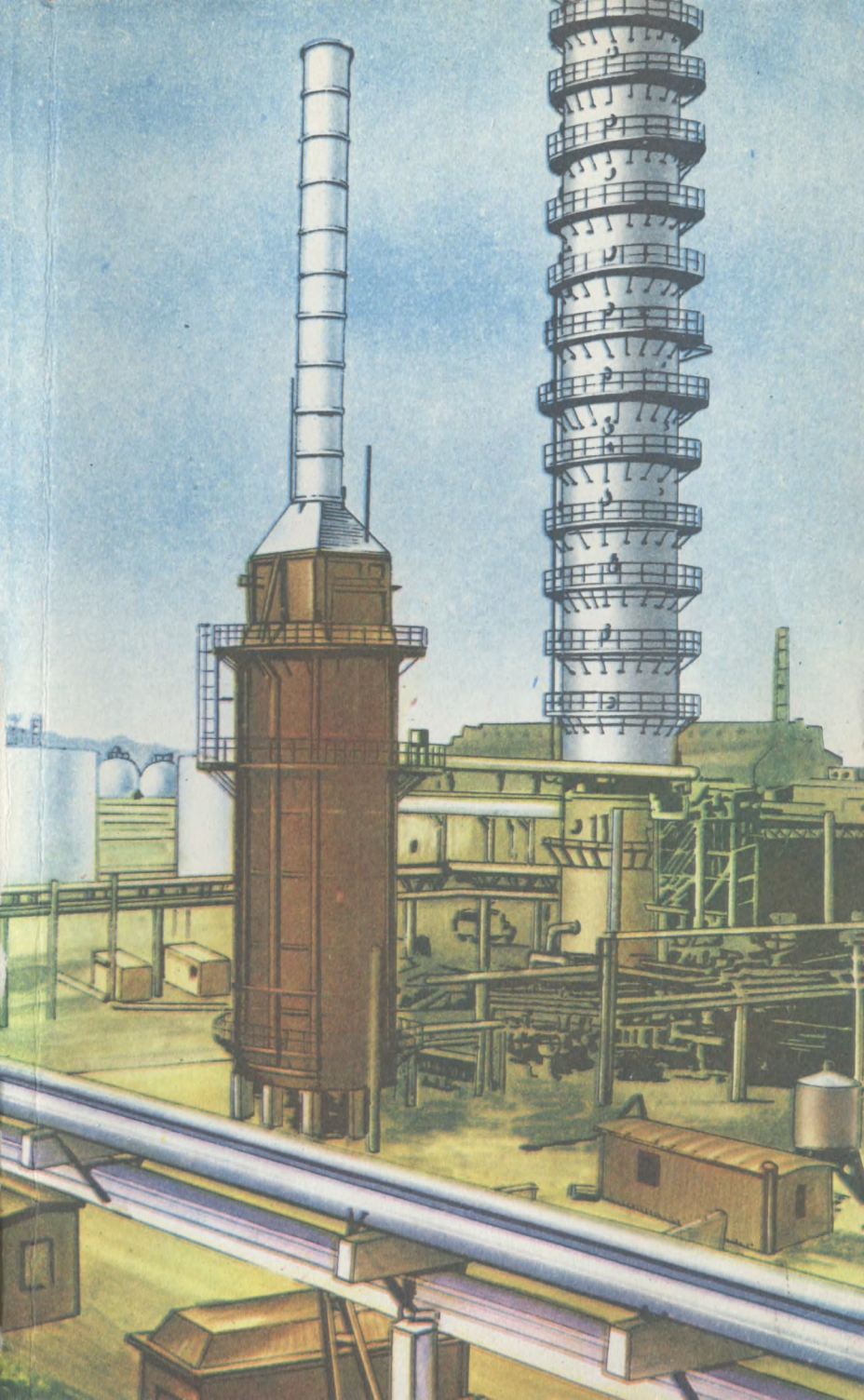
Зав редакцией *А. Н. Соколов*  
Редактор *Л. И. Соколова*  
Художественный редактор *Короткова И. В.*  
Технический редактор *И. Ю. Щукина*  
Корректор *Л. Г. Новожилова*

ИБ № 10331

Сдано в набор 25.12.86. Подписано к печати 01.09.87.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бум. кн. журн. отечеств. Гарнитура  
литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,72. Усл.  
кр. отт. 7,56. Уч. изд. л. 6,32. Тираж 66 000 экз. Заказ № 2  
Цена 25 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство  
«Просвещение» Государственного комитета РСФСР по де  
лам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при  
Государственном комитете СССР по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли, 150014, Ярославль,  
ул. Свободы 97



25 к.

