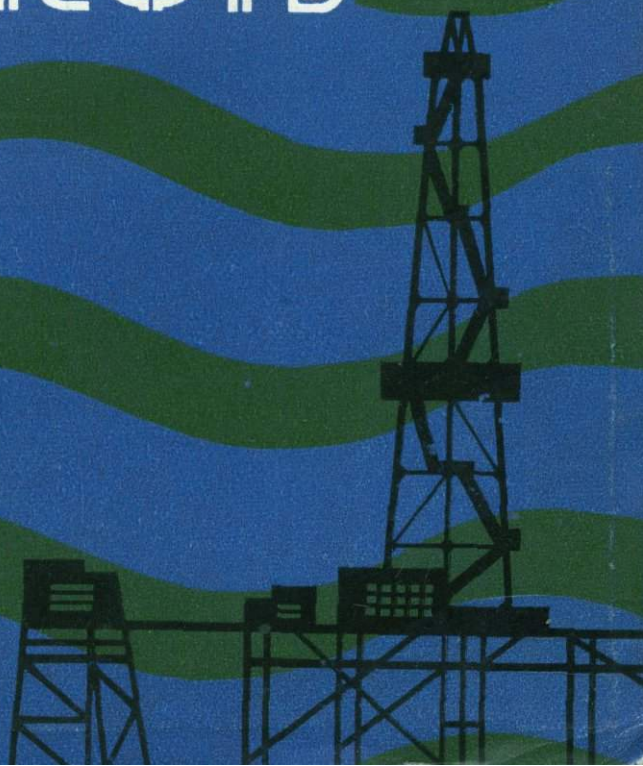


А. А. КАРЦЕВ

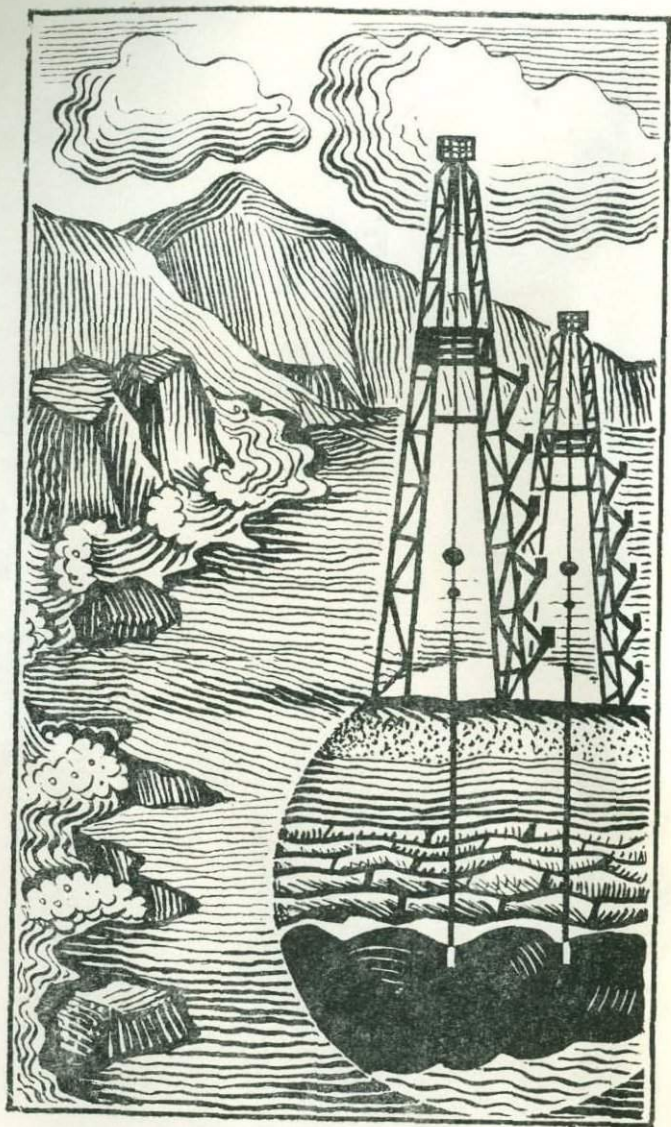
С. Б. ВАГИН

ВОДА  
И  
НЕФТЬ





МОСКВА  
«НЕ Д Р А»  
1977



А. А. КАРЦЕВ

С. Б. ВАГИН

553.98

# ВОДА И НЕФТЬ

МОСКВА «НЕДРА» 1977



2092

Карцев А. А., Вагин С. Б.  
Вода и нефть. М., «Недра», 1977,  
112 с.

В книге рассмотрены связи между интереснейшими природными веществами — водой и нефтью. Показана роль воды в образовании скоплений нефти, их сохранении и разрушении. В то же время и нефть оказывает влияние на состав и движение подземных вод, а это в свою очередь помогает искать ее скопления. Вода имеет большое значение при добыче нефти, ее переработке и транспорте. Рассмотрено влияние нефти на окружающую нас водную среду, показаны масштабы загрязнения подземных и поверхностных вод, меры и способы борьбы с ним. Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Ил. 34, список лит. — 7 назв.

К  $\frac{20804-073}{043(01)-77}$  191-77

## ВВЕДЕНИЕ

Вода и нефть... Это два различных вещества, две жидкости, значение которых для человека огромно. Вода имеет значение космическое, планетарное. Планеты, на которых нет воды, например Луна, развиваются совершенно иначе, чем те, на которых она есть. Без воды нет жизни. Она необходима для всех сторон человеческой деятельности. Как сказал Леонардо да Винчи, «воде дана была великая власть стать соком жизни на Земле». Роль воды всегда была и будет исключительной, тем не менее она не остается неизменной. Отношения между человеком и водой все время усложняются.

Ну а нефть? Конечно, значение нефти на нашей планете, не говоря уже о космосе, не идет ни в какое сравнение со значением воды. Вода — самое распространенное вещество в природе, а количество нефти на Земле весьма ограничено: приблизительно  $10^{12}$  т против примерно  $10^{17}$  т воды, т. е. в сотни тысяч раз меньше. Более того, как мы уви-

*«Вода — первооснова всего сущего»*

*(Фалес Милетский)*

*«Нефть — кровь современной цивилизации»*

дим, вода совершенно необходима и для возникновения нефти. Утверждать же, что нефть необходима для воды, нельзя.

И все же роль нефти огромна. Можно сказать, что она не только кровь современной цивилизации, но в определенной мере и ее плоть (вспомним значение синтетических материалов, вырабатываемых из нефти!).

Таким образом, значение и воды, и нефти для нас очень велико. Но почему «Вода и нефть»? Что связывает эти два вещества?

О воде и нефти написано очень много книг. Наша задача в том, чтобы поговорить о связях, существующих между двумя интереснейшими природными веществами, о той громадной роли, которую играет вода в жизни нефти, а отчасти и о том, какое значение начинает приобретать нефть для воды. Именно такой смысл мы вкладываем в заглавие «Вода и нефть».

Вода — однородное химическое соединение, молекулы которого состоят из трех атомов, принадлежащих двум химическим элементам — водороду и кислороду. Два атома водорода и один атом кислорода располагаются по углам равнобедренного треугольника. По современным воззрениям в воде имеются одновременно и ассоциированные молекулы, образующие рыхлый каркас (льдоподобные рои), и отдельные молекулы, свободно заполняющие промежутки в этом каркасе. Вода является прекрасным растворителем, и поэтому все природные воды представляют собой растворы, содержащие массу разнообразных веществ — солей, газов и др.

Нефть — это не что иное, как смесь тысяч различных химических соединений, основная масса которых представлена углеводородами — молекулами, содержащими атомы углерода и водорода. Кроме того, имеется немалое количество соединений, содержащих, помимо углерода и водорода, серу, кислород и азот. Среди этих соединений имеется немало высокомолекулярных (поли-

меров), в молекулах которых число атомов доходит до нескольких сотен. Таким образом, мы видим, что с точки зрения химии нефть неизмеримо сложнее воды.

Вода на Земле находится в атмосфере (облака, дождь, туман и др.), на поверхности в виде самого крупного своего скопления — океана, на суше в виде рек, озер, материковых льдов и, наконец, на глубине в виде подземного океана, т. е. подземных вод в горных породах. Главная масса воды на Земле (океан и основная часть подземных вод) соленая. Пресной воды не так много и, что очень важно, распространена она на Земле неравномерно, есть обширные районы, где нечего пить.

Вода обеспечивает жизненные потребности человека, служит основой промышленности, сельского хозяйства, транспорта. Пока для всего этого, за исключением, пожалуй, транспорта (морские водные пути), используется пресная природная вода. Ресурсы такой воды заслуживают самого бережного отношения!

Нефть залегает в горных породах на глубине от нескольких сотен метров до нескольких километров. Распределена она очень неравномерно. В одних районах мира, например близ Персидского залива, сосредоточена большая часть известных запасов в виде сравнительно немногочисленных залежей. В то же время обширные страны содержат лишь мелкие месторождения или даже вовсе лишены нефти.

Когда говорят, что нефть — кровь или сок технической цивилизации, имеют в виду в основном энергетическое использование получаемых из нефти фракций (бензина, керосина, мазута) на электростанциях и в транспортных двигателях. Но еще великий Д. И. Менделеев сказал: «Нефть — не топливо, можно топить и ассигнациями...» Хотя сейчас в качестве топлива используют только фракции нефти, полученные при ее перегонке, переработке, все же сжигание основной части вещества нефти в общем близко к тому, о чем говорил Д. И. Мен-

делеев. Ведь нельзя ни на минуту забывать об ограниченности и невозобновляемости ресурсов нефти! Чрезмерное расходование нефти в качестве топлива — одна из причин современного энергетического кризиса в капиталистических странах. Не следует также забывать, что нефть — удивительное вещество, доставляющее и смазки, и строительные материалы (пластмассы), и одежду (из синтетики), и лекарства и т. д. Необходимо разумно использовать этот замечательный дар природы.

Итак, значение воды для нефти громадно. Это относится, с одной стороны, к образованию и накоплению нефти в природе, а с другой, — к технике добычи, транспорту, переработке нефти. Мы начнем с того, каковы условия, в которых нефть вместе с водой находятся в природе, в толще осадочных горных пород. Кратко об этом говорится в первой главе. Обратимся к рассказу о разнообразных и подчас неожиданных отношениях, в которых находятся два феномена природы — вода и нефть.

## ВОДА И НЕФТЬ В ЗЕМНЫХ НЕДРАХ



ода играет огромную роль в жизни нефти. В воде из органических остатков она

образуется, в океане подземных вод преобразуется, а подчас и полностью разрушается. Но прежде чем говорить о всех этих процессах, рассмотрим, в каких условиях находится нефть в горных породах земной коры и как она связана с водой.

Нефть, как и вода, заполняет пустоты в породах. Степень насыщения водой и нефтью зависит от условий образования и состава пород. Что же представляет собой горная порода, как она образуется?

Разнообразные минералы в земной коре распределены не беспорядочно, а группируются в некоторые естественные ассоциации — горные породы. Так, породой можно назвать гранит, в котором преобладают кварц, полевые шпаты и слюды. Встречаются породы, состоящие полностью из одного минерала. Например, мрамор сложен почти целиком кальцитом, а кварцит — кварцем.

В зависимости от происхождения все горные породы разделяются на магматические, осадочные и метаморфические. Магматические породы образуются в результате внедрения в земную кору расплавленного минерального вещества — магмы. Если породы образовались в глубине земной коры, их называют интрузивными, если же

магма застыла на поверхности земли, их называют излившимися, или эффузивными. К интрузивным породам относится гранит, к эффузивным — базальт.

Под действием солнца, ветра и воды магматические породы разрушаются, измельчаются, образуя новые обломочные породы. Окатанность, отсортированность обломочных пород во многом зависит от дальности транспортировки, минералогического состава и устойчивости минералов к механическому разрушению. Одни минералы разрушаются и измельчаются быстро, другие же, например кварц, разрушаются значительно медленнее. Вблизи массива магматических пород мы находим плохо окатанные, угловатые обломки, по мере удаления от него появляются валуны, галька. Далее располагаются более отсортированные мелкие обломки минералов, образующие пески и песчаники. Истертые в тонкую массу обломки пород в водной среде превращаются в глины. Все эти вновь образованные породы относятся к осадочным горным породам. Накопление их происходит в пониженных участках суши и на дне водоемов. В течение длительной геологической истории произошло образование мощных толщ глин и песчаников, составляющих сотни и даже тысячи метров.

Органический мир также играет существенную роль в накоплении осадочных пород. Из известковистых скелетов отмерших морских организмов образуются пласты известняков. Нередко скелеты их имеют кремнистый состав. Тогда образуются кремнистые диатомиты и опоки. В результате жизнедеятельности кораллов формируются рифовые сооружения. Они представляют собой известковистые образования, мощность которых подчас достигает несколько сот метров, а площадь — сотен квадратных километров. К осадочным отложениям относятся и хемогенные породы. Они образуются в результате накопления в водоемах различных солей и последующего выпадения их из раствора. Так появляются карбонатные породы, состоящие полностью из кальцита или доломита. Подобным же образом формируются толщи каменной соли, гипса и т. д.

При погружении осадочной породы на большую глубину, где господствует высокая температура, или при контакте с магмой, внедрившейся в земную кору, происходит ее изменение — метаморфизация. Под действием

температуры и давления порода перекристаллизуется, изменяется ее минералогический состав. Характерным примером является превращение известняка, состоящего из раковины отмерших организмов, в мрамор, который состоит из кристаллов кальцита. При метаморфизации глины превращаются в сланцы, а песчаники, состоящие из кварца, образуют плотную монолитную породу — кварцит.

Горные породы, способные вмещать нефть, воду и газ, обычно называют коллекторами. При этом имеется в виду, что породы-коллекторы способны также отдавать нефть, газ и воду при разработке пластов, иначе они не представляют практического интереса. Не все породы могут быть коллекторами. Известно, что подавляющая часть скоплений нефти и пластовой воды связана с коллекторами осадочного происхождения. Магматические и метаморфические породы, образовавшиеся при высоких температурах и давлениях, не могут служить коллекторами нефти, а содержание воды в них очень невелико. Правда, известны единичные случаи, когда скопления нефти обнаружены в породах подобного типа. Но объясняется это тем, что твердые плотные магматические или метаморфические породы в минувшие геологические эпохи обнажались на поверхности земли и разрушались. В них образовывались трещины, пустоты, которые затем и заполнялись нефтью, поступающей из осадочных отложений.

Коллекторская характеристика пород определяется их емкостными и фильтрационными свойствами. К емкостным свойствам следует отнести пористость, к фильтрационным — способность породы пропускать через себя нефть, воду и газ. Остановимся более подробно на этих важных понятиях.

Между твердыми частичками, из которых состоит горная порода, в результате неплотного прилегания их поверхностей друг к другу, образуются промежутки различной величины — поры. Общий объем пустот в породе, включающий поры, трещины и различные каверны, называется общей пористостью. Пористость породы определяется отношением порового пространства породы к ее общему объему и выражается в процентах. В обломочных породах, в таких как пески и песчаники, пористость зависит прежде всего от формы и размеров зерен,

а также от их упаковки. Так, если зерна породы состоят из обломков кварца, хорошо окатанных и примерно одного размера, то пористость будет очень высокой. Теоретически максимальная величина пористости достигает почти 50%, когда форма зерен, слагающих породу, приближается к шарообразной (рис. 1,а). Если пески состоят из обломков минералов, например полевых шпатов разной формы и величины, то поровое пространство

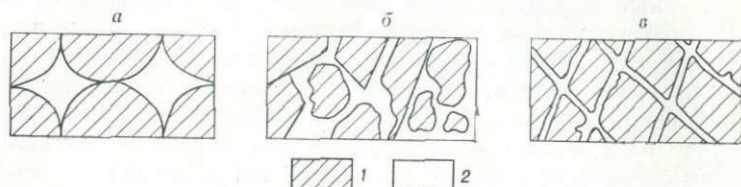


Рис. 1. Типы коллекторов

а — песчаники, форма зерен приближается к шарообразной; б — песчаники, зерна плохо откатанные, разных размеров; в — трещиноватые известняки; 1 — порода; 2 — поровое и трещинное пространство

между ними будет значительно меньше, а следовательно, и пористость будет ниже (рис. 1,б).

Лучшими коллекторами являются пески, а в ряде случаев сильно трещиноватые известняки. В зависимости от минералогического состава и отсортированности пористость песков может изменяться от 6 до 50%. Например, в некоторых песках продуктивной толщи Азербайджана пористость приближается к 50%. Но чаще всего пески цементированы, и в этом случае их называют песчаниками. Песчаники по сравнению с песками обладают более низкой пористостью, потому что часть их порового пространства занята цементом. Цемент песчаников самый разнообразный — глинистый, известковистый или кремнистый, нередко смешанный. Все это сказывается на емкостных свойствах, а следовательно, и на содержании воды, нефти и газа.

Еще более резкие колебания пористости наблюдаются в карбонатных породах. Состав и структура карбонатных пород могут быть разными. В известняках, сформировавшихся из остатков организмов, обломки раковин имеют неправильную форму, неодинаковы по размерам, поэтому они неплотно прилегают друг к другу и между ними имеется большое количество пустот. Для извест-

няков такого типа характерна высокая пористость. Если же породы возникли за счет выпадения кальцита из раствора, то образуются пласты плотного сливного известняка. Их емкостные свойства определяются трещинами и пустотами, сформировавшимися за счет последующих процессов выщелачивания и перекристаллизации. В карбонатных породах пустоты и трещины могут быть самыми разнообразными, от волосяных трещин, до больших пустот и полостей, заполненных подземной водой или нефтью и газом. Вот почему в известняках пористость колеблется в очень широких пределах от долей процента до 30% и более. На рис. 1, в показан карбонатный коллектор трещинного типа.

Пористость сама по себе еще не определяет коллекторских свойств породы. Очень важно, чтобы поры были связаны между собой, сообщались друг с другом. Только в этом случае по ним могут двигаться подземные флюиды, т. е. нефть, вода и газ. Следует отметить, что не все поры соединены друг с другом. Встречаются замкнутые поры, по которым не происходит движения. Отсюда возникло понятие об открытой пористости. Открытая пористость всегда меньше общей пористости.

Вторым важным свойством коллекторов является их фильтрационная способность, определяемая проницаемостью. Проницаемость — это способность породы пропускать через себя жидкость и газ. Абсолютно непроницаемых пород нет. Практически непроницаемыми можно считать такие породы, которые при существующей в верхней части земной коры перепадах давления не пропускают через себя флюиды. Так, глины обладают нередко значительной пористостью, достигающей более 50%, но поскольку они состоят из комплекса глинистых минералов пластинчатого строения и плотно прилегают друг к другу, изолируя поры, движение воды, нефти и газа по ним чрезвычайно затруднено. Вот почему проницаемость глин ничтожно мала, и они являются барьерами на пути движения нефти.

К условиям залегания нефти в коллекторах мы еще вернемся, а пока рассмотрим ту водную среду, в которой находится нефть, и прежде всего условия залегания подземных вод, особенности их движения и химический состав.

Пористые и проницаемые пласты песков, песчаников,

кавернозных и трещиноватых известняков, насыщенные водой, называют водоносными пластами или горизонтами. Некоторые водоносные горизонты могут быть связаны между собой, и вода из одного горизонта будет перетекать в другой. В этом случае два или несколько горизонтов образуют водоносный комплекс. Водоносные горизонты или комплексы обычно разделяются водоупорными толщами, которые сложены слабопроницаемыми породами — глинами, пластами каменной соли или гипсами. Перемежающиеся водоносные горизонты и водоупорные толщи образуют бассейны подземных вод или гидрогеологические бассейны. Примером может служить гидрогеологический бассейн, изображенный на рис. 2.

Обычно бассейны подземных вод приурочены к местам погружения жесткого основания, или, как говорят, фундамента, на котором покоятся все осадочные образования земной коры. Чем же представлен фундамент? Он может быть сложен различными магматическими породами — гранитами, порфиритами или диабазами, метаморфическими — всевозможными сланцами, нередко перемьятыми и прорванными интрузиями. Эти породы фун-

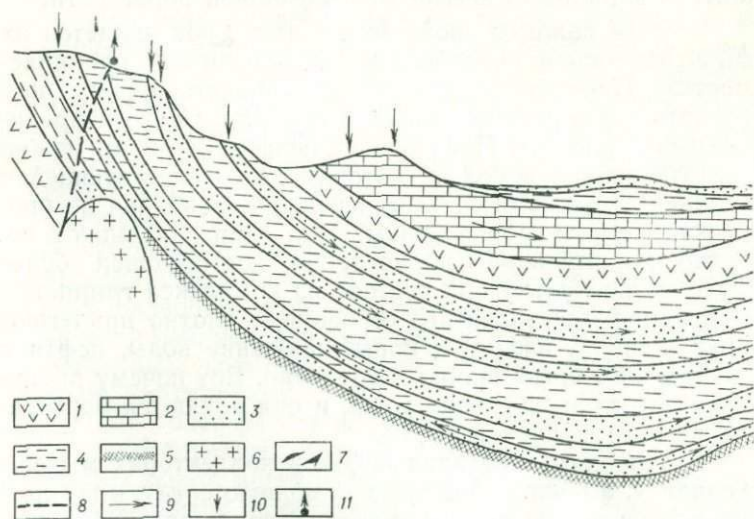


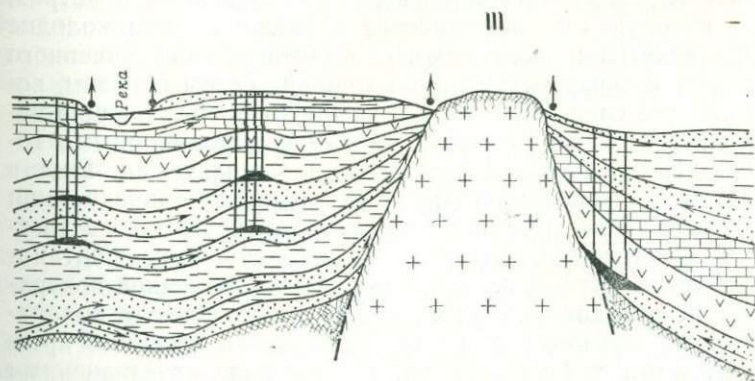
Рис. 2. Схема гидрогеологического бассейна и прилегающего к нему I — область питания водоносных пластов; II — область создания напора; чанки; 4 — глины; 5 — метаморфические породы, слагающие ложе бассейна; тн; 8 — разрывные тектонические нарушения; 9 — направление движения под

дамента образуют ложе гидрогеологического бассейна. Глубина погружения фундамента изменяется в очень широких пределах. Так, гранитные массивы фундамента могут выходить на дневную поверхность или погружаться до 10 км и более.

Впадины и поднятия в земной коре образуют сложную систему бассейнов подземных вод, иногда отделенных друг от друга горными сооружениями или массивами кристаллических пород. Так, горы Большого Кавказа отделяют систему бассейнов Предкавказья от гидрогеологических бассейнов рек Риони и Куры.

Размеры бассейнов самые разнообразные. Существуют бассейны-гиганты, например Днепровско-Донецкий, глубина которого 6—7 км, а площадь охватывает большую часть Украины к востоку от Днепра; Западно-Сибирский, на территории которого уместилось бы несколько крупных государств. Имеется множество более мелких бассейнов. В горных сооружениях Кавказа и Тянь-Шаня располагаются бассейны, приуроченные к межгорным впадинам. Формы и размеры их различны. Иногда это узкие вытянутые бассейны, как бы зажатые горными хребтами, длиной всего в несколько километров или чащеобразные бассейны, диаметр которых составляет десятки километров.

Породы фундамента, выходя на дневную поверхность, нередко занимают огромную территорию. Доста-



кристаллического массива

III — зона трещинных вод; 1 — гипсы, каменная соль; 2 — известняки; 3 — пес-  
6 — кристаллический массив, в верхней части трещиноватый; 7 — залежи неф-  
земных вод; 10 — атмосферные осадки; 11 — источники

точно вспомнить Украинский кристаллический массив, протянувшийся на сотни километров, или Балтийский щит, в пределах которого расположены Швеция, Финляндия и наша обширная Мурманская область. Для кристаллических массивов характерно широкое развитие тектонических нарушений и трещин, по которым циркулируют воды, причем наибольшее количество трещин характерно для верхней части массивов. Это и понятно. Вода здесь наиболее интенсивно циркулирует, разрушая даже самые крепкие породы, вымывая из них различные соли и ионы. Но и на больших глубинах происходит циркуляция вод, нагретых глубинным теплом. Вода тережит в верхней части различные растворенные вещества, в результате чего образуются жилы, заполненные кальцитом или же кварцем, с различными металлами, которые представляют интерес для горнорудной промышленности.

Кристаллические массивы и горноскладчатые области отделяют гидрогеологические бассейны друг от друга, но бывает и так, что между гидрогеологическими бассейнами имеется лишь небольшой подъем фундамента и поэтому они тесно связаны между собой, образуя систему бассейнов подземных вод.

В гидрогеологических бассейнах подземные воды находятся в постоянном движении. Это движение обусловлено различными напорами вод в разных точках пласта. Под напором понимается высота столба воды в метрах, на которую она поднимается в скважине или колодце при вскрытии водоносного горизонта, ограниченного сверху и снизу водоупорной толщей. Таким образом, водоносные слои, горизонты и комплексы, обладающие напором воды, по существу являются водонапорными горизонтами или водонапорными комплексами. Еще в XII веке в провинции Артуа (в латинской транскрипции Артезиа) получили воду, напор которой был выше дневной поверхности, в результате чего скважина фонтанировала. В случае, если напор воды ниже земной поверхности, фонтанирования не наблюдается. Отсюда водонапорные горизонты или комплексы стали называть артезианскими, а бассейны подземных вод артезианскими бассейнами.

Причины создания напора вод могут быть различными. Рассмотрим случай, когда водоносный горизонт вы-

ходит на дневную поверхность в разных частях бассейна на разных высотах (рис. 3,а). В ту часть пласта, которая расположена на более высокой отметке, проникают поверхностные воды — атмосферные осадки, например дождевые воды, грунтовые воды, речные, воды временных потоков и др. Они просачиваются в пласт, т. е.

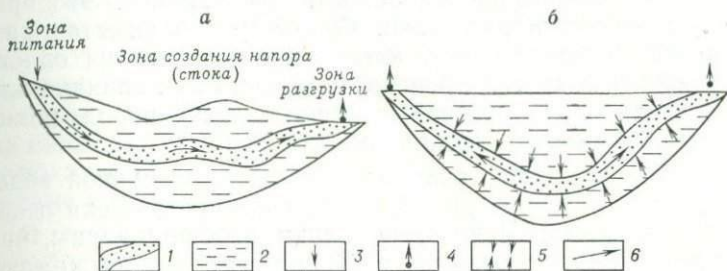


Рис. 3. Типы природных водонапорных систем

а — инфильтрационный тип; б — элюзионный тип; 1 — водоносный комплекс; 2 — глины; 3 — атмосферные осадки, поверхностные воды; 4 — разгрузка; 5 — направление движения вод, отжатых из глин; 6 — направление движения вод в водонапорных системах

инфильтруются. Этот участок пласта называется областью питания водоносного горизонта. В самом водоносном пласте движение воды обусловлено законом гравитации, в силу которого вода устремляется вниз по падению пласта к месту выхода его на меньшей высоте. Эта область, где вода вытекает из пласта, называется областью разгрузки. Таким образом, в данном случае напор воды обусловлен разностью высот областей питания и разгрузки.

Водоносные комплексы, имеющие общие условия создания напора и движения воды, могут быть объединены в водонапорные системы. В рассматриваемом примере водонапорная система относится к инфильтрационному типу, где выделяется область питания (инфильтрации), зона создания напора и область разгрузки.

Разгрузка подземных вод может осуществляться различно. Если пласт обнажается на дневной поверхности, то подземные воды вытекают на поверхность земли в виде источников. Водоносный горизонт может быть прорезан речной долиной, что приведет к появлению родников. Кроме того, разгрузка подземных вод может происхо-

дить и по тектоническим нарушениям. И в этом случае появляются источники подземных вод. Хорошо известны выходы минеральных вод в Пятигорске, Железноводске, Кисловодске. Множество источников вод, связанных с разломами земной коры, имеется в горных районах — в Карпатах, на Урале, на Алтае и на равнине — в Поволжье, Ленинградской области, на Украине. Это примеры открытой разгрузки. Существует и скрытая разгрузка подземных вод, когда переток воды из одного горизонта в другой происходит в местах их слияния или по зонам тектонической трещиноватости пород, но на поверхности земли вода не появляется.

Иной источник создания напора в элизионной водонапорной системе (рис. 3,б) «Элизио» по-гречески означает выжимаю. Некоторые осадки, особенно глины, при уплотнении уменьшаются в объеме и отдают, выжимают из себя излишнюю воду, которая поступает в менее уплотняющиеся породы, такие как песчаники и известняки. Процесс уплотнения глин определяется особенностью строения глинистых минералов. Мы уже упоминали о том, что глинистые минералы имеют пластинчатое строение, между пластинками всегда имеется вода, заполняющая поры.

В свежих илах, где минералы расположены хаотично, содержание воды очень велико. Когда отбирали для изучения пробы илов в разных водоемах, в Черном и Каспийском морях, в Цюрихском озере, то обнаружили, что в них содержится до 90% воды. По мере уплотнения в результате того, что илы перекрываются новыми осадками и они превращаются в породы, ориентировка глинистых минералов изменяется. Под нагрузкой вышележащих толщ глинистые минералы стремятся занять горизонтальное положение и плотно прилегают друг к другу. Но при этом объем пор между минералами сокращается, часть воды выжимается сначала в морской водоем, а по мере погружения осадков на все большую глубину в другие породы и прежде всего в те, которые уплотняются меньше, т. е. в песчаники и кавернозные или трещиноватые известняки. Отмечено, что уже на глубине 3 км глина теряет большую часть своей воды и ее содержание не превышает 10%. Что же происходит с выжатой водой в коллекторах?

Выжатая вода из глин поступает в песчаники, но пес-

чаники уже насыщены водой. Дополнительные порции воды в песчаниках создают избыточное давление, т. е. избыточный напор воды. Наибольший напор вод будет там, где процесс уплотнения более интенсивный, в первую очередь в зонах с большей мощностью осадков, т. е. в наиболее прогнутых участках бассейна. На приподнятых крыльях бассейна процессы уплотнения глин и приток выжимаемых вод в коллекторы меньше из-за меньшей нагрузки. Поэтому в элизионных водонапорных системах движение подземных вод осуществляется из наиболее прогнутых участков, служащих в данном случае областью питания, к наименее прогнутым, а разгрузка подземных вод может быть как в инфильтрационной системе и открытой, и скрытой.

В ряде случаев в одном и том же гидрогеологическом бассейне может наблюдаться и инфильтрационная, и элизионная водонапорные системы. В верхней части бассейна может быть расположена инфильтрационная водонапорная система, в наиболее погруженной — элизионная. Этот случай и показан на рис. 2. Такое соотношение водонапорных систем наблюдается в некоторых гидрогеологических бассейнах Предкавказья, Крыма, Средней Азии.

В течение длительной геологической истории бассейна подземных вод, исчисляемой десятками и даже сотнями миллионов лет, в водоносных комплексах могла происходить многократная смена условий. В периоды, когда преобладало погружение территории, происходило преимущественно накопление осадков. Если это был морской бассейн, то породы насыщались солеными морскими водами. По мере погружения они уплотнялись. Это приводило к интенсивным процессам выжимания вод из глинистых пород в коллекторы. Но вот погружение прекращалось и начиналось поднятие того же района. Море отступало. Породы выходили на поверхность земли, начиналось их разрушение. На отдельных участках водоносный горизонт мог выходить на дневную поверхность и здесь в него начинали просачиваться пресные поверхностные воды, которые частично вытесняли ранее накопившиеся соленые воды. Затем вновь могло произойти погружение, которое сопровождалось возобновлением процессов уплотнения пород, выжиманием вод из глин в коллекторы.

Таким образом, уже с момента образования водоносного горизонта подземные воды в них находятся в постоянном движении. Движение вод в пласте приводит к смене первоначально накопившихся вновь поступающими водами. Этот процесс называется водообменом. Водообмен может происходить многократно. Чем более интенсивно движение, тем скорее происходит водообмен. Отрезок времени, в течение которого вода в пласте полностью обновляется, называется временем полного водообмена.

По интенсивности водообмена в бассейне подземных вод некоторые исследователи условно выделяют три гидродинамические зоны. В верхней части бассейна выделяется зона свободного, или интенсивного, водообмена. Для этой зоны, расположенной вблизи дневной поверхности, характерны высокие скорости движения вод, а следовательно, и интенсивный водообмен, который приводит к многократной смене вод. Глубже располагается зона замедленного, или затрудненного водообмена. Удаленность от областей питания и разгрузки приводит к уменьшению скорости движения вод, а следовательно, и к менее интенсивному водообмену. И, наконец, глубоко погруженную часть бассейна относят к зоне весьма затрудненного водообмена. Здесь скорости движения вод очень малы, а поэтому и водообмен затруднен. Водообмен оказывает существенное влияние на формирование химического состава вод и минерализацию.

Химический состав воды зависит от первичной солености бассейна осадконакопления и от состава пород, по которым они циркулируют, а также от тех процессов, которые протекают в водоносных горизонтах на разных этапах геологической истории. Так, процессы выщелачивания при движении воды в известняках приводят к появлению катионов  $\text{Ca}^{2+}$ , в доломитах — к появлению  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Пласты каменной соли обогащают воды ионами  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Натрий и хлор содержатся в различных породах, поэтому даже если пластов каменной соли нет, в водах присутствуют эти элементы. Если пласты породы состоят полностью или частично из гипса, то вода, попадая в такие породы по трещинам или циркулируя на границе с этими отложениями, обогащается ионами  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . Нередко в песчаниках в цементе содержится гипс, что также приводит к обогащению вод теми же

элементами. Кроме указанных ионов в подземных водах обнаруживаются ионы железа  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ , калия  $K^+$ , брома  $Br^-$ , йода  $I^-$ , стронция  $Sr^{2+}$ , лития  $Li^+$  и многих других. Помимо минеральных элементов в подземных водах в различных концентрациях содержатся органические вещества, иногда очень близкие по составу к нефти.

Сейчас уже в подземных водах выявлено больше половины всех известных химических элементов и, вероятно, с повышением чувствительности приборов будут обнаружены новые. Но лишь шесть главных ионов  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  определяют химический облик воды и ее свойства.

Несомненно, в природе процесс формирования и изменения солевого состава вод сложен, он зависит от многих факторов и, конечно, от температуры и давления. Изменение температуры и давления с глубиной погружения водоносных горизонтов сказывается на физико-химических процессах, протекающих в недрах земли и определяющих основные свойства подземных вод. Так же как и в породах, с увеличением давления и температуры химический состав вод изменяется, содержание одних ионов уменьшается, других, например хлора и кальция, возрастает.

Все подземные воды по содержанию в них ионов, солей и коллоидов делятся на пресные, суммарное содержание минеральных веществ в которых не превышает 1 г/л, минерализованные, или соленые, количество минеральных веществ в которых может изменяться от 1 до 50 г/л и, рассолы, минерализация которых превышает 50 г/л.

Все подземные воды насыщены также газами. В них может быть растворен кислород  $O_2$ , водород  $H_2$ , сероводород  $H_2S$ , углекислый газ  $CO_2$ , азот  $N_2$ , углеводородные газы — метан  $CH_4$ , этан  $C_2H_6$  и др., инертные газы — гелий  $He$ , аргон  $Ar$  и некоторые другие. Основные газы — это азот, метан, углекислый газ.

Газы в подземных водах находятся в виде молекулярных растворов. Между газами, ионами и солями может быть взаимопереход и взаимообмен. Например, азот находится в воде в виде газа  $N_2$ , ионов аммония  $NH_4^+$  (аммиак), ионов неорганических кислот  $NO_2$  и

$\text{NO}_3^-$ , а также входит в состав многочисленных органических соединений.

Растворимость газов зависит от температуры и давления. Суммарное содержание различных газов в единице объема воды называется общей газонасыщенностью воднорастворенных газов. Газонасыщенность вод может быть различной, она изменяется в очень широких пределах, от нескольких кубических сантиметров до нескольких тысяч кубических сантиметров в литре воды.

Многочисленные данные указывают на то, что в гидрогеологических бассейнах состав и минерализация подземных вод, а также газовый состав изменяются с глубиной погружения водоносных горизонтов и комплексов. В верхней части бассейна обычно преобладают пресные или мало соленые воды, в них содержатся сульфаты. Среди воднорастворенных газов преобладают азот, поступающий вместе с поверхностными водами из воздуха, углекислый газ. Содержание газов в подземных водах, т. е. газонасыщенность, невелика. По мере погружения водоносных горизонтов наблюдается увеличение минерализации, изменяется и химический состав подземных вод. Количество сульфатов уменьшается, увеличивается содержание хлора и натрия. Происходят изменения и в составе воднорастворенных газов, появляется сероводород, гелий, углеводородные газы, растет газонасыщенность вод. В наиболее погруженных частях бассейнов нередко подземные воды представляют собой рассолы, минерализация которых достигает нескольких сотен граммов на литр.

Так, в глубоких горизонтах Восточно-Предкавказского бассейна минерализация вод превышает 200 г/л, в Днепровско-Донецком и Волго-Уральском гидрогеологических бассейнах достигает 300 г/л. Большое влияние на минерализацию и состав подземных вод оказывает наличие или отсутствие в бассейне соленосных толщ, представленных каменной солью или гипсами. Если такие породы присутствуют в разрезе, минерализация вод всего бассейна возрастает. Увеличивается минерализация вод и тех горизонтов, которые расположены выше или ниже соленосных отложений и находятся от них на большом расстоянии. Если же хемогенные породы отсутствуют, то минерализация подземных вод

во всех водоносных горизонтах, как правило, меньше. Примером может служить Западно-Сибирский гидрогеологический бассейн, где соленосных отложений нет и где минерализация вод в самых глубоких горизонтах не превышает 70 г/л.

Изменение химического и газового состава воды, а также минерализации с глубиной погружения водоносных горизонтов, наблюдаемое в большинстве бассейнов, обычно принято называть гидрохимической зональностью. Бывает, однако, что в более глубоко залегающем горизонте минерализация воды меньше, чем в верхнем пласте, например, если нижний горизонт сложен лучшими коллекторами, благодаря чему в нем больше скорость движения воды, а следовательно, ниже ее минерализация. Это явление называется гидрохимической инверсией. Встречаются и более сложные случаи.

Таким образом, подземные воды, в которых содержатся ионы различных солей, коллоидов и газов, в течение геологического времени претерпевали различные изменения. Эти изменения связаны с глубиной залегания подземных вод, их движением и физико-химическими процессами, протекающими в системе вода — порода. Все это приводит к формированию природных растворов, которыми по существу и являются подземные воды. В тесном контакте с ними находится нефть.

Нефть скапливается в отдельных частях водоносных горизонтов или комплексов. Чтобы образовалось скопление нефти, необходима ловушка, т. е. участок пласта, где существуют относительно застойные условия и нефть не может быть вымыта пластовой водой. В ловушке нефть и вода занимают определенное положение. Поскольку плотность нефти меньше плотности воды, нефть всплывает и занимает верхнюю ее часть. Скопление нефти в ловушке принято называть залежью. Существуют различные типы залежей, некоторые из которых показаны на рис. 4.

Тип залежи зависит от строения ловушки, свойств коллекторов, покрывающих или подстилающих их отложений, наличия или отсутствия тектонических нарушений и т. д.

Наиболее распространены залежи, приуроченные к местам изгибов слоев. Воздымание пласта приводит к появлению куполовидных или вытянутых антиклиналь-

ных складок. Пласт-коллектор, насыщенный нефтью, снизу и сверху ограничен нефтеупорной толщей, а залежь нефти подпирается водой.

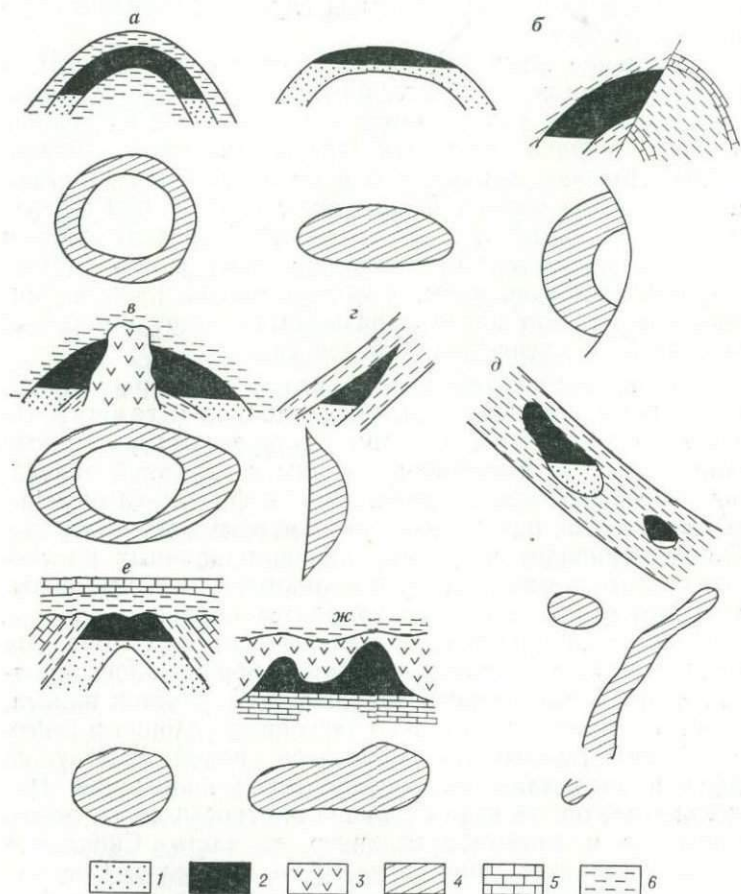


Рис. 4. Типы залежей нефти

*а* — структурные, *б* — тектонически экранированные; *в* — приуроченные к соляным штокам; *г* — литологически экранированные; *д* — литологически ограниченные; *е* — стратиграфические; *ж* — приуроченные к известняковым рифам; 1 — песчаники; 2 — нефть; 3 — каменная соль; 4 — поверхность водонефтяного контакта; 5 — известняк; 6 — глины

Смятие пород нередко вызывает нарушение их сплошности, приводит к смещению слоев по отношению друг к другу. Породы, обладающие коллекторскими

свойствами, в месте тектонического нарушения могут соприкасаться с непроницаемой толщей. Образуется ловушка для нефти. Эти залежи обычно называют тектонически экранированными. Встречаются складки, разбитые по тектоническим нарушениям на отдельные блоки и содержащие в каждом блоке самостоятельную залежь. Примером тектонически экранированных залежей являются залежи Старогрозненского месторождения, месторождения Кала в Азербайджане, Котуртепе в Туркмении. На Украине, в Прикаспии, в Румынии, в некоторых районах США имеются залежи, формирование которых связано с внедрением каменной соли в перекрывающие отложения. Это обусловлено тем, что под действием нагрузки вышележащих пород соль становится пластичной, текучей. Она выдавливается в покрывающие ее породы, образуя соляные штоки и вызывает вздымание слоев. Вместе с тем каменная соль образует преграду на пути движения нефти и служит экраном. Залежь нефти формируется на контакте с соляным штоком.

В пластах иногда наблюдается замещение проницаемых пород, обладающих хорошими коллекторскими свойствами, например песчаников, непроницаемыми, иными словами литологическое замещение. Очень часто экраном для нефти служат глины. При наклоне слоев образуется ловушка, где и формируется залежь. Подобного типа залежи выявлены в Краснодарском крае и на Апшеронском полуострове.

Залежи нефти могут быть приурочены и к линзам песчаников, со всех сторон окруженных глинами. Иногда они связаны с песчаными образованиями русел древних рек, уже погребенных под более молодыми осадками. Такие залежи впервые были открыты И. М. Губкиным в 1911 г. в Майкопском районе Краснодарского края.

Залежи другого типа могут быть связаны с несогласным залеганием пород разного возраста. Одни породы смяты и образуют антиклинальную складку, свод которой отчасти разрушен в минувшую эпоху геологической истории. Позже их перекрыли отложения более молодого возраста, залегающие с небольшим наклоном слоев, например глины, которые в данном случае служат экранирующей толщей. В своде антиклинальной складки появляется ловушка для нефти. Залежи такого типа

выявлены на Ахтырско-Бугундырском месторождении в Краснодарском крае, на месторождении Крафт-Преза в США и во многих других местах.

Ловушками для нефти могут служить также погребенные коралловые и другие рифы. Они выявлены глубоким бурением во многих частях света. Известняки, слагающие риф, обычно обладают значительной пористостью и проницаемостью. В случае, если известняковое тело рифа окружено непроницаемыми породами, образуется ловушка для нефти, в результате чего может сформироваться залежь. Встречаются как одиночные рифы, так и целые группы. Примером одиночных рифовых залежей являются Столяровское месторождение Ишимбайской группы или Норс-Снайдер в США. Кроме одиночных встречаются крупные рифовые сооружения. Широко известен риф Гваделупе-Капитан, обнаруженный в Западном Канзасе и юго-восточной части штата Нью-Мексико в США. Этот риф является аналогом современных барьерных рифов. Частично он приподнят над дневной поверхностью, но основная часть рифа погребена под молодыми породами. Мощность известнякового тела составляет более 360 м, а протяженность достигает 640 км. Вдоль его захороненной части выявлено несколько нефтяных и газовых месторождений.

В природе существует большое многообразие залежей и мы остановились на характеристике лишь некоторых из них. Однако и эти примеры дают представление об условиях залегания нефти и позволяют перейти к рассмотрению взаимоотношения нефти, воды и газа в самой залежи и на границе ее с подстилающей ее пластовой водой.

В нефтяной залежи кроме нефти имеется и некоторое количество воды. Это так называемая связанная вода. Связанная вода — это вода, которая удерживается на поверхности минеральных частиц, слагающих коллектор. Какие силы определяют связь этой воды с породой?

Известно, что молекула воды представляет собой диполь. Поэтому электрическое поле, создаваемое на поверхности частицы породы, удерживает молекулы воды, образуя некоторый слой, прочно связанный с породой. По мере удаления молекул воды от адсорбирующего слоя породы, связь молекул воды постепенно осла-

бевае и здесь уже располагается рыхло связанная вода. Связанная вода (прочно связанная и рыхло связанная вода) заполняет часть порового пространства. Подсчитано, что среднее содержание связанной воды в коллекторах составляет 10—12%. Однако встречаются коллекторы, в которых содержание связанной воды значительно выше. Так, в коллекторах залежи Ренджли в США связанная вода составляет 50% от общего объема пор.

На рис. 5 показан коллектор, вокруг песчинок которого хорошо виден слой связанной воды и нефть, заполняющая поровое пространство. Если даже в коллекторе небольшое содержание связанной воды, то ее общее количество в залежи значительно. Чтобы убедиться в этом, следует привести небольшой пример. Допустим мы имеем среднего размера залежь нефти в куполовидной складке. Диаметр залежи 4 км. Площадь залежи составит

$$s = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ км}^2.$$

Если мощность нефтенасыщенной части пласта равна 10 м, а пористость составляет 10%, то общий объем порового пространства равен

$$12\,560\,000 \text{ м}^3 \cdot 10 \cdot 0,1 = 12\,560\,000 \text{ м}^3.$$

При среднем содержании связанной воды только 10% общее количество связанной воды в залежи составит 1 256 000 м<sup>3</sup>. Мы привели пример расчета для сравнительно небольшой залежи. А если это крупное месторождение с большим числом залежей или месторождение с мощностью нефтенасыщенных пластов в несколько сот метров и большой площадью нефтеносности, то объем связанной воды будет составлять уже десятки миллионов кубометров.

Это значит, что при подсчете объема порового пространства, заполненного нефтью, т. е. при подсчете запасов нефти, определение количества связанной воды обязательно. Иначе ошибки в подсчете запасов нефти, особенно в крупных залежах, составят десятки миллионов тонн. Отсюда неизбежны погрешности в планировании добычи нефти и в целом ряде мероприятий, связанных с разработкой месторождения.

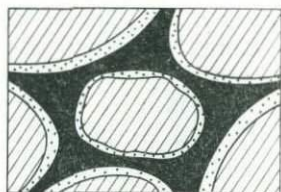


Рис. 5. Условия нахождения связанной воды в нефтяном пласте

1 — порода; 2 — нефть; 3 — связанная вода



В нефтях большинства залежей растворены газы: метан и его производные — этан, пропан, бутан и т. д., азот, углекислый газ, сероводород и некоторые другие, т. е. те же газы, которые растворены и в подземных водах. Обычно в нефтях преобладают углеводородные газы, но не всегда. Бывают случаи, когда большую часть растворенных в нефтях газов составляет, например, азот.

Выделившийся из нефти газ может скапливаться в верхней части ловушки, образуя газовую шапку. Подчас газовая шапка представляет собой самостоятельную залежь, настолько она велика, а нефть образует лишь небольшой слой. Обычно в верхней части ловушки располагается газ, а ниже нефть, которая подпирается пластовой водой (рис. 6).

Поверхность, разделяющая нефть и воду, называется поверхностью водонефтяного раздела, или контакта. Она может иметь различную форму. В залежах, приуроченных к структурным ловушкам, при их полном заполнении она может иметь кольцеобразную форму в плане. При этом линия пересечения поверхности водонефтяного контакта с кровлей пласта называется внешним контуром нефтеносности, а линия пересечения поверхности водонефтяного контакта с подошвой пласта — внутренним контуром нефтеносности.

Контакт нефти и воды в большинстве залежей приближается к горизонтальной поверхности. Но нередки случаи, когда поверхность водонефтяного контакта имеет наклонное положение. На положение поверхности водонефтяного контакта влияет целый ряд факторов, но основным является движение воды. Ведь залежь нефти в ловушке омывается пластовой водой. Поток движущейся воды может быть настолько интенсивным, что

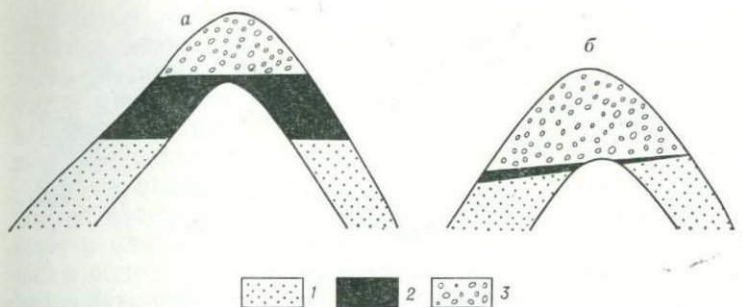


Рис. 6. Условия залегания газа, нефти и воды в ловушке

*а* — залежь нефти с газовой шапкой; *б* — залежь газа с нефтяной оторочкой;  
 1 — вода; 2 — нефть; 4 — газ

приведет к смещению залежей. Оно может достигать десятков метров. Случается, что смещение залежей настолько значительно, что они как бы повисают на крыльях складки. Их так и называют висячими. Пример висячей залежи приведен на рис. 7. Такие залежи известны в Скалистых горах в США, на Апшеронском полуострове в СССР.

Принято считать, что несколько залежей, связанных общим участком земной поверхности и приуроченных к единой тектонической структуре, образуют месторождение нефти. Встречаются месторождения, в которых имеется лишь одна или две-три залежи, но большинство месторождений многопластовые. К числу месторождений с десятками продуктивных горизонтов относятся месторождение нефти Ленинское (Котуртепе) в Туркмении, Жетыбайское и Узеньское в Средней Азии, Локбатан и Бибиэйбат в Азербайджане, Монтебелло в США и др.

При разведке и разработке нефтяных месторождений очень важно знать, как распределяются воды по отношению к залежам, особенно в месторождениях многопластовых. Ведь между залежами могут находиться и водоносные горизонты. Кроме того, месторождение подчас разбито тектоническими нарушениями, по которым циркулируют воды. И в самой залежи соотношение нефти и воды может быть разнообразным (рис. 8).

Так, если пласт полностью насыщен нефтью на всю мощность, водонефтяной контакт будет иметь форму кольца, внутренняя часть которого называется внутриконтурной зоной. Сами воды, подстилающие залежь

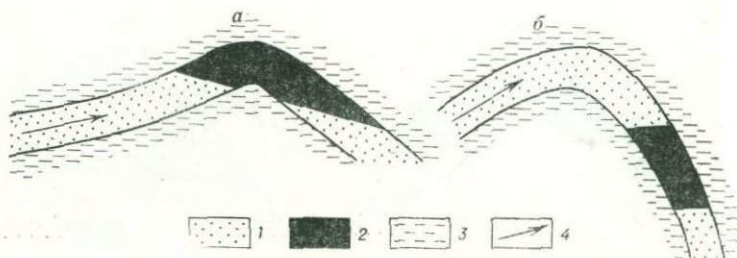


Рис. 7. Смещение залежи нефти движущимися водами

*а* — залежь с наклоном ВНК; *б* — висячая залежь; 1 — водоносный горизонт; 2 — нефтяная залежь; 3 — глины; 4 — направление движения вод

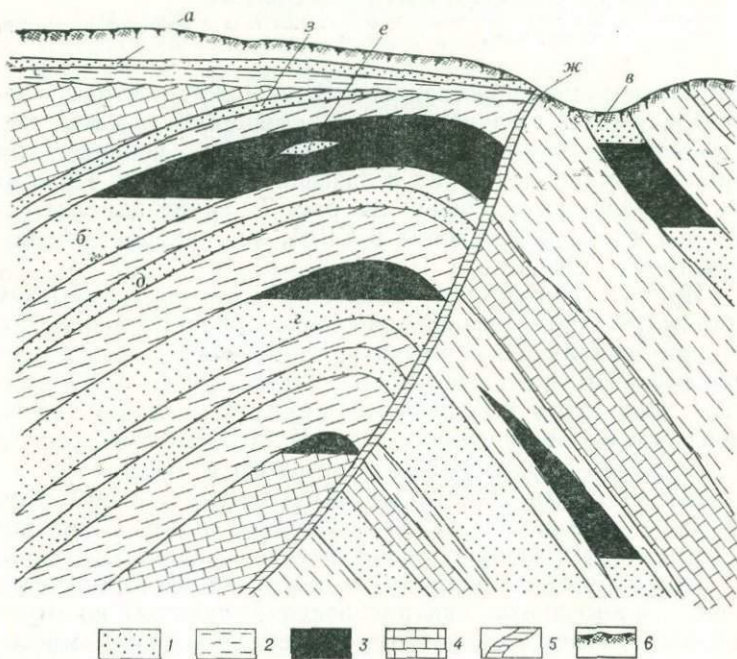


Рис. 8. Промысловая классификация подземных вод

*а* — грунтовые воды; *б* — нижние краевые воды; *в* — верхние краевые воды; *г* — подошвенные воды; *д* — нижние воды; *е* — воды, оставшиеся в части нефтяного пласта с плохими коллекторскими свойствами; *ж* — тектонические воды; *з* — верхние воды; 1 — песчаники; 2 — глины; 3 — нефть; 4 — известняки; 5 — разрывное тектоническое нарушение; 6 — почвенный слой

называются нижними краевыми водами. Редко, но все же бывает так, что залежь не только подстилается, но в верхней части пласта выше нефти и перекрывается

пластовой водой. Эти воды называются верхними краевыми водами. Появление верхних краевых вод может быть связано с тем, что пласт был размыт, его головная часть разрушена и в него просочились грунтовые и поверхностные воды. Если воды подстилают залежь по всей ее площади, их называют подошвенными.

Предположим, что выше нефтяной залежи располагается водоносный горизонт. Следовательно, по отношению к залежи воды этого горизонта будут верхними. Если водоносный горизонт располагается ниже залежи, то воды этого горизонта будут нижними. В многопластовом месторождении верхние воды для одной залежи могут одновременно быть нижними для залегающего выше нефтяного пласта.

Встречаются залежи с очень изменчивыми коллекторами, пористость и проницаемость которых сильно меняются, причем это изменение приводит к появлению участков в самой залежи, где поровое пространство заполнено не нефтью, а водой. Вероятно, когда нефть заполняла ловушку, она не смогла вытеснить всю воду из линз с плохими коллекторскими свойствами, и вода осталась в залежи. Подземные воды, циркулирующие по разрывным тектоническим нарушениям, обычно называют тектоническими.

В процессе бурения в нефтяной пласт может попасть вода из скважины, которую в этом случае относят к технической воде. При эксплуатации воду часто закачивают в пласт. Это делается, чтобы повысить падающее давление. Воду, закачиваемую в пласт, называют технологической.

Как мы видим, вода в недрах земли всюду сопутствует нефти. Во-первых, нефтяная залежь является частью водонапорного комплекса, а в целом и всей водонапорной системы гидрогеологического бассейна. Во-вторых, вода есть и в уже сформировавшейся залежи нефти. Очень важно отметить, что природные флюиды — вода, нефть и газ — тесно взаимодействуют друг с другом, в результате чего образуется сложная в физико-химическом отношении среда, причем все изменения этой среды сказываются на каждом из перечисленных флюидов. И, наконец, даже при разработке мы должны учитывать влияние подземных, а также закачиваемых в пласт вод.

## РОЖДЕНИЕ НЕФТИ СРЕДИ ВОД



образование нефти тесно связано с водой. Первоисточником нефти служит живое вещество растений и животных. В нефти, особенно в последнее время, обнаруживается ряд химических структур, характерных для живого вещества, перешедших в нее без сильных изменений. В. И. Вернадский писал, что нефть зарождается в своих соединениях еще в организмах. Правильней, пожалуй, здесь говорить не о соединениях, а о химических структурах. Примером таких структур могут быть изопреноидные. Изопреноидная структура — это углеводородная цепочка с ответвлениями, расположенными в определенном повторяющемся порядке.

Имея в виду что первоисточником нефти является живое вещество, следует помнить о роли воды в организмах и вообще в жизни. Вещество всех живых организмов состоит в основном из воды, все другие биохимические соединения и структуры содержатся в гораздо меньших количествах. В мелких и мельчайших водных организмах (одноклеточных водорослях и др.), наиболее важных для образования нефти, вода составляет 80—90% всей массы и даже больше. Эти жители моря представляют собой как бы сосуды с водой, плавающие в воде. Таким образом, еще в растениях и животных

вещества, из которых впоследствии образуется нефть, находятся в водном окружении.

Наибольшую роль при образовании нефти играют водные, особенно морские растения, животные, бактерии. Виднейший советский геолог-нефтяник И. М. Губкин писал, что родина нефти в мелководных частях древних морей. Именно в этих местах накапливаются органические вещества в количествах, необходимых для образования нефти. В них содержится много компонентов, например, жиров, в дальнейшем легче всего преобразующихся в нефть.

Органические вещества поступают в моря из разных источников. Главнейшие из них следующие: 1) реки, которые приносят в растворе и в виде взвеси в основном остатки наземных растений; 2) растительный, животный и бактериальный планктон, водоросли и низшие животные, переносимые волнами и течениями по поверхности моря или в толще воды, сюда относят также бактерий, населяющих морскую толщу; 3) нектон — рыбы и другие морские животные, например кальмары, плавающие самостоятельно; 4) бентос — растения, живущие на дне, животные и бактерии, населяющие дно.

Количество вещества, поступающего из этих источников, различно.

Оно оценивается, во-первых, в виде биомассы, во-вторых, в виде биопродукции. Биомасса — это масса живого вещества, существующая в определенный момент времени; она рассчитывается на определенный объем, например на кубометр морской воды, или площадь, например на квадратный метр морского дна.

По подсчетам видного современного геохимика В. А. Успенского, основанных на материалах многих ученых, средняя биомасса для мелководных частей (шельфов) морей равна 27 г на 1 м<sup>2</sup> дна. При этом биомасса планктона (без бактерий) составляет около 7% всей биомассы, биомасса нектона — около 4% биомассы, всех бактерий — около 3%, а остальное, т. е. не меньше 85%, приходится на бентос.

Но, пожалуй, важнее биомассы биопродукция — количество живого вещества, производимого той или иной группой организмов или всеми организмами в целом в течение определенного периода времени (обычно считают за год). По подсчетам того же В. А. Успенского

средняя биопродукция для шельфов морей мира составляет 502 г/м<sup>2</sup>.

Какую же долю в эту общую биопродукцию вносят отдельные группы организмов? Оказывается, что такие доли сильно отличаются от долей различных организмов в общей биомассе: 52% всей биопродукции дает планктон, в основном растительный, около 40% дают водные и донные бактерии, а на долю бентоса приходится всего около 8%, роль же nekтона совсем ничтожна. Такие различия в роли организмов в создании биомассы и биопродукции объясняются разной скоростью размножения: мельчайшие планктонные жители размножаются быстрее всех. Следовательно, по биопродукции на первом месте стоит планктон. Скорее всего он играет и важнейшую роль в обеспечении запасов органического вещества для последующего образования нефти.

Интересно сопоставить годовую биопродукцию планктона с годовым привносом органического вещества в моря и океаны. По расчетам известного океанолога-геохимика Б. А. Скопинцева реки приносят около 700 млн. т органических веществ в год. Это больше приведенной выше величины общей биопродукции шельфов морей, но гораздо меньше биопродукции всего Мирового океана. По некоторым подсчетам только планктон в Мировом океане дает больше 10 млрд. т годовой биопродукции, а это уже гораздо больше количества органических веществ, приносимых с суши. Однако важно, что органическое вещество с суши поступает именно в шельфовые, прибрежные, части морей и океанов.

В то же время в составе остатков высших растений (деревьев, трав), сносимых реками, очень много весьма сложных полимерных химических структур, мало способных к преобразованию в углеводороды.

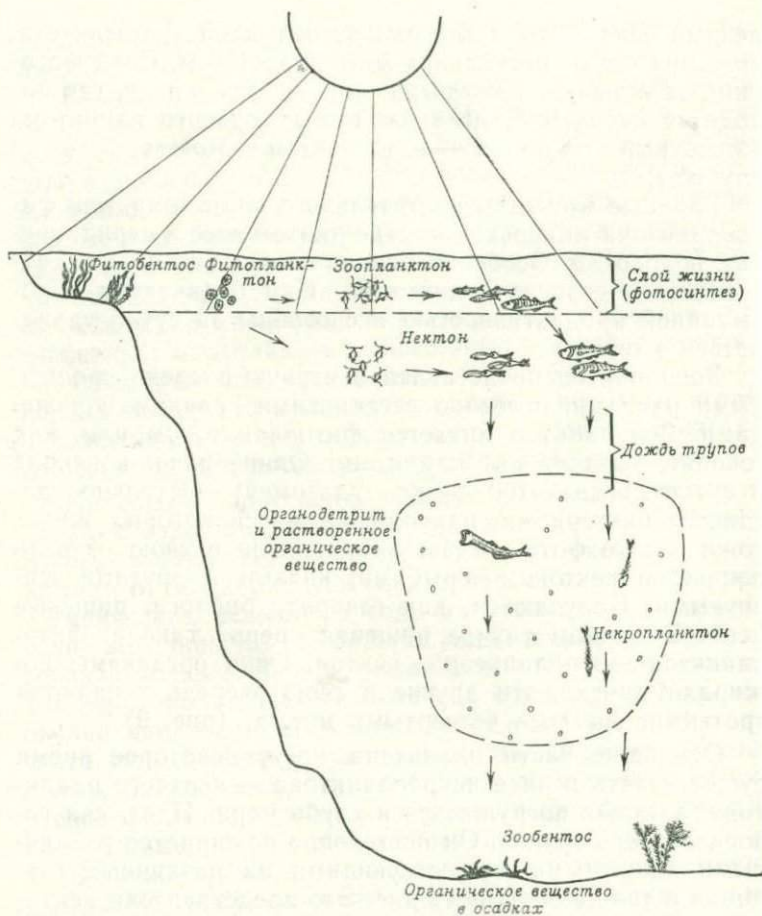
Вообще же в образовании нефти, очевидно, участвуют органические вещества смешанного происхождения. И получается это вот каким образом. При большой глубине морского бассейна (даже на шельфах глубины достигают 200 м) главная масса планктона скапливается у самой поверхности моря, образуя как бы пленку (а иногда и самую настоящую пленку, как например водоросли в Сарагассовом море). Дело в том, что растительный планктон, составляющий основную часть всего планктона, может жить только там, куда достигает сол-

нечный свет. Это так называемый слой фотосинтеза, толщина его от нескольких метров до 100 м. Слой фотосинтеза образует ярко выраженную зону жизни, где находится около 95% всей биомассы морского планктона (животный планктон — зоопланктон — может жить и глубже).

Главные элементы растительного планктона, или фитопланктона микроскопические диатомовые и перидиниевые водоросли. Особенно большое значение имеют диатомовые водоросли — диатомей. Они отличаются чрезвычайной продуктивностью и способны за сутки удваиваться в числе.

Зоопланктон представлен в первую очередь крошечными рачками, особенно веслоногими рачками-копеподами. Зоопланктон питается фитопланктоном или, как говорят, выедает фитопланктон. Один рачок-копепода в сутки съедает 100 тысяч диатомей! Остальное доедается бактериями, наибольшая масса которых живет тоже в зоне фотосинтеза. Зоопланктон в свою очередь поедается nekтоном — рыбами, китами и другими животными. Получаются, как говорят биологи, пищевые цепи. В данном случае пищевая цепь такова: фитопланктон — зоопланктон — nekтон. Одни организмы пожирают другие, эти другие в свою очередь поедаются третьими, третьи — четвертыми и т. д. (рис. 9).

Отмершие части планктона могут некоторое время существовать в виде некропланктона — мертвого планктона, а также погружаться в глубь моря. Идет, как говорят, дождь трупов. Он постепенно пожирается различными животными, существующими на различных глубинах в толще воды и на дне. Это представители nekтона, например глубоководные рыбы, и отчасти бентоса. Однако наибольшая часть отмерших организмов при погружении разлагается в толще воды и достигает морского дна уже в виде совершенно неразличимой взвеси и даже в растворенном состоянии. Вообще оказывается, что подавляющая часть органического вещества в море находится не в виде организмов, а в форме взвесей (детрита) и растворов. Конечно, в составе этих растворенных и взвешенных органических веществ находятся остатки морских растений и животных и вещество, приносимое с суши. И детрит, и выпадающие из раствора образования осаждаются вместе.



Уис. 9. Накопление органических веществ в море

Органические вещества, попавшие в осадки водоема (илы, пески) проходят затем в следующую стадию своего развития — диагенетическую. Диагенез охватывает процессы, идущие после образования осадков на дне водоема вплоть до превращения этих первоначально совсем рыхлых отложений в твердые осадочные горные породы — глины, песчаники, известняки. Диагенез и есть превращение осадка в горную породу, окаменение осадка, например преобразование ила в глину. В этих

процессах важнейшее участие принимают вода и органические вещества, часть из которых — будущая нефть.

Илы в начале своего отложения содержат 80—90% воды, т. е. это в основном вода с каким-то количеством взвешенного твердого вещества, «жижа». Таким образом, все диагенетические процессы, в том числе превращения органических веществ, идут в водной среде. Именно наличие такой водной среды определяет главные черты диагенеза — интенсивность протекания химических реакций и возможность микробиологических (бактериальных) процессов. В обводненной среде донных осадков размножаются бактерии, их численность доходит до миллиардов в 1 г ила, а биомасса — до грамма на 1 м<sup>2</sup> площади дна. Эти-то бактерии и играют главную роль в преобразовании органических веществ: они «объедают» их, оставляя лишь самые устойчивые «несъедобные» части. Необходимым же условием жизнедеятельности бактерий служит высокая обводненность среды.

Когда осадок превращается в горную породу, содержание в этой породе воды уже гораздо меньше, чем в исходном осадке. Так, в сформировавшихся глинах вода составляет не более 40% массы. Чем глубже залегает глина и чем древнее она по возрасту, тем меньше в ней воды. В самых плотных глинах, которые называют также глинистыми сланцами, имеется уже только несколько процентов воды.

Куда же исчезает вода, содержавшаяся первоначально в осадках? Она выжимается из уплотняющихся осадков и пород в соседние, менее уплотняемые пласты — пески и песчаники. Этот процесс называют элизионным процессом. Он имеет очень большое значение для образования нефти. Дело в том, что вместе с водой выносятся часть нефтеобразующих органических веществ или почти готовая нефть.

Такие явления и наблюдаются на стадии катагенеза, следующей за диагенезом (рис. 10). Катагенез охватывает процессы, идущие в уже затвердевших, окаменевших осадочных породах (глинах, песчаниках, известняках) при погружении их на глубину 1, 2 км и более и постепенном увеличении температуры и давления. Воды на стадиях катагенеза в осадочных образованиях, конечно, уже гораздо меньше, чем при диагенезе, бактериаль-

ные процессы не идут, протекают только химические реакции. Наблюдается элизионный процесс, вода продолжает играть важную роль, особенно как транспортирующее средство.

На стадии катагенеза идут медленные, но неуклонные химические превращения захороненных в породах органических веществ: постепенно главным образом под

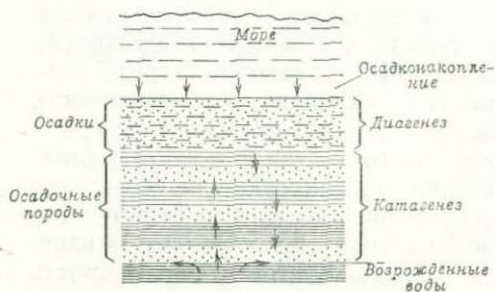


Рис. 10. Роль воды в образовании и преобразовании осадочных пород. Стрелками показано направление движения вод

влиянием все повышающейся температуры в составе этих веществ растет доля углеводородных химических структур, характерных для нефти. Органическое вещество «дозревает» и способность его производить нефть повышается.

Углеводородные химические структуры, накапливающиеся в составе органического вещества, наиболее подвижны по сравнению с другими структурами, наиболее способны к переходу в жидкое состояние, а следовательно, к перемещениям, или миграции в горных породах. Поэтому при первой же возможности начинается их отщепление, отделение от остальной части органического вещества с образованием уже самостоятельных молекул углеводородов и уход, или эмиграция этих углеводородов из мест их первоначального образования. Эмиграция (эвакуация) в основном идет параллельно с элизионным процессом, а углеводороды и другие вещества частично растворяются в воде и дальше перемещаются вместе с ней. Таким образом, и здесь вода играет важнейшую роль в судьбе нефти, так как без эмиграции углеводородов из мест их первоначального залегания нефть вообще не может возникнуть.

Но что же происходит тогда, когда количество воды в глинах становится уже небольшим? Может быть роль

воды в миграции нефти сходит на нет? Оказывается, это не так. Когда исчерпываются запасы свободной воды в порах горных пород, в процесс вовлекается химически связанная вода, существующая внутри минералов. А такой воды очень много. Например, минерал монтмориллонит, составляющий главную часть очень многих глин, содержит до 24% воды, которая находится внутри его кристаллической решетки. При катагенезе происходит разрушение одних минералов и образование на их месте новых. Они содержат гораздо меньше химически связанной воды, происходит разрушение и монтмориллонита. Следовательно, выделяется много воды. Такая вода получила название возрожденной. Ведь когда-то она была свободной водой водоема, затем при диагенезе была захвачена образующимися в донных осадках минералами, а теперь, при катагенезе, как бы вновь возрождается, выделяется в свободное состояние.

Возрожденная вода обладает замечательными свойствами, в числе которых необыкновенно сильная растворяющая способность. Будучи в момент своего возрождения совершенно чистой, она растворяет очень много минеральных и органических веществ, находящихся в окружающих породах. Описанное явление очень важно в судьбе нефти. Если даже возрожденной воды не очень много, ее недостаточное количество компенсируется этим особым качеством, и она успешно выполняет свою роль в эмиграции нефти из участков ее зарождения и созревания. Кроме того, очень много значит то обстоятельство, что возрожденная вода появляется в больших количествах уже тогда, когда созрело много нефтяных углеводородов, готовых для эмиграции. Поэтому возрожденная вода может особенно успешно выполнять свою эвакуирующую функцию.

Итак, мы и на этом этапе снова встречаемся с водой, причем ее роль проявляется в совершенно особых условиях. В действие вступает своеобразная, неизвестная в повседневной жизни, разновидность воды.

Выше мы говорили, что и вода и нефть, частично еще не вполне готовая, эмигрируют из глин в песчаные пласты-коллекторы. Что же ожидает их там? Коллекторские песчаные породы насыщены в основном водой. Она заполняет иногда до 25—30% объема таких пород, что отвечает примерно 15% массы. Следовательно, песчаные

породы и во всяком случае их поры можно считать высоко обводненной средой. Углеводороды и другие органические соединения попадают именно в эту водную среду и находятся там частично в растворенном виде, отчасти может быть в форме так называемых микроэмульсий — мельчайших капелек углеводородных смесей, плавающих в воде.

Органические соединения, особенно углеводороды, присутствующие в водах коллекторов или как говорят, в пластовых водах, чрезвычайно интересны для познания происхождения нефти, и на них сто́ит остановиться подробнее. Гидрогеолог В. М. Шве́ц подсчитал, что общая масса органических веществ в подземных водах равна нескольким триллионам тонн. Это в десятки раз больше всех предполагаемых запасов нефти на земле. Однако углеводороды в составе всех этих водорастворенных органических соединений составляют далеко не главную часть. Правда, масса самых легких углеводородов, газообразных при обычных условиях (это в основном метан  $\text{CH}_4$ ), очень велика: по расчетам гидрогеолога Л. М. Зорькина более 1 млн. км<sup>3</sup>. Однако самые легкие углеводороды, в первую очередь метан, образуют залежи природного газа, а в нефти их доля незначительна. Так, метана в нефти по массе не более нескольких сотых процента. Углеводородов же, играющих важную роль в составе нефти, в пластовых водах содержится очень мало — миллиграммы на литр воды; это сотые доли всего растворенного органического вещества.

Тот факт, что нефтяных углеводородов, т. е. таких же, что и в составе нефти, например бензола  $\text{C}_6\text{H}_6$ , в пластовых водах мало, отнюдь не значит, что они не играют важной роли в образовании нефти. Совсем нет. Давно известно, что в природе даже очень малые количества вещества, поступающие непрерывно в течение геологического времени (миллионы, а иногда даже и десятки миллионов лет), способны в конечном счете образовать огромные накопления. Так обстоит дело с залежами руд многих металлов, так, возможно, оно обстоит и с нефтяными залежами. Можно подсчитать, что при содержании нефтяных углеводородов, всего несколько миллиграммов на 1 л воды и при наблюдаемых скоростях движения пластовых вод (скорости эти очень небольшие) из растворенных в воде углеводоро-

дов за несколько миллионов лет образуется гигантская залежь с запасом нефти в миллиард тонн.

Итак, растворенные углеводородные и другие органические соединения в пластовых водах очень интересны с точки зрения образования нефти и ее залежей. Каково же происхождение этих веществ? Оно различно. Некоторая часть их может происходить прямо из органических веществ морской воды, захватываемой слоем

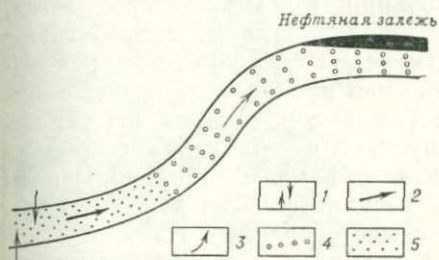


Рис. 11. Роль воды в образовании нефтяных залежей

1 — элизионный процесс; 2 — перенос углеводородов водой; 3 — всплывание нефти в воде; 4 — пленки нефти в воде; 5 — растворенные углеводороды в воде

песка при его отложении на дне моря. Но главная часть пришла тем путем, который был выше описан — при элизионном процессе и выделении возрожденной воды из глин, из органического вещества в глинах.

Что происходит с органическими соединениями в пластовых водах? Какова их дальнейшая судьба? Во-первых, идут химические превращения. Самые обычные органические соединения в водах — жирные кислоты, например муравьиная кислота, уксусная кислота и др. Некоторые из этих кислот под действием повышенных температур и других условий могут частично превращаться в нефтяные углеводороды. Таким путем запас вещества, который пригоден для образования нефти, может пополняться уже в водной среде коллекторских пород. Опять мы наблюдаем благотворное влияние водной среды и самой воды на возникновение нефти.

Во-вторых, в водной среде коллекторских пород углеводороды и другие органические соединения переносятся водой. Как образно выразился французский ученый Брюдерер, «вода — гигант, переносящий на своих плечах карлика-паразита — нефть» (вспомним о количестве их в земных недрах). Вода здесь выполняет роль транспортера, доставляющего нефть и некоторые идущие на ее образование вещества из мест их зарождения

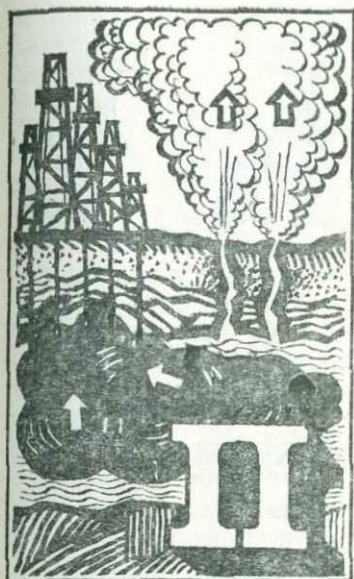
и созревания туда, где нефть накапливается в виде залежей.

И наконец, происходит выделение, выпадение, как говорят, высаливание углеводорода из растворов и эмульсий. Это процесс, необходимый для появления обособленных скоплений нефти — залежей. Надо признать, что детали этого процесса обособления нефти и воды еще недостаточно ясны. Здесь остается обширное поле для дальнейших исследований. Сейчас предполагается, что высаливанию углеводородов из вод способствуют перепады температур, изменения солености вод, некоторые другие явления, например процессы типа просеивания молекул через сита. Так, ряд минералов, играя роль молекулярных сит, пропускает через себя молекулы  $H_2O$ , но задерживает более объемистые молекулы нефтяных углеводородов, в результате чего эти углеводороды могут образовать самостоятельную фазу.

Кроме того, в водной среде идет химическое разложение углеводородов. Но это уже процесс, отнюдь не способствующий рождению нефти, а наоборот, уничтожающий ее и поэтому здесь мы не будем на нем останавливаться.

Интересно, что и после выделения из водного раствора в пласте нефть остается в водной среде. Она лишь обособлена от воды, образуя отдельную фазу, как бы масляные пятна, пленки, плавающие в воде и на воде (рис. 11). Именно присутствие в пластах воды определяет главную закономерность залегания нефти — залежи нефти находятся в самых приподнятых частях пластов. Такое размещение залежей нефти вызвано всплыванием нефти в воде, так как нефть легче воды. Если бы в нефтеносных пластах не было воды, водной среды, то судьба нефти была бы иной. Но роль воды в жизни нефти этим не ограничивается.

## ВОДА ПОМОГАЕТ ИСКАТЬ НЕФТЬ, А НЕФТЬ — ВОДУ



Исканья нефтяных месторождений сложны и требуют усилий многих специалистов. Они изучают геологическое строение исследуемой территории, условия залегания и образования пород, их вещественный состав и коллекторские свойства. Очень важно знать, в какой обстановке накапливались осадки, много ли органического вещества захоронялось в горных породах. И конечно, большое значение имеют знания химического и газового состава подземных вод, их движения, питания и разгрузки, т. е. условий той среды, в которой протекает все существование залежей нефти. И только оценив весь комплекс этих данных, можно рекомендовать бурить скважины, а уж они дадут ответ на вопрос, есть ли нефть на изучаемом участке земли.

В этой главе мы остановимся преимущественно на роли подземных вод при поисках нефти. В ряде мест земного шара отмечаются выходы нефти на дневную поверхность вместе с подземными водами.

Особенно хорошо видны нефтепроявления в грязевых вулканах. В нашей стране грязевые вулканы широко распространены на Таманском, Апшеронском, Керченском полуостровах, на восточном побережье Каспийского моря в Туркмении. Встречаются грязевые вулканы в Румынии, в Иране, КНР (Джунгария), Бирме, в США

и Мексике. Распространены они преимущественно в местах погружения горных сооружений, где еще недавно проявлялась складчатость, имеется мощная толща осадочных отложений, прежде всего глин. По разрывным нарушениям газ, скапливающийся в недрах, выбрасывает на дневную поверхность разжиженную подземными водами глину. В некоторых грязевых вулканах вместе с грязями и подземной водой из жерла выбрасывается нефть. На поверхности вод, заполняющих кратер, видны переливающиеся всеми цветами радуги пленки нефти. Когда смотришь на затихший было кратер, кажется, что недра отдали всю свою энергию без остатка. Но вот после затишья что-то глухо начинает хлопотать в глубине, взрыв — и вновь комья грязи и воды летят вверх. Бывает и так, что грязевой вулкан надолго замолкает, а затем вновь пробуждается через многие годы.

Очень обильные нефтепроявления, связанные с грязевыми вулканами, отмечаются в Азербайджане и Туркмении. В Туркмении есть вулкан Кеймир, кратер его достигает 50 м. Он заполнен водой, на поверхности которой появляются пятна нефти и пузырьки газа.

В Западно-Туркменской низменности выявлены источники высоко минерализованных вод с пленками нефти. Эти источники тоже приурочены к разрывам в земной коре, по которым вода с нефтью поднимается на дневную поверхность. Такие же источники с водонефтяной эмульсией есть в Грузии в междуречье Иоры и Куры. На севере нашей страны на реке Ухте есть участки, где на поверхности воды периодически появляются газовые пузырьки и темные пятна нефти.

Встречаются и большие скопления нефти на поверхности земли. Так, на острове Тринидад образовалось огромное смоляное озеро окисленной нефти — асфальта, который здесь же и добывается. Отбираемый асфальт непрерывно пополняется за счет асфальта, поднимающегося вместе с подземными водами, песком и газами с глубины.

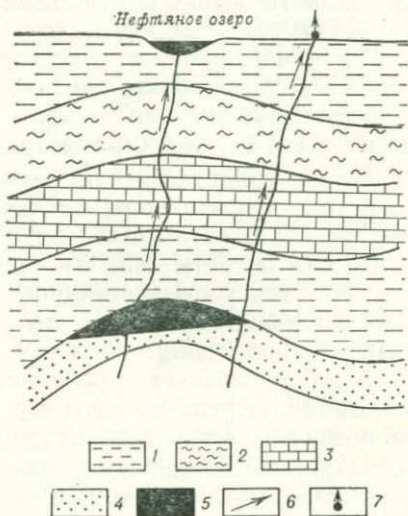
О наличии нефтеносных пластов под дном морей говорят пленки нефти, появлявшиеся, например, недалеко от острова Жилого в Каспийском море. Подводные нефтепроявления известны вблизи Санта-Барбара в Ка-

лифорнии, в Мексиканском заливе и в бухте Консентс.

Все эти поверхностные проявления — выходы нефти или асфальта, а также подземных вод с пленками нефти — прямо указывают на нефтеносность недр. Они говорят о том, что на глубине есть скопления нефти, что нефтеносные породы размыты или разбиты тектоническими нарушениями, по которым вода и нефть проникают на поверхность земли или моря (рис. 12).

Рис. 12. Схема образования нефтяного озера и источника вод с нефтью

1 — глины; 2 — мергели; 3 — известняки; 4 — водоносные песчаники; 5 — нефтяная залежь; 6 — направление движения вод и нефтей по разломам; 7 — источник воды с нефтью



Вот почему поиски нефти необходимо начинать с геологических изысканий, фиксируя каждый выход подземных вод с пленками нефти или же источник вод, обогащенных различными органическими веществами, близкими по составу к нефтям. Существенную помощь при поисках нефти может оказать поверхностная гидрогеологическая съемка. Она заключается в изучении всех водопоявлений. Отбирают пробы воды в колодцах, в различных водоемах, очень тщательно обследуют источники воды рек, ручьев. На каждую пробу воды приклеивают этикетку, где указывают, из каких отложений она взята, где находится место отбора, в какое время и кем отобрана. Иногда анализ воды производят с помощью походной лаборатории в полевых условиях,

а более сложные определения делают в стационарных лабораториях на базе экспедиции.

Таким образом, при гидрогеологической съемке изучают условия залегания водоносных пластов и водупорных горизонтов, движение вод в пластах, их химический и газовый состав, температуру. Все полученные данные наносят на карту. Может случиться, что на гидрогеологической карте среди поля пресных вод обнаружится участок, на котором соленость вод окажется намного выше окружающего фона. Если при этом температура воды на этом участке также выше обычной и в составе вод имеются различные органические вещества, родственные нефти, то есть основания предполагать, что мы обнаружили аномальную зону, в данном случае и гидрохимическую, и геотермическую.

О чем свидетельствуют эти аномалии? Прежде всего о том, что эти воды не характерны для поверхностных условий, потому, что их соленость намного выше и они более нагреты. Значит, они проникли сюда с глубины. Поскольку они насыщены органическими веществами, родственными нефти, то можно заключить, что в толщах пород, залегающих в недрах земли, существовали или существуют условия, благоприятные для образования нефти. Вот почему гидрогеологическая съемка помогает, во-первых, уточнить геологическое строение исследуемой территории, во-вторых, выяснить условия залегания поверхностных и подземных вод и, в-третьих, судить об обстановке существования нефти в недрах.

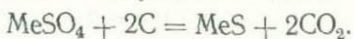
Но далеко не всегда изыскания на поверхности дают положительные результаты, особенно в районах, где нефтеносные породы перекрыты мощной толщей молодых образований.

При изучении гидрогеологических бассейнов нефтяникам очень важно знать, какие условия образования и сохранения залежей нефти существовали в минувшие геологические эпохи. Как развивались бассейны в прошлом? Реконструкция этих условий дает возможность судить о современной нефтеносности. Выше мы писали о том, что на разных этапах геологической истории эти условия могли изменяться, и подземные воды в жизни нефти играли очень важную роль.

Прежде всего надо отметить, что наиболее богаты

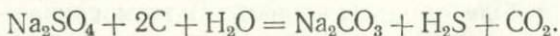
нефтью те осадочные отложения, которые продолжи-  
 тельное время испытывали погружение и перекрывались  
 толщами более молодых пород. В этом случае за дли-  
 тельное геологическое время, исчисляемое миллионами  
 лет, происходило уплотнение осадков, которое сопро-  
 вождалось отжиманием вод из глины в коллекторы и не  
 только вод, но и растворенных в них нефтеобразующих  
 веществ. Чем продолжительнее был период развития  
 элизионных процессов, тем больше нефти образовыва-  
 лось и накапливалось в породах. Очень важно и то об-  
 стоятельство, что в этот период почти не происходило  
 внедрения в породы поверхностных вод, содержащих в  
 своем составе различные окислители, а это способство-  
 вало сохранению залежей нефти. Таким образом, в эли-  
 зионных водонапорных системах существовали наибо-  
 лее благоприятные условия и для нефтеобразования, и  
 для сохранения углеводородов.

Иное дело, когда в пласт инфильтруются поверхност-  
 ные и атмосферные воды, обогащенные различными  
 окислителями, такими, например, как растворенный в  
 воде кислород или сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Кислород, рас-  
 творенный в подземных водах, вступает в реакцию с  
 различными веществами, окисляет углеводороды и  
 быстро исчезает из вод. Что касается сульфатов, то  
 здесь процесс окисления более сложен и длителен. Сам  
 процесс восстановления сульфатов и окисления органи-  
 ческих веществ происходит при участии особых микро-  
 организмов и является биохимическим. Наиболее рас-  
 пространены бактерии *Vibrio desulfuricans* и *Vibrio ther-  
 modesulfuricans*. Образно говоря, бактерии-десульфати-  
 заторы используют кислород сульфатов для дыхания,  
 а углеводороды служат им источником питания. В об-  
 щей схеме реакция восстановления сульфатов может  
 быть представлена в следующем виде:

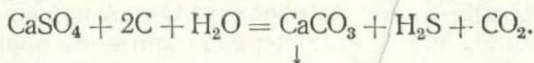


Здесь Me — металл, а C — символ органического веще-  
 ства (различные битумы, нефти, углеводородные газы  
 и др.). Из приведенной реакции следует, что органи-  
 ческое вещество окисляется и превращается в углекис-  
 лый газ, а сульфаты исчезают из вод, превращаясь в  
 сероводород. Надо отметить, что ход процесса зависит  
 от химического состава вод. Если в подземных водах

преобладают сульфаты натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , то реакция будет иметь следующий вид:



В подземных водах появляется сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и вода приобретает щелочность. Если в пластовых водах преобладают сульфаты кальция, то процесс сопровождается образованием карбоната кальция, выпадающего затем в осадок



Но и в первом, и во втором случае в пластовых водах появляется углекислота и сероводород. Сероводород может реагировать с другими элементами, например с окислами железа, образуя пирит ( $\text{FeS}_2$ ) с железом и медью, образуя халькопирит ( $\text{CuFeS}_2$ ) и др. Часто в естественных обнажениях пород или в керне, взятом из скважины, обнаруживаются золотистые кристаллики пирита — немного свидетеля давно закончившегося процесса окисления органических веществ и в том числе нефти.

Встречаются складки с размытыми сводами. Поверхностные воды, обогащенные сульфатами, проникают здесь далеко в глубь. Такие складки называют гидрогеологически раскрытыми. Кроме того, обогащение вод сульфатами связано с выщелачиванием толщ гипсов.

Если нефтяная залежь в течение длительного времени омывается водой, обогащенной сульфатами, то это может привести к тому, что нефть, окисляясь, потеряет легкие фракции и станет тяжелой, густой, похожей на черную пасту. Такие нефти на Ухте добывают в шахтах, как уголь. На некоторых месторождениях Средней Азии получают тяжелую окисленную нефть, которая используется только в качестве топлива и для покрытия дорог. На месторождении Амударья нефть настолько густа, что она выходит из скважины подобно вязкому тесту.

Процессы десульфирования в геологическом прошлом, видимо, приводили и к полному исчезновению залежей нефти. Окисление нефти зависит, конечно, и от скорости движения подземных вод, обогащенных сульфатами, и от количества сульфатов, растворенных в во-

дах, и от состава нефтей. Но даже ориентировочные расчеты показывают, что большая залежь нефти может исчезнуть в зависимости от перечисленных факторов за сотни, а иногда и десятки миллионов лет.

Кроме того, в инфильтрационных водонапорных системах возможно и чисто механическое разрушение залежей нефти. Могут создаться такие условия, когда скорость движения воды резко возрастет, а это приведет к смещению, а возможно полному вымыванию залежи из ловушки. Нефть вместе с подземными водами начнет перемещаться по пласту. На пути движения воды и нефти может встретиться другая ловушка. В ней вновь начнет образовываться залежь. Но при этом неизбежны потери нефти и за счет окисления, и за счет рассеивания. Таким образом, в водонапорных системах инфильтрационного типа условия сохранения залежей менее благоприятны. В них преимущественно преобладают процессы переформирования и разрушения залежей нефти.

Все сказанное свидетельствует о важности восстановления гидрогеологической истории водонапорного комплекса или бассейна подземных вод и дает ключ к пониманию процессов образования и сохранения залежей нефти, а также дает возможность правильно ориентировать работу разведчиков недр.

Сделав предварительное заключение о перспективах тех или иных земель или же конкретных пластов, можно рекомендовать бурение поисковых скважин. Мы должны стремиться открыть месторождение по возможности меньшим числом скважин, но нередко приходится пробурить десятки скважин, прежде чем будет обнаружено нефтяное месторождение. И все же каждая скважина, вскрывшая водоносный пласт, дает много полезных данных. Можно получить сведения о напорах подземных вод, условия их залегания, газовом и химическом составе вод, уточнить геологическое строение района. Иными словами, мы получаем информацию, способствующую выбору более правильного направления поискового бурения.

Если скважины вскрывают водоносную часть пласта, то существенную помощь в обнаружении залежи нефти могут оказать данные о напорах вод. Напоры воды замеряются в каждой скважине и выражаются в метрах

столба воды. Получив эти данные, мы сравниваем их между собой. Для удобства сравнения обычно строят карты равных напоров или карты гидроизопъез. На них около каждой скважины показана величина напора, а между скважинами проведены линии, соединяющие скважины с равными напорами — гидроизопъезы. Такие карты дают возможность определить направление движения подземных вод в пласте, рассчитать скорости

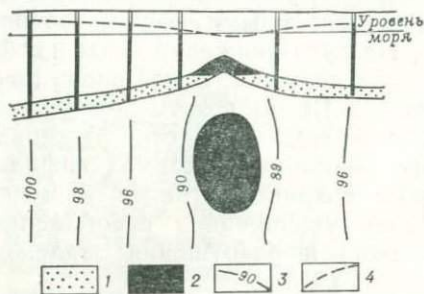


Рис. 13. Схема образования пьезоминимума вблизи нефтяной залежи:

1 — водоносный пласт; 2 — залежь нефти; 3 — гидроизопъезы; 4 — пьезометрическая поверхность

движения на отдельных участках, выявить зоны перетока и т. д. Если наблюдается плавное изменение напоров и гидроизопъезы имеют форму параллельных линий, то это значит, что никакого препятствия на пути движения вод в водоносном горизонте нет. Но если обнаруживается участок, где напоры существенно снижаются и конфигурация гидроизопъез изменяется, то это говорит о том, что на пути движения подземных вод есть преграда. В качестве преграды может быть и залежь нефти, которую подземные воды обтекают, что и приводит к снижению напоров. Такой случай и показан на рис. 13.

Изменение гидроизопъез иногда показывает, что есть залежь нефти, образование которой обусловлено не изгибом слоев или наличием литологической ловушки, а особенностями движения вод в коллекторе. В некоторых пологозалегающих пластах нефть стремится всплыть вверх, а движение вод препятствует этому. В результате залежь нефти удерживается потоком вод, омывается им, и находится в так называемой гидродинамической ловушке. Сейчас поискам залежей такого типа уделяется очень большое внимание. Причиной снижения напоров в пределах комплекса или водоносного горизонта

может быть переток вод из одного пласта в другой в месте нарушения их герметичности, например по разрывному нарушению. В любом случае, если есть аномальные зоны, где наблюдается увеличение или снижение напоров вод, это должно привлечь внимание разведчиков недр.

Существенную помощь при поисковых работах могут оказать сведения о составе подземных вод и их минерализации. Если при опробовании пласта получили воду с очень низкой минерализацией, почти пресную, с большим количеством сульфатов, то это свидетельствует о том, что в пласте существует обстановка, мало способствующая сохранению залежей нефти. У исследователей складывается мнение, что если здесь и была залежь нефти, то она частично или полностью разрушилась. Высокая минерализация подземных вод и незначительное количество сульфатов, наоборот, указывают на благоприятную обстановку существования углеводородов, но не позволяют установить, есть или нет нефтяное месторождение. Для этого надо искать ловушку, в которой могла сформироваться залежь нефти.

Если выявлен участок пласта, где на фоне более или менее плавного изменения минерализации есть зона с пониженной или повышенной минерализацией, то как и при поверхностной съемке, отмечается появление гидрохимической аномалии. Гидрохимическая аномалия, связанная с ростом минерализации, может быть обусловлена образованием застойной зоны вблизи залежи. Это происходит тогда, когда основной поток подземных вод обтекает залежь, а в подстилающих нефть водах создаются условия, способствующие увеличению минерализации и изменению состава вод. В них уменьшается количество сульфатов, увеличивается содержание различных кислот и органических веществ, поступающих из нефти. Иногда поток подземных вод настолько интенсивен, что воды с повышенной минерализацией сохраняются только за залежью, как бы в ее тени. Часто такую гидрохимическую аномалию называют гидравлической тенью.

На рис. 14 показана гидрохимическая аномалия вблизи залежи литологического типа. Но, когда ведутся поиски, мы еще не знаем, есть ли в этом пласте залежь. На основании гидрохимической аномалии мы можем

говорить лишь о возможности обнаружения ловушки. Для выявления залежи нефти бурят скважины вверх по восстанию пласта по направлению увеличения минерализации подземных вод.

Появление гидрохимической аномалии может быть обусловлено и другой причиной, например перетоком

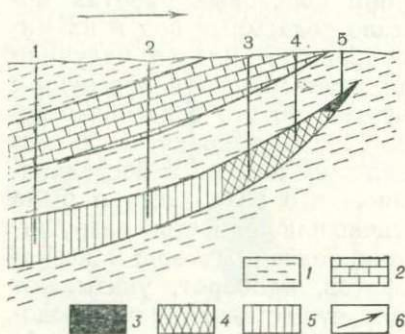


Рис. 14. Схема образования гидрохимической аномалии вблизи залежи литологического типа

1 — глины; 2 — известняки; 3 — залежь нефти; 4 — гидрохимическая аномалия — воды с повышенной минерализацией; 5 — воды с более низкой минерализацией; 6 — направление поискового бурения

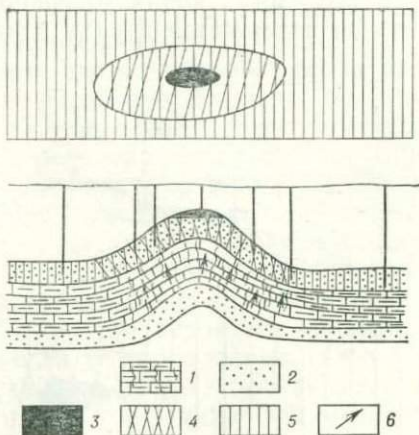
вод из нижнего горизонта в верхний. Представим себе, что два песчаных пласта разделены толщиной глинистого известняка, служащего водоупорным горизонтом. При смятии пластов в антиклинальную складку глинистый известняк растрескивается. По трещинам воды из нижнего пласта проникнут в верхний пласт и поскольку они более минерализованы, то в верхнем пласте появится зона с повышенной минерализацией вод. Чем более крутыми будут углы складки, тем больше будет трещиноватость глинистого известняка, а значит и резче будет гидрохимическая аномалия. Эта аномалия указывает на наличие ловушки и служит ориентиром при поисках залежей нефти (рис. 15).

В подземных водах растворены различные органические соединения, такие, например, как бензол, летучие жирные кислоты, фенолы и т. д. Они связаны с нефтями и могут использоваться при поисках нефтяных месторождений. Необходимо все время следить за изменением их концентрации в подземных водах возможно продуктивных пластов. С этой целью при бурении следует постоянно отбирать пробы воды из скважин, производить лабораторные анализы и полученные данные сопоставлять между собой. Особенно хорошие результаты получены при изучении бензола. Бензол наи-

более тесно связан с нефтями. Выяснено, что вблизи залежи концентрация бензола всегда выше. Это связано с тем, что нефть залежи отдает часть бензола в окружающую ее пластовую воду, образуя, как говорят

Рис. 15. Схема образования гидрохимической аномалии в антиклинальной складке

1 — глинистый известняк, в антиклинальной складке, трещиноватый; 2 — водоносные горизонты; 3 — нефтяная залежь; 4 — гидрохимическая аномалия; 5 — фоновые значения — воды с меньшей минерализацией; 6 — направление движения вод



геологи, ореол рассеивания. Если при поисковом бурении на фоне низких концентраций бензола будет выявлен участок с повышенным его содержанием, то это будет указывать на близость нефтяной залежи. И в этом случае скважины надо бурить в направлении увеличения концентрации бензола.

На рис. 16 показана карта распространения водоносного горизонта, на которой нанесены низкие, фоновые, концентрации бензола и ореол рассеивания вблизи залежи. Стрелками указано, в каком направлении необходимо бурить поисковые скважины, чтобы выявить месторождение нефти. Для поисковых целей могут быть использованы также данные о содержании в подземных водах толуола, фенолов и некоторых других органических соединений.

Замечено, что в нефтеносных отложениях нередко наблюдаются высокие концентрации аммония ( $\text{NH}_4^+$ ). Аммоний в природных водах накапливается в результате преобразования белковых соединений, содержащих азот, поэтому он отчасти связан с нефтями. В подземных водах, имеющих в своем составе ионы хлора,

аммоний находится в виде нашатыря, или хлористого аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Если обнаружится, что в подземных водах имеются высокие концентрации хлористого аммония, то это укажет на возможную нефтеносность отложений или на близость залежи.

В подземных водах довольно широко распространен иод. Он содержится в виде иона  $\text{I}^-$ , а также в составе

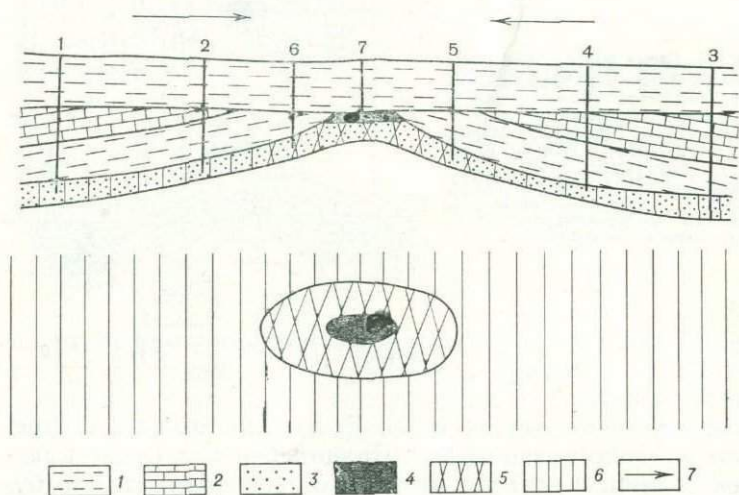


Рис. 16. Схема образования ореола рассеивания бензола вблизи залежи нефти  
 1 — глины; 2 — известняки; 3 — водоносный горизонт; 4 — нефтяная залежь;  
 5 — ореол рассеивания бензола (повышенные содержания); 6 — фоновые значения содержания бензола; 7 — направление поисково-разведочного бурения

органических соединений. Иод накапливается в морских водорослях, губках, кораллах в концентрациях, намного превышающих его содержание в морской воде. После отмирания морских организмов их остатки скапливаются на дне и вместе с илом постепенно превращаются в породу. Часть иода поступает в подземные воды, насыщающие эти породы, а большая часть сохраняется в органических остатках, которые участвуют в нефтеобразовании, поэтому иод ассоциируется с нефтью. Однако иод вместе с подземными водами все время перемещается в пласте и поэтому его концентрации крайне неравномерны, от нескольких десятков и даже сотен миллиграммов в литре воды до нескольких миллиграммов.

Встречаются нефтяные месторождения, в водах которых имеются довольно высокие концентрации иода, но бывает и так, что иод вовсе не обнаруживается. Поэтому отсутствие иода еще не является показателем того, что нефти вообще нет. Но если в водах отмечаются высокие концентрации этого элемента, то это является положительным признаком нефтеносности.

Мы уже говорили о том, что в подземных водах растворены различные газы. Особенно большое значение имеют сведения о составе и количестве растворенных газов. При поисках нефти рекомендуется тщательно анализировать пробы пластовых вод и проводить специальные анализы растворенного газа. Если оказывается, что в составе газа преобладает метан и его производные — этан, пропан, бутан и др., то это говорит о благоприятной обстановке для нефтеобразования и нефтенакпления. Чем больше этих газов, тем вероятнее обнаружение залежей нефти. Но если углеводородных газов мало, это не значит, что залежи нефти отсутствуют.

Для поисков нефти используют также данные о содержании радиоактивных элементов, концентрация которых по данным ряда исследователей вблизи залежей увеличивается. Как мы видим, сведения о составе подземных вод, ее минерализации, напорах, воднорастворенных газах позволяют дать оценку нефтеносности пород. При этом мы должны учитывать, что залежи нефти не могут существовать обособленно от вод, а являются элементом всей водонапорной системы, тесно связаны с ней. Поэтому нефть в свою очередь обогащает подземные воды различными веществами, повышенные содержания которых помогают искать залежи, открывать нефтяные месторождения.

При бурении в целях поисков нефти или газа часто выявляют такие воды, которые представляют самостоятельный интерес и имеют большую ценность. К ним относятся воды, обладающие целебными свойствами. Здесь уместно отметить, что воды всех нефтяных месторождений, в которых растворены различные соли, газы и радиоактивные элементы, обладают в большей или меньшей степени именно такими свойствами. При бурении скважины на газ на юге Предкавказья получили подземную воду, которая по своему составу соответствовала эссентукским лечебным водам. Скважина

фонтанировала с большим и устойчивым дебитом. Сейчас эта вода используется на курорте в Эссентуках. Значительную ценность представляют воды нефтяных месторождений, в которых повышено содержание иода и брома. Хорошо известно, что во всех странах мира, кроме Чили, где есть уникальное месторождение твердых минералов иода, этот ценный химический элемент добывается из подземных вод. Для промышленной добычи пригодны воды с содержанием иода до 20—25 мг/л.

При бурении скважины на нефть в Центральной части Западной Сибири были выявлены воды со значительной концентрацией иода, а позже обнаружено месторождение иодоносных вод.

В нефтяных месторождениях иодоносные воды встречаются довольно часто, и что очень важно, нет необходимости бурить скважины, а можно использовать те, из которых прекращена добыча нефти. Так и поступают в ряде нефтяных районов нашей страны, например, в Азербайджане и Туркмении. Чаще всего в водах, содержащих иод, имеются высокие концентрации другого ценного элемента — брома, добываемого совместно с иодом. В ряде случаев при высоких содержаниях брома организуется самостоятельная разработка бромосных вод.

Кроме иода и брома в водах нефтяных месторождений содержатся в значительных количествах такие ценные химические элементы, как калий, литий, магний, бор, стронций и многие другие. Когда бурили скважины с целью поисков нефти в Керкидаге в Туркмении, получили сверхкрепкие рассолы, содержащие различные ценные элементы. В ряде стран мира некоторые из названных веществ добываются из подземных вод. Но освоение богатств, таящихся в недрах гидрогеологических бассейнов, только начинается. Для химической промышленности воды нефтяных месторождений представляют собой огромный резерв сырья.

Хорошо известно, что с глубиной увеличивается температура подземных вод. В недрах гидрогеологических бассейнов земного шара выявлены горячие воды, служащие источником тепловой энергии. Запасы этой энергии практически неисчерпаемы. При бурении нефтяных скважин нередко получают воду с очень высокой темпе-

ратурой, по существу это перегретый пар. Так, в Предкавказье с глубины 3500 м получили перегретый пар температурой 170°C. Горячие термальные воды надо шире использовать в народном хозяйстве.

Рационально используются горячие воды нефтяных скважин в Махачкале. Из скв. 160 получают около 2 тыс. м<sup>3</sup>/сут воды с температурой на устье 63°C. Вода используется не только для нужд теплофикации, но и как лечебная. Она разливается в бутылки и называется «Махачкала-160». Воды более 15 нефтяных скважин вблизи Махачкалы используются для нужд города, для парникового хозяйства, снабжения горячей водой спортивных сооружений и т. д. Огромное количество тепла извлекается из недр при разработке нефтяных месторождений. На Октябрьском месторождении в районе Грозного попутно с нефтью добывают воду температурой более 80°C. По расчетам видного гидрогеолога Г. М. Сухарева вынос тепла водой за многолетний период разработки этого месторождения составил примерно  $14 \cdot 10^{12}$  ккал. Для получения такого количества тепла необходимо сжечь более 1,3 млн т мазута или 1,9 млн т каменного угля, или 1,7 млрд. м<sup>3</sup> природного газа. Совершенно очевидно, что при эксплуатации сотен и тысяч месторождений нефти, можно получить огромное количество дешевой энергии, а главное сэкономить столь дефицитное топливо.

Использование термальных вод особенно важно и целесообразно при освоении северных районов нашей страны. В условиях сурового климата и вечной мерзлоты применение горячих вод, добываемых попутно при разработке нефтяных месторождений, не только улучшит жизненные условия населения, но и удешевит сам процесс добычи нефти.

## ВОДА — ДРУГ И ВРАГ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ



ода имеет громадное значение при добыче нефти. Она выступает при этом и как

естественный фактор и как орудие в руках человека. Добыча нефти без всякого участия воды — очень редкий случай. Обычно нефть находится в пластах в большей своей части водоносных, причем сама нефть занимает сравнительно небольшие объемы внутри этих пластов, располагаясь на приподнятых участках. Пласты, содержащие и воду, и нефть, и газ, образуют единые гидравлические системы, где нефтяные и газовые залежи испытывают на себе давление со стороны всей массы заключенных в такой системе жидкостей. «Волны» подземного океана как бы наступают на нефтяной остров со всех сторон, а когда мы вскрываем такой остров (нефтяную залежь) буровыми скважинами, эти «волны» гонят нефть к скважинам и далее на поверхность земли. Подземная вода выступает здесь как союзник человека, помогая ему добывать нефть.

Все же есть случаи, когда вода в добыче нефти роли не играет. Чем это объяснить? Ведь нефтяные залежи гидравлически связаны с вмещающими их водоносными пластами. А вот чем. Иногда породы вблизи нефтяной залежи у контакта нефти с водой имеют очень небольшую проницаемость вследствие того, что их по-

ры заполнены различными минеральными веществами, выпавшими из водных растворов. Тогда давление водных масс всей гидравлической системы слабо передается на нефтяную залежь, а то и вовсе не передается. Залежь нефти как бы изолирована от окружающих ее вод.

Смотря по тому, какая энергия движет нефть к добывающим (эксплуатационным) скважинам, различают несколько режимов нефтяных залежей. Тот случай, когда, как сказано выше, давление водяных масс гонит нефть к скважинам, называют водонапорным режимом. Роль вод в добыче нефти здесь максимальна. При водонапорном режиме добыча нефти очень долго может удерживаться почти на одном уровне. Классическим примером служит добыча из некоторых пластов Грозненского района на Северном Кавказе. Так, из XIII пласта Октябрьского нефтяного месторождения Грозненского района в 1917 г. было добыто около 1600 тыс. т нефти, в 1930 г. т. е. через 13 лет, было добыто 1800 тыс. т и еще через 17 лет в 1947 г. — тоже 1800 тыс. т. Как видим, через 30 лет годовая добыча нефти осталась такой же.

Интересно, что именно в Грозненском нефтяном районе инженерами И. Н. Стриковым и Н. Т. Линдтропом впервые был изучен водонапорный режим нефтяных залежей и нефтеводоносных систем. Там было установлено любопытное явление: по мере увеличения добычи нефти из XIV и XVI пластов Старогрозненского месторождения иссякали водяные ключи, находившиеся на расстоянии нескольких десятков километров, и наоборот, эти ключи начинали опять бить сильнее, когда добыча нефти из скважин уменьшалась. Восточный источник в Горячеводске, приуроченный к XIII пласту и расположенный вблизи Октябрьского нефтяного месторождения, в 1916 г., когда начали эксплуатацию этого пласта, давал 1220 м<sup>3</sup>/сут, а в 1932 г., когда уровень жидкости в скважинах снизился до уровня расположения этого источника, он иссяк. Такими наблюдениями точно доказывается, что нефть в пластах включена в одну гидравлическую систему с водой.

Не менее показательное поведение XXII пласта того же Октябрьского нефтяного месторождения: с 1932 г., когда было добыто около 750 тыс. т нефти, до 1952 г., т. е. за 20 лет добыча осталась на одном уровне.

Однако в чистом виде естественный водонапорный режим встречается довольно редко. В большинстве случаев из-за недостаточно хорошей проницаемости пород по мере отбора нефти вода не успевает быстро продвигаться и занимать освобождающийся объем. В результате давление воды на нефть падает и в действие могут вступить другие силы. Однако обычно добыча нефти и воды также уменьшается. Этот режим уже не будет чисто водонапорным.

Существует еще один режим, который тоже определяется влиянием воды, только сказывается оно в другой форме. Это упругий режим. Воду считают несжимаемой, но в действительности дело обстоит не совсем так. Вода обладает некоторой сжимаемостью, хотя и очень небольшой. Коэффициент сжимаемости воды составляет около  $4,5 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/кгс. Величина эта очень мала, и может показаться, что данное свойство воды не имеет никакого практического значения. Но надо вспомнить об огромных массах воды подземного океана. Например, общее количество ее в толще вудбайн (штат Техас), распространяющейся на площадь около 50 тыс. км<sup>2</sup>, составляет более 1000 км<sup>3</sup>. В этом случае даже, казалось бы, незначительная упругость воды приобретает значение.

Когда пласт вскрывают скважинами, и нефть или вода извлекается на поверхность, давление падает. Тогда-то и вступают в действие скрытые в пласте упругие силы. Эти силы тем больше, чем больше размеры пласта. Снижение давления вызывает высвобождение упругого запаса жидкости в пласте.

Если давление в пласте вудбайн снизится примерно наполовину, т. е. на 50 кгс/см<sup>2</sup>, количество воды, выделившееся при упругом расширении, составит около 1/10 запаса нефти в гигантской залежи Восточный Техас, самой большой в США (без Аляски). В результате почти 100 млн. т нефти можно извлечь за счет упругого расширения воды. Для небольших нефтяных залежей упругие запасы жидкости могут превышать содержащееся в этих залежах количество нефти (т. е. в эти запасы, помимо нефти, будут входить и какие-то объемы воды). Появляющиеся при упругом расширении воды объемы жидкости создают дополнительное давление на нефтяную залежь, которая сама тоже обладает упругостью, и

это позволяет добывать определенное количество нефти за счет напора, вызванного упругим расширением. В том и состоит механизм действия упругого режима.

Упругий режим может хорошо действовать в сравнительно небольших по объему песчаных пластах (линзах), как бы сжатых со всех сторон уплотняющимися глинами. В таких пластах именно благодаря упругому сжатию самого пласта и заключенных в нем жидкостей могут существовать очень высокие давления, и скважины сначала могут давать очень много нефти и воды. Но упругий запас таких линз из-за их весьма ограниченных размеров невелик, они быстро истощаются и нефтяные или водяные фонтаны иссякают.

Когда вода совсем не давит на нефть, добыча нефти может идти при режимах, называемых газовыми. Движущей силой служит расширение находящегося в нефтяной залежи газа. Но так как количество газа в нефтяной залежи всегда ограничено, режим этот обычно считают мало эффективным. Мечтой нефтяников всегда остается идеальный водонапорный режим. Поскольку в природе такой идеальный режим — редкий случай, то решили так: если давления воды в пласте не хватает, надо закачивать туда воду искусственно.

С первой искусственной закачкой воды в нефтяной пласт (месторождение Бредфорд, штат Пенсильвания) начинается новый период в истории разработки нефтяных месторождений, который продолжается и по сей день. Достаточно сказать, что в 1970 г. в СССР более 70% всей нефти было добыто с применением искусственной закачки воды в пласт.

Закачка воды в пласт может производиться уже с самого начала разработки для поддержания давления, в других случаях она может начинаться на более поздних стадиях (так называемая вторичная разработка). Закачка воды в пласты создает искусственный водонапорный режим, при котором так же как и при естественном водонапорном режиме, можно поддерживать добычу нефти на одном уровне долгое время и добывать наиболее полного извлечения нефти. В этом состоит основное достоинство искусственной закачки воды, или, как говорят искусственного заводнения нефтяной залежи.

Имеется ряд вариантов заводнения, из которых назо-

вем следующие: 1) законтурное; 2) внутриконтурное; 3) центральное; 4) разрезание залежи рядами нагнетательных скважин; 5) очаговое; 6) площадное. Схемы основных вариантов изображены на рис. 17.

Наиболее обычным вариантом заводнения нефтяных пластов первоначально было законтурное заводнение,

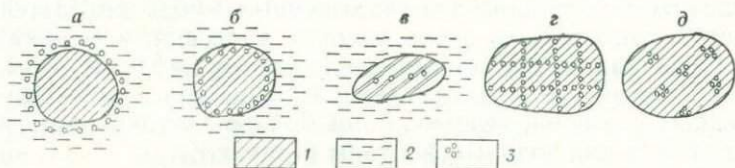


Рис. 17. Различные варианты заводнения нефтяных залежей

*a* — законтурное; *б* — внутриконтурное; *в* — центральное; *г* — разрезание залежи рядами нагнетательных скважин; *д* — очаговое; 1 — нефть; 2 — вода; 3 — водонагнетательные скважины

когда вода закачивается в водоносную часть пласта вблизи границ залежи. Но нередко на непосредственно примыкающих к залежи участках горные породы имеют малую проницаемость вследствие цементации пор, поэтому напор закачиваемой воды слабо передается на залежь. Как говорят, породы не принимают воду. Тогда прибегают к внутриконтурному варианту заводнения — закачивают воду уже в нефтеносную часть пласта иногда на периферии залежи, иногда в центральной части залежи или, наконец, и там и там.

Если залежь очень велика и воздействие только на ее периферию и центр недостаточно для быстрого извлечения нефти, используют метод разрезания залежи водонагнетательными рядами на части и затем каждый кусок эксплуатируют как самостоятельную залежь. Такой метод впервые применен на Ромашкинском месторождении в Татарии.

Наконец, очаговое или площадное заводнение целесообразно проводить уже на поздней стадии разработки, когда в залежи уже оказалось много воды, или же в истощенной залежи, работавшей на мало эффективном газовом режиме.

Громадные выгоды искусственного заводнения бесспорны и служат еще одним подтверждением решающей роли воды в судьбе нефти. Но и при заводнении неред-

ко приходится сталкиваться с трудными проблемами. Откуда взять воду для закачки? Ведь для заводнения очень больших нефтяных залежей (а там оно особенно необходимо) требуются огромные количества воды. Так, в целом по СССР в 1970 г. было закачано в нефтяные пласты около 670 млн. м<sup>3</sup> воды, а в 1974 г. — около 1 млрд. м<sup>3</sup>. Столько воды несут величайшие реки мира, такие как Конго, Ганг, Янцзы. Получение таких огромных масс воды связано с большими трудностями. В выгодных условиях находятся приморские и морские нефтяные промыслы. Например, в Баку используют морскую воду. В других местах используют воду рек. На востоке Татарии и западе Башкирии большую роль в заводнении пластов сыграла река Ик, приток Камы.

Но нередко прибегают и к помощи подземных вод, иногда просто потому, что других вод нет или мало, иногда же это вызывается требованиями к качеству воды. Дело в том, что некоторые речные воды несут много взвешенных частиц ила и их очень трудно закачать в породы, так как происходит заиливание пор этих пород.

С таким случаем пришлось столкнуться при разработке нефтяных месторождений в Западной Сибири, расположенных вдоль Оби. Казалось бы, близость гигантской реки (расход Оби — сотни кубических километров воды в год) решала проблему источника заводнения нефтяных залежей. Но выяснилось, что обская вода несет слишком много илистых частиц. Пришлось прибегнуть к изысканиям других водных ресурсов. Обратились к глубоко залегающим водоносным горизонтам в породах мелового возраста (альб-сеноманский горизонт). Преимущество залегающей там воды заключается в сходстве с водой нефтеносных пластов, находящихся еще глубже. Такое сходство имеет немаловажное значение, так как обуславливает химическую совместимость этих вод. При смешивании тех и других вод не происходит химических реакций, которые могут привести к выпадению осадков и цементации пор. Проведенная оценка ресурсов альб-сеноманских вод вселила большие надежды. Но впоследствии выяснилось, что для разработки приобских нефтяных залежей ресурсов альб-сеноманских вод не хватит, ведь запасы вод в том или ином пласте отнюдь не безграничны.

Обратили внимание на другой источник — так называемые подрусловые воды Оби. Дело в том, что очень часто под потоком в русле реки в речных наносах движется еще параллельный ему подземный поток — подрусловый. Конечно, скорость этого подруслового потока гораздо меньше скорости течения самой реки, а следовательно, и расход (т. е. объем воды, протекающей в единицу времени) соответственно меньше. Но у такой громадной реки, как Обь и подрусловый поток достаточно большой. При этом подрусловые воды фильтруются через грунт, очищаются от мути, содержат во много раз меньше взвеси, чем речные воды, и поэтому вполне пригодны для заводнения нефтяных пластов.

Сейчас проблема водоснабжения приобских нефтяных промыслов решается комплексно путем использования глубоко залегающих альб-сеноманских и подрусловых обских вод, а также озерных вод. Последние широко используются, например, на знаменитом Самотлоре, который и название свое получил от озера. Из сказанного видно, какое большое значение для добычи нефти имеет гидрогеология, тщательное изучение подземных вод.

Иногда ценным качеством воды становится ее высокая температура. Например, при эксплуатации нефтяного месторождения Узень на полуострове Мангышлак возникли трудности, обусловленные своеобразным составом нефти. Она содержит чрезвычайно много твердого вещества — парафина — и благодаря этому очень легко застывает, давая твердый осадок в трубопроводах, скважинах и даже в пласте. Добывать такую нефть очень сложно, особенно зимой, так как трубы, по которым она идет на земле и под землей, забиваются твердым веществом, и движение нефти по ним замедляется, а зачастую прекращается совсем — происходит закупорка.

Для заводнения нефтяных пластов месторождения Узень казалось бы проще всего взять морскую воду, так как до каспийского побережья там сравнительно недалеко — около 50 км (рек на Мангышлаке нет совсем). Но морская вода Каспия холодная, зимой температура ее ниже  $10^{\circ}\text{C}$ , а в нефтяных пластах температура примерно от  $60$  до  $100^{\circ}\text{C}$ . Закачка морской воды сильно охлаждает нефтяную залежь, что при указанных выше исключительных свойствах нефти совершенно недопусти-

мо. Поэтому было принято два решения: подогревать морскую воду и использовать горячую подземную воду. Горячую воду нашли в пластах, залегающих несколько выше и несколько ниже нефтяных пластов. Использование ее оказалось очень эффективным.

Если имеется только вода, содержащая много взвесей, и нет никаких возможностей получить другую, чистую воду, то иногда берут «грязную» воду и очищают ее. При больших объемах заводнения этот процесс требует много энергии и громоздкого оборудования. Однако вопрос об очистке становится со всей серьезностью, когда прибегают к рециркуляции воды, к утилизации сточных вод промыслов.

К рециркуляции вод при заводнении прибегают в целях экономии воды и предохранения водоемов от загрязнения, т. е. повторно и неоднократно используя одну и ту же воду (один и тот же объем воды), сохраняют водные ресурсы от истощения и от загрязнения нефтью. Рассмотрим те способы, при помощи которых сточные воды нефтяных промыслов, т. е. воды, полученные из скважин вместе с нефтью при ее добыче, очищают от примесей (пленок и капель нефти, взвешенных минеральных частиц) перед тем, как их закачивают вновь в пласты для заводнения нефтяной залежи.

Для очистки вод применяют различные способы: отстаивание, фильтрование, флотацию. Отстаивание — один из основных способов выделения из воды оседающих примесей (мути) и всплывающих примесей (нефти). Отстаивание происходит в особых резервуарах-отстойниках. Это осветлители, песколовки, пруды-отстойники и др. Для ускорения очистки употребляются вещества-коагулянты и другие реагенты.

Нефтеловушки — наиболее распространенный вид отстойников для выделения из воды основной массы нефти. Обычно нефтеловушки представляют собой прямоугольные резервуары, состоящие из нескольких параллельных секций, каждая шириной в несколько метров, глубина слоя воды до 2 м. Для улавливания всплывающей нефти в начале и в конце нефтеловушки установлены нефтесборные поворотные трубы. В нефтеловушке задерживаются наиболее крупные взвешенные частицы нефти, а вода, прошедшая нефтеловушку, часто поступает еще в пруд-отстойник шириной до 40 м, где

отстаивается в течение некоторого времени (до 2 сут). В прудах-отстойниках выделяются более мелкие взвешенные частицы нефти.

Очистка воды путем фильтрования заключается в том, что воду пропускают через пористый грунт (песок), где взвешенные частицы задерживаются, а очищенная вода проходит. Очистка же вод методом флотации происходит так: воду наполняют пузырьками воздуха (аэрируют), эти пузырьки увлекают взвешенные частицы нефти на поверхности и там образуется как бы пленка, легко снимающаяся.

В последнее время для очистки воды от нефти стали применять также озонирование, экстракцию, биологические и некоторые другие новейшие способы. При озонировании, например, воздух, содержащий много озона, распыляют в сточной воде, озон за 10—15 мин окисляет находящуюся в воде нефть, уменьшая ее количество в 10—20 раз. Очищенная сточная вода снова может служить помощником человека при добыче нефти.

До сих пор речь шла о положительной роли воды при добыче нефти, когда она выступает как друг, союзник или прямое орудие человека. Но есть и другая сторона. Подземный океан разрушает свои нефтяные острова в природной обстановке, но его агрессивные качества могут проявляться и тогда, когда идет разработка нефтяной залежи. Действие вод подземного океана становится в этом случае разрушительнее. Они часто прорываются на стдельных участках, в разных направлениях, заливая скважины, разрывая на куски нефтяную залежь, а после этого добывать нефть становится уже гораздо труднее. Добывая нефть, надо укрощать подземные воды, неустанно следить, чтобы они не вышли из-под контроля, чтобы из помощника они не превратились во врага. Важно помнить, что даже искусственно закачиваемые воды нередко выходят из повиновения и начинают вести себя так же, как «дикие» подземные воды, а иногда действуют и сообща (в смеси) с ними.

Как происходит вторжение воды в нефтяную залежь? Если оно идет равномерно, сплошным фронтом, то такое стягивание контура нефтяной залежи — нормальный процесс, так и должна происходить разработка нефтяной залежи при водонапорном и водоупругом режимах. Но бывают и другие случаи — образуются язы-

ки обводнения в плане и конусы обводнения в разрезе (рис. 18). Такой характер вторжения вод в залежь может вести к преждевременному отключению скважин, они перестают давать нефть и начинают давать воду. Может происходить и разрыв единой до тех пор нефтяной залежи на отдельные изолированные части или, как

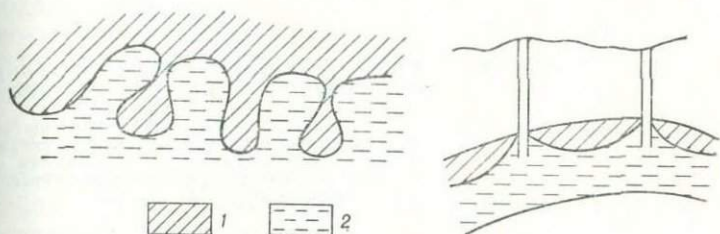


Рис. 18. Языки и конусы обводнения нефтяной залежи  
1 — нефть; 2 — вода

их называют, целики нефти. Чтобы предотвратить эти нежелательные события, принимают разные меры. Ведут наблюдения за продвижением вод по пласту. Затем в соответствии с выводами из этих наблюдений отключают (закрывают) отдельные скважины или группы, сокращают или прекращают закачку воды и др.

Для прослеживания движения вод по нефтяному пласту применяют различные методы: индикаторный, гидрохимический, геофизические. Индикаторный метод заключается в том, что в определенные водонагнетательные скважины или в неработающие скважины в водоносной части пласта (такие скважины называют загрузочными) в воду добавляют радиоактивные вещества, например тритий  $H^3$ , а затем в других скважинах — наблюдательных следят за появлением этих веществ-индикаторов. Зная время прохождения воды с индикаторами от загрузочных скважин до наблюдательных и расстояние между ними, определяют скорость движения воды в разных направлениях. В том направлении, где скорость наибольшая, следует ожидать образования языка обводнения (рис. 19).

Гидрохимический метод основан на наблюдении за изменением химического состава вод в разных скважинах, которое особенно значительно при смешивании

пластовых вод с искусственно закачанными. По характеру этих химических изменений, зависящих от смешивания разных вод, можно судить о направлениях движения закачанных в пласт вод.

Борьба с преждевременным обводнением нефтяных залежей — сложное дело. При этом уменьшают добычу

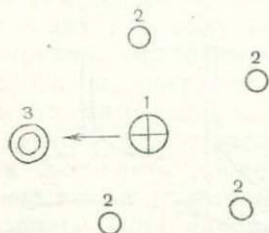


Рис. 19. Схема определения направления и скорости движения воды при помощи индикаторов

1 — нагрузочная скважина; 2 — наблюдательные скважины; 3 — наблюдательная скважина, в которой ранее других наблюдается появление индикаторов; направление движения воды показано стрелкой

нефти из скважин, в сторону которых намечаются языки обводнения, сокращают или прекращают закачку воды в те нагнетательные скважины, которые становятся началом языков. В результате в обоих случаях движение воды в нежелательных, опасных направлениях замедляется или совсем приостанавливается (рис. 20).

Обводнение нефтяных залежей может идти не только за счет вод того пласта, где залегает нефть, но и за счет вод верхних, т. е. вышезалегающих, и нижних, т. е. нижезалегающих, пластов. Это происходит чаще всего из-за аварий, поломки труб или негерметичного цементирования затрубного пространства в скважинах там, где эти скважины пересекают верхние водоносные пласты (или между этими верхними и нефтяными пластами). Через такие места слома и неплотные участки цемента верхние воды могут устремляться вниз по скважине и заливать нефтяную залежь (рис. 21). Такая скважина не только сама выходит из строя, но и становится, как говорят, обводнительницей всей залежи или ее части. Последнее очень опасно для дальнейшей разработки и поэтому, чтобы организовать капитальный ремонт скважины, важно определить, где именно, из какого пласта проникает верхняя вода в скважину. Для этого применяют гидрохимический и геофизический методы.

Нельзя сказать, что, если добываемая из скважины нефть содержит какое-то количество воды, добычу из такой скважины следует прекращать. Иными словами,

можно добывать не только безводную нефть. На практике добывают нефть с большим содержанием воды. Более того, случается, что добывают даже не нефть с водой, а воду с нефтью, даже воду с небольшим количеством нефти. Например, в Грозном уже давно получали из скважин жидкость, на 99% состоящую из воды и содержащую только 1% нефти. Затем главная роль отводится организации процесса обезвоживания нефти, а во многих случаях подобных описанному процессу сепарации нефти и воды. Для этого существует специальная техника и технология.

Таковы сложные переплетения судеб нефти и воды при добыче нефти. Выше было сказано отнюдь не обо всех сторонах этого переплетения. Иногда (к сожалению, далеко еще не всегда!) добываемую попутно с нефтью воду используют не только для заводнения залежей. Некоторые воды идут на лечебные нужды, так как все (именно все, без исключения!) воды из нефтеносных пластов обладают целебными свойствами. Из них добывают особо ценные вещества, например йод, бром. Нередки случаи, когда после истощения нефтяных залежей и полного обводнения их пластовыми водами на месте нефтяного промысла возникает, как говорят, водный промысел, где добывается вода с большим содержанием иода, брома или другого ценного элемента. Так было в ряде нефтяных районов

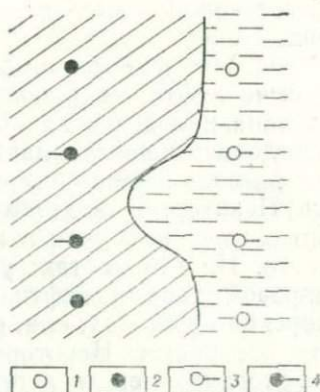


Рис. 20. Схема регулирования движения воды по пласту

1 — нагнетательные скважины; 2 — эксплуатационные скважины; 3 — нагнетательные скважины, в которых следует уменьшить или прекратить закачку воды; 4 — эксплуатационные скважины, в которых следует уменьшить или прекратить отбор нефти

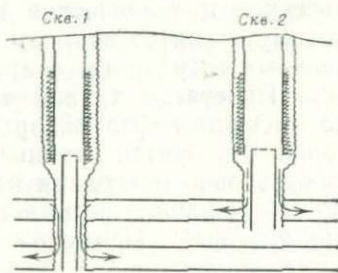


Рис. 21. Обводнение скважины верхними водами

Советского Союза — в Азербайджане, Туркмении и других.

Особенно много приходится иметь дело с водой при добыче нефти, залегающей под дном морей, озер, рек, где она находится как бы в двойном плену у воды — в водонасыщенных пластах горных пород и под волнами расположенного сверху водоема — моря, озера, реки. Некоторые читатели может быть считают, что все это — редкие случаи в практике нефтяной промышленности. Но это не так: уже около одной четверти всей мировой добычи нефти в последние годы ведется на морских площадях, или, как говорят, акваториях, и доля эта все растет. Некоторая часть нефти добывается на акваториях озер и лагун (лагуна-озеро Маракаибо в Венесуэле).

Районы морской нефтедобычи раскинуты повсюду на планете. Запасы нефти только на акваториях шельфов, т. е. там, где глубина моря не больше 200 м, по предварительной оценке составляют очень большую долю общих мировых запасов. Во всем этом нет ничего удивительного, если вспомнить, что, во-первых, две трети поверхности земного шара покрыто морем, а во-вторых, что нефть — продукт моря, а там, где сейчас море, по большей части оно было и раньше, особенно в сравнительно недавнем геологическом прошлом.

Больше всего нефти из морских нефтепромыслов сейчас дают промыслы в Персидском заливе (Иран, Кувейт, Саудовская Аравия, в сумме около 40% всей мировой морской нефти), в Оманском заливе (Абу-Даби) и в Мексиканском заливе. Возможность добычи нефти из-под дна морей создает большие политические, юридические и технические трудности. Так, несколько по-новому ставятся вопросы о границах и юрисдикции отдельных государств, о правовом статусе морей и океанов. Интересно также, что некоторые страны, совсем не имевшие нефтяной промышленности на своей территории, становятся крупными производителями нефти исключительно благодаря морским месторождениям, к тому же лежащим весьма далеко от берега (но в пределах шельфа!). Примером может служить Норвегия, где площадь Экофиск с запасами около 300 млн. т и добычей в 1974 г. до 2 млн. т нефти находится в Северном море в 100 км от берега. Благодаря морским пло-

щадям Норвегия, бывшая импортером нефти, скоро превратится в крупнейшего в Западной Европе производителя и экспортера этого полезного ископаемого.

Морская вода при нефтедобыче на море служит препятствием для человека. К обычной отрицательной роли подземных вод здесь прибавляется такая же роль морской воды. Враждебность водной стихии, однако, более или менее успешно преодолевается человеком. Последнее время в связи с этим бурно развивается новая отрасль техники — океанотехника.

Если глубины моря совсем небольшие (до 20—40 м), то бурение и эксплуатация нефтяных скважин ведутся со свайных сооружений — искусственных островов, эстакад и др. Такая техника используется, например, у нас на Каспии, в Венесуэле (на озере Маракаибо), в Персидском заливе, вблизи побережья США. На Каспийском море, примерно в 100 км от Баку, впервые в мире создан целый городок на сваях — Нефтяные Камни, где имеются и почти все жизненные удобства (рис. 22).

Если глубина моря большая, то скважины бурят и эксплуатируют с плавучих сооружений — судов особого типа. Такие средства используются, например, американцами в Мексиканском заливе, норвежцами в Северном море. Началось их применение и в СССР (рис. 23).

Успех эксплуатации нефтяных ресурсов Мирового океана зависит от уровня практического освоения его глубин. Нефтяная промышленность дала наиболее мощный импульс глубоководным погружениям, с ней связано около 80% таких погружений (в невоенных целях).

Развитие океанотехники для нефтяной промышленности идет в двух направлениях: индивидуальное автономное подводное снаряжение и специальные самоходные обитаемые средства. Интересны водолазные спуско-подъемные устройства, подводные надувные дома и др.

Французские акванавты 22 сут находились в подводном надувном доме «Преко́нтинент» на глубине 100 м, выходили из него, погружались до 120 м и смонтировали устьевое оборудование нефтяных скважин на дне. Подводная лаборатория «Гельголанд» (ФРГ) обеспечивает работу четырех человек в течение двух недель



Рис. 22. Морской промысел Нефтяные Камни в Каспийском море

(кислород, электроэнергия, продовольствие). Есть и другие подобные лаборатории.

Для выполнения под водой механических операций разработаны манипуляторные системы с дистанционным управлением. В некоторых таких системах предусмотрены устройства для вращения штурвалов задвижек, позволяющие закрывать задвижки на устье подводных нефтяных скважин.

Интересны специальные подводные лодки для нефтепромыслов. Наиболее универсальной подводной лодкой для выполнения работ, связанных с добычей нефти в морских пучинах, была до сих пор лодка (подводный аппарат) «Бивер», построенная в США в 1968 г. (рис. 24). Она оснащена манипуляторами типа механической руки для выполнения различных рабочих операций и, кроме того, позволяет выпускать водолазов на глубинах до 300 м и транспортировать грузы на глубины до 600 м.

Во Франции создана подводная лодка «Аржиронет», рассчитанная на четырех водолазов с глубиной погру-

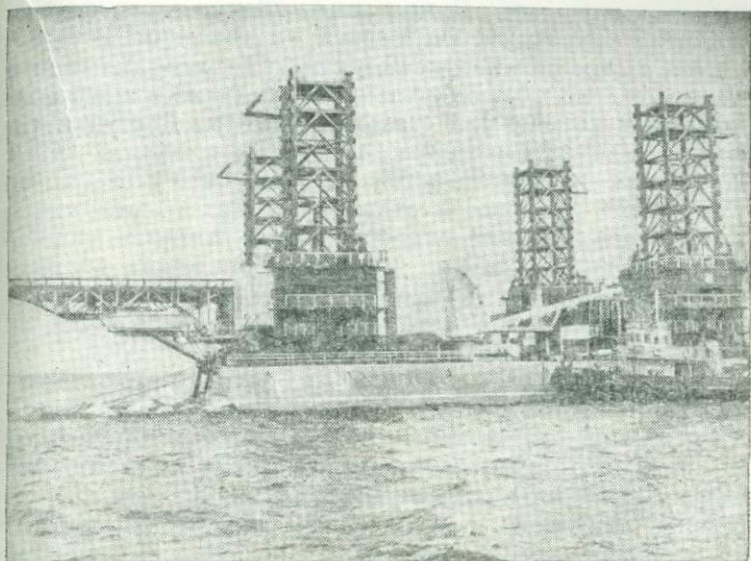


Рис. 23. Плавучая буровая установка

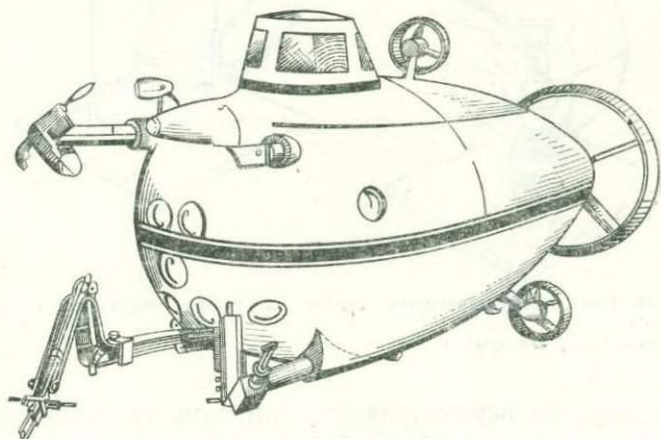


Рис. 24. Подводная лодка «Бивер» для работ на подводных нефтепромыслах

жения до 600 м, дальностью действия 750 км и автономным обеспечением до 3 сут. Одно из назначений «Аржиронет» — промышленная разработка нефти на конти-

ментальном шельфе. Длина лодки 28 м, водоизмещение около 500 т, экипаж 10 человек.

Устья скважин на дне моря могут быть закрытые и открытые (рис. 25). Закрытые устья скважин и все оборудование включены в стальные камеры. Доступ к та-

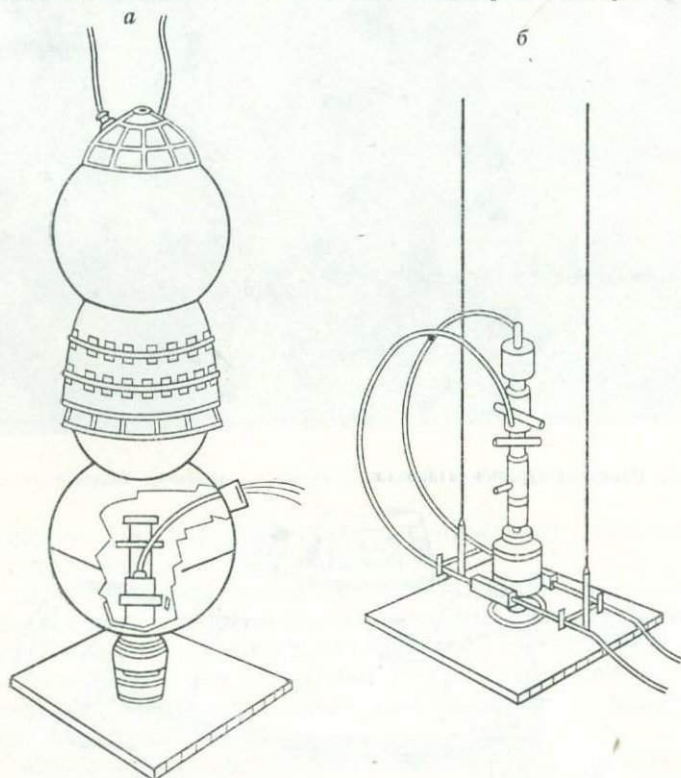


Рис. 25. Типы эксплуатационных систем на устьях подводных нефтяных скважин

*a* — закрытая, *б* — открытая

ким камерам осуществляется при помощи водолазного колокола или подводной лодки, стыкующихся с ними. Открытая система может располагаться на башне, верх которой доступен для водолазов (менее 60 м от поверхности воды).

Французами создана система подводной эксплуатации нефтяных скважин АПД, состоящая из капсулы с

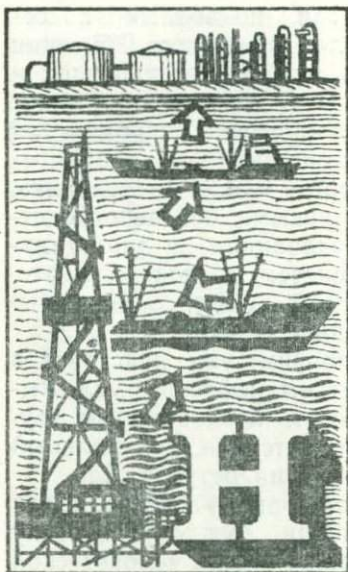
атмосферным давлением внутри подводных лодок. Капсулу опускают на дно после окончания бурения скважины, устьевая арматура опускается с капсулой и соединяется со скважиной.

Другие подобные системы, например американская ДПМ, основаны на использовании сменных стандартных блоков оборудования, которые можно отсоединять, поднимать со дна и замещать новыми без непосредственного контакта людей с оборудованием на дне. Дальнейшим развитием описанных систем подводной нефтедобычи можно считать подводный комплекс по добыче нефти, разработанный компанией Локхид.

Подобная система, между прочим, уже действует в Персидском заливе, где на морском нефтепромысле Ум-Шаиф из подводных скважин нефть по подводным трубопроводам длиной до 35 км подается на Центральный нефтесборный пункт, находящийся на острове Дас.

Как мы видим, развитие подводной добычи нефти требует преодоления сопротивления чуждой человеку водной стихии, развивается новая отрасль человеческой деятельности — океанотехника.

## НЕФТЬ НЕ РАССТАЕТСЯ С ВОДОЙ И ПОСЛЕ ДОБЫЧИ



о и после извлечения из недр Земли, где нефть находилась в водной среде, она часто не сразу расстается с водой. Дело в том, что места добычи нефти обычно не совпадают с местами ее переработки и потребления, большую роль в мировом хозяйстве играет транспорт нефти, а важнейший вид транспорта нефти — водный.

Основная часть нефти в современном мире перевозится на огромные расстояния, до десятков тысяч километров. Большинство главных мировых центров нефтедобычи находятся очень далеко от главнейших центров потребления нефти и нефтепродуктов. Отсюда ясна колоссальная роль транспорта нефти.

Главные виды транспорта нефти — водный (танкерный), трубопроводный, железнодорожный. Перевозка нефти по воде является наиболее дешевым видом транспорта. Кроме того, разобщенность многих важнейших мировых центров добычи и потребления нефти морями и океанами делает ведущую роль морского нефтяного транспорта неизбежной. В настоящее время танкерами перевозится ежегодно около 1,5 млрд. т нефти, т. е. около 60% всего перевозимого количества нефти (на долю трубопроводов приходится около 30%, на долю железных дорог около 5%). Общий тоннаж тан-

кernого флота в 1972 г. составлял около 250 млн. брутто-тонн.

Крупнейшие центры добычи и экспорта нефти сейчас находятся в странах бассейна Персидского залива (Иран, Ирак, Кувейт, Саудовская Аравия, Катар) и соседнего Оманского залива (Абу-Даби, Оман, Дибай). В 1973 г. в этих странах добыто более 1 млрд. т нефти, т. е. немного менее половины всей мировой добычи нефти. Подавляющая часть добываемой там нефти вывозится в сыром виде или в виде нефтепродуктов. Весь вывоз (за исключением частично Ирака) идет в танкерах, которые направляются преимущественно в западную Европу и Японию. Другой крупный центр экспорта нефти находится в Сахаре (Ливия, Алжир), откуда поток нефти в танкерах движется через Средиземное море частично к портам средиземноморского побережья Европы (Италия, Франция), частично же дальше по Атлантическому океану к портам Западной Европы (Англия, Нидерланды, ФРГ и другие страны). Направления этих и других важнейших танкерных перевозок нефти и нефтепродуктов показаны на рис. 26.

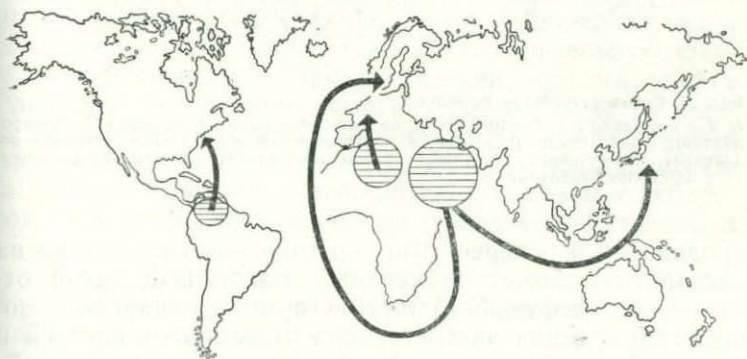


Рис. 26. Главнейшие направления современных танкерных перевозок нефти

В СССР когда-то основное значение имели танкерные перевозки бакинской нефти по Каспийскому морю до Астрахани и далее вверх по Волге. Теперь танкеры начали играть важную роль в экспорте нефти главным образом через Новороссийск, к которому подвели неф-

тепловод из основных добывающих центров Поволжья и Сибири, и другие черноморские порты.

Итак, в танкерах нефть совершает свое путешествие по воде после извлечения из земных недр. Что же представляют собой танкеры?

На рис. 27 показано устройство современного танкера. Средняя, наибольшая по размерам часть танкера

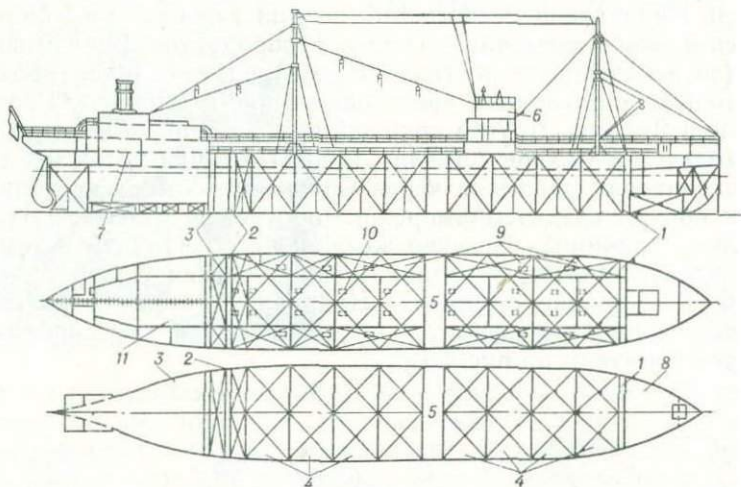


Рис. 27. Схема устройства танкера

1, 2 — коффердамы; 3 — топливная емкость; 4 — танки для нефти (нефтепродуктов); 5 — насосное отделение; 6 — штурманский мостик; 7 — котельное отделение; 8 — сухогрузный трюм; 9 — летние танки; 10 — грузовые люки; 11 — машинное отделение

продольной и поперечными перегородками разделена на несколько отсеков, называемых танками. Каждый отсек — это нефтяной бак. Для противопожарной безопасности средняя часть танкера отделена от носовой и кормовой частей непроницаемыми перегородками, которые образуют полость, называемую коффердамом. Эти коффердамы заполняют водой, благодаря чему перевозимая в средней части танкера нефть отделена от других частей судна как бы водяными стенками.

Машинное отделение находится в кормовой части танкера. Там помещаются двигатели, а также котельные устройства для отопления. На некоторых танкерах

имеются также устройства для подогрева вязких и легко застывающих нефтей и нефтепродуктов. Носовая часть танкеров иногда используется для перевозки нефти в отдельной таре — баллонах, бочках, а также для перевозки других грузов. Крупные танкеры имеют большую длину (сотни метров), поэтому штурманский мостик располагается в передней части судна. Это улучшает условия для руководства движением танкера. Для сообщения носовой и кормовой частей танкера имеется переходный мостик, поскольку главная палуба не имеет бортов и нередко заливается волнами.

При дальних перевозках разница температур воды и воздуха в пути может быть значительной,  $20^{\circ}\text{C}$  и даже больше. Если нефть занимает какую-то емкость (в данном случае танк) полностью, то такое изменение температуры может оказаться достаточным, чтобы в результате расширения нефти эту емкость разорвало. В то же время если танк заполнен лишь частично, то нефть в нем будет болтаться, особенно при качке, могут произойти гидравлические удары нефти о стенки танка, что тоже может привести к его разрушению. Поэтому вдоль танкера в виде вертикальной щели сделана так называемая расширительная шахта, сообщающаяся с каждым из расположенных ниже танков. При наливе танки заполняются нефтью полностью, а расширительную шахту только частично. При увеличении объема нефти вследствие повышения температуры избыток ее идет на пополнение шахты, а при уменьшении температуры в ней уровень нефти понижается. Вследствие относительно небольшого объема расширительной шахты и небольшой ее ширины гидравлические удары незначительны и не опасны.

Танкеры чаще всего бывают приспособлены для перевозки только нефти или какого-нибудь определенного вида нефтепродуктов (бывает, что в танкерах везут воду и даже вино!). Некоторые же танкеры устроены так, что в отдельных отсеках можно перевозить разные жидкости — нефть, нефтепродукты. Различия в устройстве танкера связаны с системами их налива и слива. В тех случаях, когда в отдельных танках перевозят разные продукты, для каждого из них необходимы отдельные наливные и сливные устройства.

Каждый танк заполняется или опорожняется через

трубопровод, имеющий выходную трубу на дне танка. Заполнение и слив производят с помощью насосов. Нефть перекачивают с танкера на берег и обратно в портах в определенных местах, куда подведены трубопроводы от находящихся на берегу резервуаров. Через гибкие шланги эти береговые трубопроводы сообщаются с трубопроводной системой танкера.

В тех случаях, когда танкер перевозит какой-либо один вид продукта, применяется трубопроводная или перепускная система погрузки и разгрузки. При трубопроводной системе все танки опоясываются трубопроводами, сообщаемыми с насосами танкера и далее с береговым трубопроводом. При перепускной системе насосы танкера соединены трубопроводами только со смежными с ними танками. Все танки сообщаются между собой через отверстия в нижней части вблизи днища. Эти отверстия могут быть открыты или закрыты с помощью приспособлений, называемых клинкетами. Чтобы заполнить танкер нефтью, ее подают насосами в соседние танки, а отсюда она растекается по остальным танкам.

На крупных танкерах установлены мощные насосы, чтобы наполнение и слив нефти шли достаточно быстро. Для перекачки маловязких продуктов (легкой нефти, бензина, керосина) применяются центробежные насосы, в других случаях — поршневые и ротационные.

Когда начали перевозить нефть морским путем, строили танкеры менее чем на 5—10 тыс. т. По мере развития нефтяной промышленности и судостроения увеличивался и тоннаж танкеров. В 1951 г. танкеры грузоподъемностью больше 25 тыс. т составляли только 7% общего мирового тоннажа, в 1956 г. — уже 22%, в 1961 г. — 50%, в 1970 г. — они уже составляли большую часть танкеров. В 1961 г. 80% заказов было уже на суда водоизмещением более 45 тыс. т и более 20% заказов — на суда водоизмещением более 75 тыс. т, т. е. супертанкеры. Средний тоннаж танкеров с 1940 г. по 1968 г. возрос от 12 до 65 тыс. т, а в 1971 г. средняя грузоподъемность танкеров превышала 50 тыс. т.

В последнее время ведущую роль в морских перевозках нефти стали играть супертанкеры. В 1970 г. 23% танкерного флота составляли суда водоизмещением более 100 тыс. т и 11% — суда водоизмещением более 200 тыс. т. В 1970—1973 гг. водоизмещение свыше

80% строящегося танкерного флота было более 200 тыс. т.

Перевозка нефти на супертанкерах обходится намного дешевле, чем на обычных танкерах. Так, в 1973 г. перевозка 1 т нефти из Персидского залива в Западную Европу на супертанкере водоизмещением 300 тыс. т была почти в 4 раза дешевле, чем на танкере водоизмещением 25 тыс. т.

В 1970 г. был построен супертанкер водоизмещением 326 тыс. т, а в 1973 г. на японских верфях был построен для английской судовладельческой фирмы «Глобтик танкер» танкер «Глобтик Токе» водоизмещением 477 тыс. т. В постройке в 1974 г. находились танкеры водоизмещением свыше 500 тыс. т. Один из самых больших в мире танкеров водоизмещением 542 тыс. т заложен на верфи Сен-Назера во Франции. Судно длиной 415 м и шириной 63 м было заказано компанией «Шелл». Первенство в постройке гигантов нефтеналивного флота до последнего времени занимала Япония.

Однако следует отметить, что в 1974 г. в связи с повсеместным падением экономической конъюнктуры, ростом цен на нефть и сокращением ее потребления в ряде стран капиталистического мира, в том числе в Японии, начался застой на морских нефтяных линиях. Еще совсем недавно гигантские красавцы супертанкеры водоизмещением свыше 200 тыс. т служили некими символами пресловутого экономического чуда Японии. Но в 1975 г. многие из этих морских гигантов понуро замерли на рейдах в тщетном ожидании клиентов. Около 25 японских супертанкеров водоизмещением свыше 200 тыс. т бездействовали в водах Персидского залива и еще около 15 — в портах Японии. Общий же тоннаж бездействующих судов мирового танкерного флота составил в марте 1975 г. 17 млн. т. А между тем со стапелей японских судостроительных верфей спускались на воду все новые суда-гиганты, ведь контракты на их строительство были заключены еще несколько лет назад в расчете на то, что экономический бум будет продолжаться и впредь. Сейчас у заказчиков нет и пока не предвидится никакой потребности в тех огромных танкерах, которые спускаются на воду или находятся еще на стапелях.

Так, летом 1975 г. в городе Куре был сдан заказчи-

ку построенный здесь самый крупный в мире супертанкер «Ниссэй-Мару» (длина 379 м, ширина 62 м). Покинув пределы верфи, он был тут же поставлен на прикол у берега на неопределенное время. Правление компании, чтобы спасти честь нового чемпиона, запланировало символическое плавание в Персидский залив на замедленной скорости.

Сходное положение создалось и в Западной Европе. Так, почти такой же гигант (370×64 м), на строительство которого в ФРГ было затрачено 175 млн. марок, в том же 1975 г. сошел со стапелей бременской судовой верфи и даже не получил никакого названия.

При постройке супертанкеров применяются различные технические новинки, например, шарнирный способ соединения частей бортов, широкая комплексная автоматизация процессов, судовождения и погрузочно-разгрузочных операций и др. Однако развитие «суперизации» танкерного флота создает новые проблемы: ввиду большой осадки и размеров супертанкеры не могут проходить ко многим портам и через многие каналы, например Суэцкий.

Первый советский супертанкер «Крым» построен в 1974 г. Его водоизмещение 182 тыс. т, длина 296 м, ширина 45 м, высота с 14-этажный дом. В 12 танках «Крыма» помещается 150 тыс. т нефти, разгрузить которую можно за 10 ч. Этому способствует счетно-решающее устройство, управляющее погрузочно-разгрузочными операциями судна.

Танкер «Крым» — крупнейшее судно, построенное в нашей стране, мощность главной турбины 30 тыс. л. с. Каждый «лепесток» гребного винта весит 6 т, руль — 10 т, якорь — 18 т. На капитанском мостике всеми процессами судовождения управляет автоматика, счетно-решающее устройство моментально ответит на любой интересующий вахту вопрос. За работой машинного отделения в течение всей вахты следит всего один человек. Весь экипаж «Крыма» — 36 человек, т. е. почти вдвое меньше, чем на его предшественниках — танкерах типа «София», грузоподъемность которых меньше в 2,5 раза.

В целях повышения взрывобезопасности на корабле работают надежные системы с применением осушенных инертных газов. В основном используются очищенные и

охлажденные газы котла. Кстати о котле: для его транспортировки с ленинградского Балтийского завода к месту строительства танкера на Черном море потребовалось специальное судно. На корабле для всех членов экипажа имеются одноместные каюты, есть спортивная и волейбольная площадки, плавательный бассейн, кинозал, библиотека, уютные кают-компании. В 1975 г. супертанкер «Крым», зафрахтованный на несколько лет французами, уже ходил по большой танкерной дороге вокруг Африки.

Летом 1975 г. на керченской судовой верфи спущен на воду «близнец» «Крыма» — танкер «Кубань». После испытания мореходных качеств гигант был приписан к Новороссийскому порту.

В последние годы намечаются новые возможности танкерных перевозок нефти по арктическим морям. Это связано прежде всего с открытиями крупнейших нефтяных месторождений на севере Аляски и в Канадском секторе Арктики. Вывоз нефти из этих новых морских и приморских месторождений был бы выгоднее всего по арктическим морям в сторону Атлантического океана к Европе и в сторону Тихого океана к западному побережью США. Морья эти, однако, почти всегда скованы льдами. Намечаются два пути технического решения проблемы — подводные танкеры и танкеры-ледоколы.

Еще в 1965 г. в Канаде обсуждалось обоснование строительства крупных (до 50 тыс. т грузоподъемности) подводных танкеров и их эксплуатации подо льдом арктических морей. При этом отмечалось отсутствие серьезных технических трудностей для создания подобных судов и большие их преимущества перед надводными по скорости и, конечно, по проходимости в полярных условиях.

Вопросы использования подводных танкеров в Арктике обсуждались на конференции в Монреале в 1969 г. Там рассматривался вариант применения подводных танкеров с атомным двигателем, которые могли бы буксировать под водой крупные прорезиненные емкости с нефтью.

Другое направление развития арктического танкерного флота — ледокольное. Заманчивые перспективы сулит применение приспособления типа плуга «Алексабау» для вспарывания ледового покрова, которое было

запатентовано в 1965 г. канадским инженером С. Александером. По мнению некоторых специалистов, наблюдавших испытания «Алексбау» в 1968 г., внедрение этого устройства может в корне изменить характер судоходства в высоких широтах и открыть возможности для пересечения Северного полюса мощными танкерами, которые везут в Европу добытую в Арктике нефть. Специалисты компании «Экссон» изучали возможности проводки ледоколов-супертанкеров на 250 тыс. т по маршруту Прудхо-Бэй (север Аляски) — Северный полюс — Роттердам.

На идее применения сверхкрупных судов-ледоколов в водах Арктики основано широко разрекламированное плавание американского супертанкера «Манхэттен» грузоподъемностью 115 тыс. т через северо-западный проход к Прудхо-Бэй. «Манхэттен» — самое крупное торговое судно, плававшее под флагом США. Зимой 1968—1969 гг. оно было переоборудовано в ледокол: корпус судна сильно укреплен, а на носу поставлено ледокольное приспособление нового типа, разработанное Массачусетским технологическим институтом, которое улучшает ледокольные свойства корабля на 40—70% по сравнению с обычным ледоколом. По водоизмещению (143 тыс. т) и мощности энергетической установки (43 тыс. л. с.) это был тогда крупнейший в мире ледокол.

Летом 1969 г. «Манхэттен» за 40 дней прошел путь от Филадельфии до Прудхо-Бэй. Расходы на рейс, включая переоборудование, составили 40 млн. долларов и были оплачены компанией «Хамбл Ойл». По словам президента этой компании, если иметь шесть ледоколов-супертанкеров по 250 тыс. т, то перевозка нефти из Прудхо-Бэй через Северо-Западный проход в Арктическом архипелаге Америки к восточному побережью США будет на 4 долл./т дешевле, чем транспортировка по трубопроводу. Переход «Манхэттена» доказал практическую применимость ледоколов-супертанкеров в арктических морях.

Для налива и слива танкеров применяются специальные устройства: нефтегавани, искусственные нефтегавани, береговые насосные станции, плавучие насосные станции, подводные трубопроводы и др.

Нефтегавани обычно устраивают в морских заливах.

Искусственные нефтегавани\* строят, сооружая один или два мола и проводя необходимое углубление морского дна. Во время налива и слива танкер стоит либо у берегового причала (если позволяет глубина моря и осадка танкера), либо на том или ином расстоянии от берега. В случае подхода танкера к береговому причалу находящиеся на берегу резервуары соединяются трубопроводами с причалом, откуда нефть уже по гибким шлангам и шарнирным трубам подается на танкер.

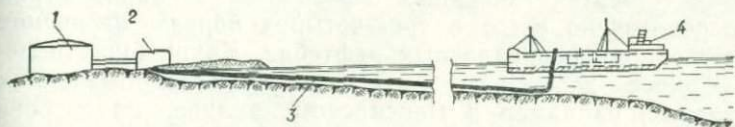


Рис. 28. Налив и слив танкеров

1 — береговая емкость; 2 — наливная насосная, 3 — подводный нефтепровод; 4 — танкер

Если танкер вследствие глубокой осадки не может подойти к причалу, то налив и слив нефти производится с помощью плавучей насосной станции, соединенной трубопроводами с причалом, или путем перекачки на мелкосидящие суда. Иногда сооружение причалов вообще нецелесообразно и налив и слив танкеров производят с помощью подводных трубопроводов (рис. 28). Танкер останавливается на некотором расстоянии от берега у конца подводного трубопровода, который идет от береговой насосной установки по морскому дну. Длина такого трубопровода может достигать до нескольких километров. На конце его имеется шланг, прикрепленный к плавучему бую. Танкер крепят к причальным буйам, а конец шланга поднимают на танкер и соединяют с системой находящихся на нем трубопроводов.

В последние годы с появлением супертанкеров во всем мире идет строительство новых и переоборудование действующих причалов, проводятся работы по углублению морского дна и увеличению пропускной способности сливо-наливного оборудования. Большое значение приобретают особые перевалочные нефтебазы, где разгружают супертанкеры и наливают более мелкие танкеры, развозящие затем нефть по другим портам данной страны. Так, в Японии построена крупнейшая в мире перевалочная нефтебаза в заливе Кагосима.

Мощность резервуарного парка этой нефтебазы около 9 млн. т. У причалов нефтебазы могут разгружаться супертанкеры грузоподъемностью до 500 тыс. т. Работа всего разгрузочного комплекса автоматизирована. При строительстве учтены сейсмичность района и возможность тайфунов.

Подобные же нефтегазавани сооружены в Англии (Милфорд на южном берегу Уэльса), во Франции (Фос близ Марселя, Гавр), в ФРГ и других странах. Около трех четвертей танкерных перевозок названных стран сосредоточено всего в трех-четыре портах, играющих также роль перевалочных нефтебаз. Крупнейшие перевалочные нефтебазы имеются и в нефтедобывающих странах, например в Персидском заливе на острове Харг, где принимаются супертанкеры грузоподъемностью до 500 тыс. т. В некоторых из таких портов причалы находятся на значительном расстоянии от берега (буйковые).

Помимо морских перевозок нефти широко используются и речные перевозки, по судоходным рекам можно доставлять нефть во многие районы, куда другими путями такая перевозка затруднительна или невыгодна.

С конца прошлого столетия нефть, добываемую в Баку, перевозили через Каспий до Астрахани, а оттуда вверх по Волге и ее притокам. Долгое время Волга была главной нефтяной артерией нашей страны, а тоннаж каспийского танкерного флота превосходил тоннаж всего остального морского торгового флота СССР. Значение Волги как транспортной артерии еще более возросло с начала разработки нефтяных месторождений в Жигулях, в районе Саратова, в Татарии, Заволжье, а также на берегах Камы. Если раньше нефть перевозилась только вверх по Волге и Каме (кавказская нефть), то теперь она пошла в разных направлениях. В последнее время по мере усложнения географии нефти в нашей стране и строительства магистральных нефтепроводов роль Волги и ее притоков относительно уменьшается, но продолжает оставаться еще значительной.

Много нефти перевозят по рекам Сибири. Этому способствовало то обстоятельство, что первые нефтяные промыслы Сибири (Усть-Балык, Мегион и др.) возникли на берегах Оби, в ее среднем течении. Из-за отсутствия железных дорог первые годы вывоз нефти

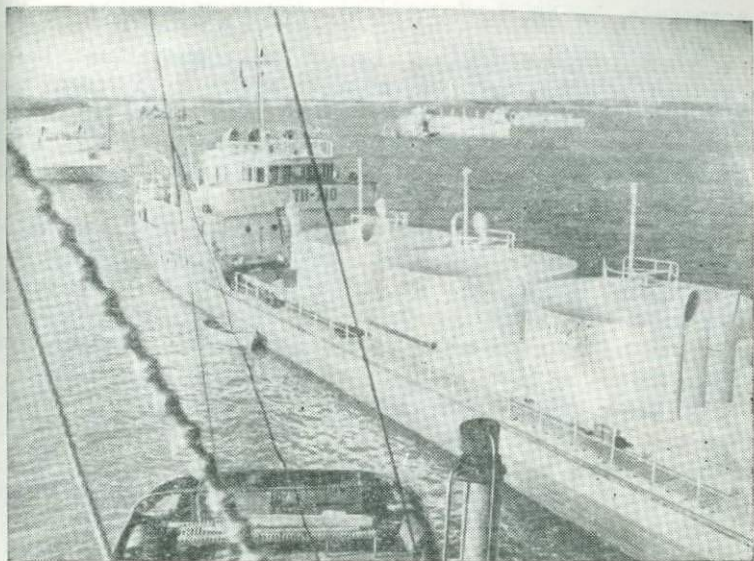


Рис. 29. Речной танкер на Оби

был возможен только по рекам — Оби, Иртышу, Тоболу, Томи. Вследствие недостатка емкостей для нефтехранилищ вначале сама эксплуатация нефтяных скважин зависела от работы речного флота и с закрытием навигации зимой останавливалась. В связи с постройкой нефтепроводов Усть-Балык—Омск, Александровское—Анжеро—Судженск значение речного транспорта для нефтяной промышленности в Западной Сибири уменьшилось, но и сейчас реки Обского бассейна играют роль важных нефтяных артерий.

В отличие от морских танкеров речные самоходные или несамоходные нефтеналивные суда — лихтеры имеют сравнительно небольшие размеры (рис. 29). Грузоподъемность речных судов обычно составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч тонн, что зависит от судоходности рек и каналов. Там, где глубина и фарватер реки не позволяют проходить более крупным судам, используют небольшие нефтеналивные суда грузоподъемностью 100—200 т. На больших реках можно

встретить танкеры и лихтеры грузоподъемностью до 10—12 тыс. т.

Быстроходные речные танкеры скоростью до 18—20 км/ч удобны на узких водных путях с крутыми поворотами и с большой плотностью движения. Крупные баржи, движущиеся при помощи буксирования или толкания со скоростью всего 10—12 км/ч, могут зато иметь общую грузоподъемность до 30 тыс. т.

Другим видом транспорта нефти является трубопроводный. Подавляющая часть нефтепроводов в настоящее время проложена на суше, но есть и подводные нефтепроводы. Нефть, идущая по подводному трубопроводу, не расстается с водой: ее отделяет от толщи воды лишь тонкая металлическая стенка.

В 1973 г. общая протяженность подводных нефтепроводов в мире уже превышала 20 тыс. км. Однако большинство их имело внутрипромысловый характер (на морских нефтепромыслах) или внутрипортовый характер (в пределах нефтяных портов). Магистральных портовых нефтепроводов еще сравнительно мало, но с развитием добычи нефти на больших расстояниях от побережий их становится все больше. Один из самых длинных подводных нефтепроводов находится в Мексиканском заливе, он доставляет нефть к южному побережью США и имеет длину около 200 км.

Укладка подводных трубопроводов на дно моря — весьма сложное дело. Если трасса трубопровода проходит недалеко от берега, для укладки иногда применяют метод протаскивания с помощью специальных дамб, понтонов и др. Таким способом был, например, уложен подводный нефтепровод вблизи итальянского порта Триест длиной около 18 км.

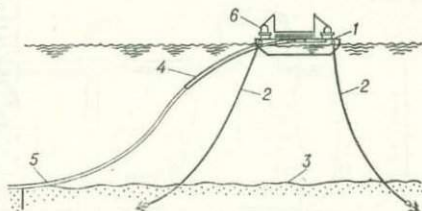
При укладке трубопроводов на значительном расстоянии от суши применяют специальные трубоукладочные баржи (рис. 30). Таким способом уложено большинство подводных трубопроводов. Если глубина моря невелика, обычно используют несамоходные заякориваемые баржи. Так, при укладке в 1971 г. подводного трубопровода в Северном море длиной 147 км на глубине не более 41 м использовалась трубоукладочная баржа типа «Мидерс», оборудованная установками для полуавтоматической сварки труб.

Для работы на больших глубинах применяют само-

ходные незаякориваемые трубоукладочные баржи. Такова, например, американская трубоукладочная баржа-катамаран «Чоктоу», предназначенная для работы в открытых морях, ее длина 122 м, водоизмещение около 22 тыс. т. Такой трубоукладчик приспособлен для работы в условиях волнения и штормов: при волнах высо-

Рис. 30. Схема трубоукладочной системы подводного нефтепровода

1 — баржа-трубоукладчик; 2 — якорный канат; 3 — дно океана; 4 — плавучая опора — стингер; 5 — трубы нефтепровода; 6 — механизмы натяжения



той до 10 м работы с помощью баржи «Чоктоу» велись вполне эффективно. В 1975 г. в СССР на Каспии испытывалось оригинальное судно-трубоукладчик «Сулейман Везиров». Важными операциями при строительстве и эксплуатации подводных нефтепроводов являются также заглубление трубопроводов (рытье траншей и спуск в них труб), ремонт, обеспечение работы подводных насосов. В связи со всеми этими задачами в последние годы наблюдается бурное развитие разнообразной океанотехники. Здесь и особые подводные камеры и подводные вездеходы, специальные подводные лодки и другие подводные плавательные аппараты. Интересен подводный вездеход, предназначенный для выполнения различных операций при строительстве и ремонте подводных трубопроводов (рис. 31). Он может также использоваться для розыска и подъема затонувшего оборудования, обследования подводного трубопровода, выполнения земляных, подводных и других работ. Общая длина вездехода около 15 м. В камере для работы под нормальным давлением может разместиться шесть человек. Максимальная продолжительность жизнеобеспечения экипажа 50 человеко-часов, максимальная глубина работы 180 м.

Насосы, обеспечивающие перекачку нефти по подводному трубопроводу, частично устанавливаются в кессонах на дне моря. Для регулирования работы задвижек на трассе подводного нефтепровода применяют акустические средства и системы.

Нефть не растворяется с водой и при перекачке ее по наземным трубопроводам. При прокладке наземных нефтепроводов обычно приходится преодолевать многочисленные водные преграды — реки, болота. Так, длиннейший трансконтинентальный нефтепровод начинается в глубине Западной Сибири на Самотлоре и идет на за-

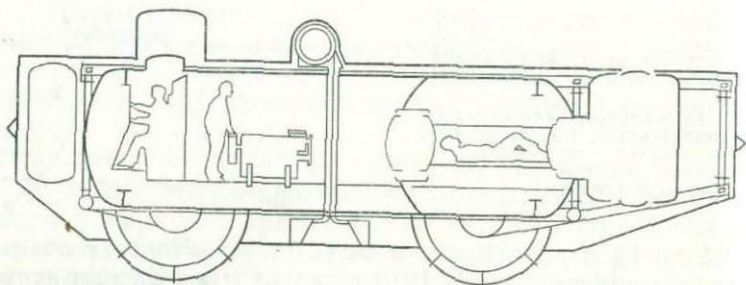


Рис. 31. Подводный вездеход

пад, через Урал, в Татарию (Альметьевск), а далее продолжается в виде нефтепровода «Дружба» через центральные и западные районы СССР, Польшу и ГДР, до города Шведта, где располагается крупный нефтеперерабатывающий комплекс. На его пути такие водные преграды, как Обь, Иртыш, Тобол, Белая, Волга, Днепр, Буг, Висла, Одер и многие другие. Прокладка нефтепровода через реки — труднейший участок строительства, требующий больших водолазных работ. И позже при эксплуатации нефтепровода приходится особое внимание обращать на участки, где нефть течет под водой, отделенная от нее только тонкой стальной стенкой.

Даже продукты переработки нефти — бензин, керосин и др. не растворяются с водой. Мы знаем уже, что в танкерах не обязательно везут только сырую нефть, есть и танкеры-бензовозы, керосиновозы. Есть и бензопроводы, керосинопроводы и другие продуктопроводы, которые также в некоторых случаях пролегают в водной среде.

## ОХРАНЯТЬ ВОДУ ОТ НЕФТИ? ДА!



предыдущих главах книги мы познакомились с тем, как нефть рождается среди вод, накапливается, образуя подземные залежи в водонасыщенных пластах горных пород, как ищут и добывают нефть, прибегая к помощи воды. Затем, попав уже в руки человека, нефть может снова встретиться с водой, например путешествуя по воде в танкере. Нефть, рождающаяся среди вод, снова на сей раз уже искусственным путем может попадать в воду и загрязнять ее. Здесь мы сталкиваемся с одной из крупнейших проблем современности — проблемой загрязнения окружающей среды промышленными отходами. Об этих вопросах стоит поговорить в последней главе нашей книги.

Если до сих пор мы были свидетелями положения, при котором вода наносит ущерб нефти (разрушение нефтяных залежей, помехи при добыче и транспорте нефти), то теперь встретимся со случаями, когда нефть наносит вред воде. Эта вода может быть и подземной водой и водой моря, а также речной, озерной и др.

Уже при поисках и разведке нефтяных залежей, особенно же при эксплуатации нефтяных скважин нефть может попасть в чисто водоносные пласты, если не принять эффективных профилактических мер для изоляции нефтяных пластов от других. Нередко в одном месте

на большой глубине залегает нефть, а выше на меньших глубинах, находятся пласты с пресными водами, используемыми для водоснабжения. Такие условия известны, например, в районе Полтавы и западнее, где в верхней части осадочной толщи имеются песчаные пласты, из которых добывают прекрасную питьевую воду, несколько глубже известна целебная минеральная вода «Миргородская», а на еще большей глубине находятся залежи газа и нефти. Другой пример — Кубань. Там в пределах Анастасиевско-Троицкого нефтяного месторождения в верхних пластах плиоценового возраста находится хорошая питьевая вода. Таким образом, скважины, дающие нефть, пересекают пласты с пресной или лечебной минеральной водой, представляющей немалую ценность.

Содержание нефти, ее составляющих или продуктов неполного окисления нефти (фенолов, нафтеновых кислот) в питьевой или в используемой в быту воде допустимо до известных пределов, называемых санитарными нормами. Нефть и нефтепродукты (бензин, керосин, нефтяные масла и др.) могут придавать воде запах и вкус, делающие воду непригодной для питья при таких концентрациях (в мг/л):

Нефть . . . . .	0,01—0,1
Керосин . . . . .	0,01—0,1
Автобензин . . . . .	0,001—0,01
Соляровое масло . . . . .	0,001—0,01
Бензол . . . . .	1—10

Из этих цифр следует, что 1 мг бензина или солярового масла делает непригодными 1000 л воды.

Случаи попадания нефти через стволы скважин в пригодные для питья пресные или минеральные воды верхних горизонтов встречаются в практике.

Нефть и нефтепродукты могут попадать в горизонты пресных вод, используемых для водоснабжения, и некоторыми другими путями, например при аварийном открытом фонтанировании разведочных нефтяных скважин, когда нефть, попадая на землю, просачивается через рыхлый грунт в неглубокие водоносные горизонты. Иногда происходит утечка нефти из промысловых емкостей — амбаров, представляющих собой бетонированные или небетонированные котлованы.

Изоляция нефтяных горизонтов (и емкостей) имеет важнейшее значение для охраны недр и в частности для охраны подземных вод. Загрязнение подземных вод нефтепродуктами случается и не только там, где нефть залегают и добывается, но и в местах ее переработки и потребления. Так, запах нефти отмечался в водозаборных скважинах Московского нефтекомбината, которые питались водами из известняков каменноугольного возраста, залегающих на глубине до 170 м. В одном городе в пресной воде из скважин, получаемой с глубины около 20 м от поверхности земли, появился запах бензина. Как выяснилось, на расстоянии около 100 м от водяных скважин была устроена автозаправочная станция. Из приведенных примеров должно быть видно, что охрана подземных вод от нефтяного загрязнения — довольно сложное дело.

Особые вопросы возникают при сбросе сточных вод нефтепромыслов в подземные водоносные пласты. Сточные воды нефтепромыслов, содержащие нефть, либо очищаются, после чего снова могут использоваться для заводнения нефтяных залежей (рециркуляции) или сбрасываться в водоемы и в подземные пласты, либо сбрасываться неочищенными. Об очистке воды от нефти уже говорилось. Надо лишь отметить, что такая очистка редко бывает полной и является весьма длительной операцией.

Экономические и другие причины приводили к сбросу неочищенных сточных вод нефтепромыслов. Конечно, сброс в водоемы (реки, озера, моря) неочищенных вод недопустим. Тем не менее и такой сброс практиковался. Это ведет к ужасающему загрязнению окружающей среды, причем не только воды, но и воздуха. Другое дело — сброс неочищенных нефтепромысловых вод в подземные, как говорят, поглощающие горизонты или пласты-приемники. Такие мероприятия вообще допустимы, но требуют самого внимательного к себе подхода.

Впервые у нас в стране захоронение нефтепромысловых сточных вод в глубоких поглощающих горизонтах в промышленных масштабах было обосновано и спроектировано специалистами института Гипростокнефть в Куйбышеве в 1952 г. В настоящее время специалисты считают, что сброс сточных вод нефтепромы-

лов в поглощающие горизонты целесообразен при: а) небольших объемах сточных вод; б) отсутствии заводнения нефтяного пласта; в) избытке сточных вод по сравнению с масштабами заводнения; г) использовании пластовых вод для извлечения иода и брома.

Большое развитие сброс сточных нефтепромысловых вод получил в ряде районов Волго-Уральского нефтеносного бассейна. Здесь довольно часто встречаются хорошие поглощающие горизонты (что бывает далеко не везде). Основным таким горизонтом служит зона древнего карста в известняках раннекаменноугольного возраста, которая прослеживается от Оренбургской области до Татарии и Пермской области. Горизонт этот обладает большой емкостью. Карст — явление растворения горных пород (чаще всего известняков) активно циркулирующими в них водами с образованием систем сравнительно крупных пустот и каналов.

Если карстовый процесс идет сейчас или шел в сравнительно недавнем прошлом, то он захватывает в основном только неглубоко залегающие горизонты, и образующиеся системы пустот легко сообщаются с дневной поверхностью. Известны случаи, когда реки целиком уходят под землю, текут там, а затем вновь появляются на поверхности. Использовать такие карстовые пустоты для захоронения стоков, конечно, нельзя. Иное дело — древний карст или палеокарст. В этом случае карстообразование происходило в далеком геологическом прошлом и закончилось в какое-то отдаленное от нас время, например в том же каменноугольном периоде. Прошло много миллионов лет, над горизонтами карста выросла километровая толща новых отложений, надежно изолировавшая древнюю карстовую зону от поверхности земли. Вот тогда-то древняя карстовая зона и становится хорошим поглощающим горизонтом.

Вообще-то поглощающие горизонты получили свое название еще до того, как в них стали сбрасывать стоки. При бурении скважин с промывочной жидкостью (господствующий сейчас вид бурения) в некоторых горизонтах происходит поглощение этой жидкости. Такие горизонты при бурении ведут себя как трудно проходимые, нередки и провалы бурового инструмента. При сбросе стоков поглощающие зоны из вредного фактора превращаются в полезный.

Древние карстовые зоны встречаются далеко не всюду. Но можно найти поглощающие горизонты и помимо них — в трещиноватых известняках, кавернозных доломитах, крупнозернистых песках. Такие горизонты находят по сведениям о поглощении промывочной жидкости, провалах инструмента при бурении, причем чем сильнее и катастрофичнее поглощения и провалы, тем лучше считается горизонт для сброса стоков. Сброс сточных вод в поглощающие горизонты разрешается только после проведения специальных гидрогеологических и санитарных исследований, доказывающих невозможность влияния сбрасываемых вод на водоносные горизонты, используемые для водоснабжения и в лечебных целях. В скважинах, через которые сбрасываются стоки (такие скважины тоже называют поглощающими), вышележащие горизонты должны быть надежно изолированы от загрязнения сточными водами. Закачка допускается на глубине не менее 800 м. Кроме того, обязательно иметь сведения о существующих подземных водозаборах в радиусе 20—30 км от места проектируемого сброса.

Из сказанного видно, какое большое значение в деле защиты воды от нефти имеют гидрогеологические исследования и изыскания. Вопросы охраны подземных вод развились в особую отрасль гидрогеологии.

До сих пор мы говорили о том, как охранять, защищать от нефтяного загрязнения подземную воду. Но наиболее однородное скопление воды на нашей планете находится не под землей, это — море. И именно морю нефть угрожает особенно сильно.

Наибольшее количество нефти попадает в море при транспорте. Как мы знаем, транспорт нефти в основном идет по воде и под водой, и это, к сожалению, служит мощным источником загрязнения природных вод — морей, рек, озер. Загрязнение водоемов происходит путем утечки и сброса (вместе с балластом) нефти с нефтеналивных судов, утечки из подводных нефтепроводов и емкостей в нефтяных гаванях и др. Кроме того, нефтяное загрязнение может вызываться нефтяными скважинами, находящимися в морях и озерах, сбросом сточных вод нефтеперерабатывающими заводами и др.

Могут возникнуть следующие вопросы. Если пресная вода рек, озер, каналов, водохранилищ, используемая

в городском и сельскохозяйственном водоснабжении, ни в коем случае не должна загрязняться нефтью и нефтепродуктами, то обязательно ли это касается морской воды? Разве так важно, что морская вода загрязняется нефтью? Ведь ее не пьют, ею не поливают поля? На эти вопросы приходится совершенно твердо ответить: «Да, это тоже очень важно, загрязнение морей нефтью недопустимо!»

Во-первых, морская вода тоже используется для водоснабжения и чем дальше, тем больше. Там, где нет пресной воды, где на морских берегах — пустыня, морскую воду перегоняют, получая пресную. Интересно, что это практикуется как раз на берегах тех морских бассейнов, в пределах которых интенсивно добывают нефть: на Каспии (г. Красноводск, г. Шевченко на полуострове Мангышлак), в Персидском заливе (Кувейт).

Во-вторых, надо вспомнить морские купания. Дальше будет упомянуты случаи катастрофических нефтяных загрязнений великолепных пляжей во Франции, в Калифорнии. В-третьих, моря заселены несметным множеством живых существ (они-то и дали начало нефти) и среди них много полезных и важных для человека (рыбы, моллюски, ракообразные и др.). Нефтяное загрязнение воды, в которой они живут, наверное вредно для них. Но так ли это? На этом вопросе следует остановиться подробнее, потому что он очень важен и не совсем ясен.

Проблема действия нефтяного загрязнения воды на ее живых обитателей не нова. Еще в прошлом веке русские ученые, обеспокоенные судьбой Волги, ставили эксперименты и писали о «гибельном влиянии нефти на рыб и мерах противодействия этому». Однако и в наши дни влияние нефти на обитателей рек, морей и океанов изучено недостаточно. Сведения, накопленные наукой, здесь несколько противоречивы.

Скажем, многие считают нефть сильным ядом для рыб. Но замечено, что нередко рыба так долго игнорирует присутствие нефти в воде, что ее мясо успеваает приобрести стойкий керосиновый запах. Погружали форель — любительницу чистой воды — в мазут, затем переносили в чистый бассейн. Ей требовалась всего одна минута, чтобы полностью «отмыться». Никакого вредного действия нефтяной «ванны» не обнаружили.

Не раз также сообщалось, что даже после катастрофических разливов нефти в море уловы планктона были обильны и отличались разнообразием форм. Более того, мельчайшие жители моря — некоторые бактерии — «поедают» нефтяные капельки, в результате идет самоочищение моря.

Исследования Института биологии южных морей (в Севастополе) подтверждают, что самоочищение моря действительно происходит, но зависит от многих факторов. Так, морские бактерии хорошо «работают» в теплую пору, а уже при 5—10°C бактериальное разложение нефти почти приостанавливается. Бактерии в море уже не могут справиться с нефтью, и она накапливается. Поэтому в северных морях разлитая нефть может держаться десятилетиями. Впрочем, и при интенсивном самоочищении водоемов нефть приносит вред: на ее окисление расходуется много кислорода, нужного водным обитателям. Так, по некоторым данным при бактериальном окислении 1 л нефти требуется запас кислорода, содержащийся в 400 000 л морской воды.

Что касается «самочувствия» планктона в загрязненной воде, то эксперименты показали угнетение или гибель большинства видов микроскопических водорослей при тех концентрациях нефти, которые встречаются сегодня во многих гаванях и заливах. Наряду с этим обнаружены и водоросли, равнодушные к нефти. Но ведь в пищевых цепях моря выжившие виды не всегда могут заменить погибших.

Рыбы и многие жители морского дна — ракообразные, моллюски — как будто устойчивы к сегодняшнему среднему уровню нефтяного загрязнения. Но какими будут отдаленные последствия их длительного пребывания в такой среде? Пока ответа на этот вопрос нет. Да и для получения такой информации, скажем, о белуге, надо вести наблюдения 200—300 лет.

Впрочем, и сегодня можно узнать, какие изменения происходят в разных органах и тканях морских организмов. Такого рода исследования ведутся, например, Н. Д. Мазманиди в Батуми. Выяснено, что даже небольшое загрязнение воды нефтью вызывает изменения состава крови, нарушает углеродный обмен у рыб, мидий, креветок. Особенно плохо приходится молодым организмам, икре рыб. Эксперименты показали, что

из тех немногих икринок, которые не погибли, выклевались мальки-уродцы: тело их было закручено спиралью и не могло распрямиться.

Как считают ученые Зоологического института АН СССР, нефтяное загрязнение — грозный фактор, влияющий на жизнь всего Мирового океана. Они изучали последствия не очень сильного нефтяного загрязнения в прибрежных водах. Здесь для части организмов невыносимыми оказались даже малые концентрации нефти и они перестали жить в этом районе.

Некоторые же организмы живут как ни в чем не бывало, а есть и такие, которые заметно увеличили свою численность. Нефть иногда действует подобно наркотику: например, некоторые рыбы, однажды «хлебнув» нефти, уже не стремятся покинуть отравленную зону. Но изменение видового состава водного населения нарушает сложившееся общество, что неизбежно очень плохо скажется в будущем. Нечего и говорить о страшном влиянии катастрофических разливов нефти в море. Такие случаи приводят к уничтожению множества морских птиц и привлекают внимание орнитологов во всем мире.

Английские орнитологи подсчитали, что ежегодно гибнет более 250 000 птиц. Одной из причин их гибели является смачивание оперения нефтью. Птицы не мерзнут благодаря тому, что между перьями имеется теплоизолирующий воздушный слой. Нефть или мазут проникают в оперение и изменяют структуру пера, ухудшая плавучесть и теплоизолирующие свойства. Даже при легком загрязнении птицы начинают чиститься клювом, глотая нефть или мазут. Это ведет к появлению различных заболеваний или полному отравлению. Опыты показывают, что уже при попадании внутрь 7 г дизельного топлива гибель птицы наступает через несколько часов. По сведениям Гаррисона и Бак в 1966 г. при разливе нефти в эстуарии р. Мидуэй (США) погибло очень много птиц, а порча кормовых ресурсов привела к тому, что птицы оставшиеся в живых, покинули этот район на всю зиму.

Серьезный вред наносит загрязнение нефтью и крупным морским животным — китам, дельфинам, тюленям. Обычно после пребывания в воде они выныривают на дневную поверхность, чтобы запастись свежим возду-

хом. Если тюлень появляется в месте распространения нефтяного пятна, он пачкает мех. Мех теряет свои теплоизолирующие свойства, а это ведет к охлаждению или прямому отравлению. У тюленей нефть вызывает воспаление глаз, что иногда кончается слепотой. А. Нельсон-Смит пишет, что в тюленьем заповеднике в Корнише живет слепая самка, которую спасли во время нефтяного разлива.

При ликвидации нефтяных разливов при авариях танкеров часто используют различные диспергенты. Оказалось, что диспергированная нефть также отрицательно влияет на морские организмы, как и обычная нефть.

Загрязнение нефтью сказывается и на жизни придонных организмов и прежде всего на таких интересных животных, как коралловые полипы. Широко известный исследователь морских глубин Жак-Ив Кусто в книге «Жизнь и смерть кораллового моря» с большой озабоченностью пишет о вредном влиянии нефтяного загрязнения на подводных обитателей, прежде всего это относится к кораллам. Коралловые полипы живут только в чистой прозрачной воде. С колониями кораллов связана жизнь и многих видов рыб, поэтому гибель кораллов вызовет исчезновение некоторых форм морской фауны, так как экологический баланс будет нарушен. Многочисленные наблюдения Кусто привели его к выводу о деградации кораллов в Красном море и Индийском океане, особенно богатых этими организмами. Достаточно появления вблизи кораллов нефти или мазута, и на большой площади погибают коралловые полипы.

Мы видим, что нефтяное загрязнение морской воды — опасно. Возникает вопрос, насколько распространено загрязнение. Ответ на него имеет очень большое значение.

Важность проблемы вообще загрязнения морей видна хотя бы из того, что в 1972—1973 гг. на состоявшихся в Лондоне конференциях с участием многих десятков государств (такие конференции были и раньше) приняты две международные конвенции по предотвращению загрязнения моря сбросами с судов, промышленными отходами, а также нефтью и другими вредными веществами. Обе конвенции составляют важный шаг вперед

на пути международного сотрудничества в области борьбы с загрязнением морей.

Гидрометеослужбой СССР были проведены обследования вод Северной Атлантики и европейских морей. Оказалось, что количество нефти у берегов Европы часто превышает установленные в СССР предельно допустимые концентрации (ПДК). Поля загрязнения формируются в основном в прибрежных водах крупных промышленных районов и в устьях рек, а также в местах интенсивного судоходства и морской нефтедобычи. Особенно страдают от нефти Северное, Ирландское, Тирренское моря и Бискайский залив. Нефть в количествах, сильно превышающих ПДК, обнаружена и на обширных участках открытого моря в Северной Атлантике, где загрязнение распространяется от берегов Америки и Европы. Около залива Мэн (США) содержание нефти доходит до 20—40 ПДК у поверхности воды, а глубже даже до 50 ПДК. Много нефти выносится из Мексиканского залива через Флоридский пролив, в стержне Северо-Атлантического течения нефти меньше, чем на его периферии.

Нефтяное загрязнение отмечается в самых отдаленных районах Тихого и Атлантического океанов. Тур Хейердал с борта папирусной лодки «Ра» сообщал в Межправительственную морскую консультативную организацию (ИМКО), что из 52 дней трансатлантического путешествия в течение шести суток они плыли в загрязненных водах, содержащих дегтеобразные и асфальтообразные материалы.

Нефтяные пленки на поверхности моря, помимо всего прочего, могут нарушать обмен энергии теплом, влагой, газами между океаном и атмосферой. А ведь океан играет большую роль в формировании климата, погоды, вырабатывает значительную долю кислорода, необходимого для существования жизни на Земле.

Как пишет французский ученый Б. Капистрон, тончайшая молекулярная пленка нефти на поверхности воды уменьшает испарение на 60%, в результате чего усиливается нагрев этой поверхности. Массы воздуха, соприкасаясь с загрязненными зонами, становятся более теплыми, уменьшается их насыщенность водяным паром, проходя затем над континентами, они дадут меньше осадков. Перепад температур будет способствовать

возникновению грозových облаков и зарождению циклонов.

Таким образом, даже из довольно отрывочных сведений, изложенных выше, видно, что нефтяное загрязнение морей уже сегодня велико, местами дошло до угрожающих размеров. Ясно, что надо защищать море от нефти. Но для того, чтобы делать это как можно успешнее, следует хорошо знать, какими именно путями нефть загрязняет морскую воду. Пути эти могут быть разнообразными.

Оказывается (это твердо установлено), главный источник загрязнения моря нефтью — сброс танкерами остатков нефтяного груза с балластной водой. Танкеры в одну сторону везут нефть, а в обратный рейс заполняют свои танки водой, которую называют балластной. Поскольку на дне и стенках остается какое-то количество нефтяного вещества, балластная вода, смывая и растворяя эти остатки, всегда содержит некоторое количество нефти. Перед наливом танкера нефтью воду сливают и если слив делается прямо в море, то туда попадает и нефть.

С 1969 г. действует международное соглашение, запрещающее сброс в море неочищенной балластной воды в пределах стомильной полосы от любой береговой линии и повсеместно с танкеров водоизмещением больше 20 тыс. т (как мы уже знаем, такие танкеры составляют большинство современного танкерного флота). Предлагается проводить очистку балластной воды в танкерах-отстойниках на самих танкерах, очищать танкеры и сливать балластные воды на специальных станциях промывки.

Однако слив неочищенных балластных вод с танкеров в море все же практикуется. Многие судовладельческие компании считают выгодным платить штрафы, получая экономию от сокращения времени простоя на станции промывки. Правда, например, во Франции капитаны-нарушители подвергаются тюремному заключению. Часто сбрасывают грязную воду танкеры, плавающие под «выгодным флагом ПАЛИБОНКО» (Панамы, Либерии, Гондураса, Костарики), который широко используют американские и греческие судовладельческие компании. Подсчитано, что таким путем в моря попадает ежегодно несколько миллионов тонн нефти.

В Швеции разработан способ обнаружения тех танкеров, которые сливают остатки груза в море. В резервуар танкера бросают щепотку металлической пыли. Каждое судно получает определенный набор микрочастиц разных металлов. Нефть танкеров имеет таким образом как бы свою метку. В общей сложности было помечено 200 танкеров. Виновников загрязнения быстро нашли и наказали. Интерес к этому методу проявляется и в других странах.

Кроме того, загрязнение морей нефтью происходит при 1) авариях и катастрофах танкеров; 2) утечках во время перекачки нефти (грузовых операциях) с танкеров на берег и обратно, на другие танкеры и др.; 3) утечках во время заправки нефтяным топливом различных судов в море; 4) утечках из подводных нефтепроводов и нефтяных скважин; 5) утечках и сбросах неочищенных стоков нефтеперерабатывающими заводами, расположенными на морском берегу.

При авариях и катастрофах танкеров в море ежегодно выливаются сотни тысяч тонн нефти. Это в десятки раз меньше, чем при сбросе балластных вод, однако здесь в одном месте сразу попадает в воду большая масса нефти, особенно при авариях супертанкеров, доля которых в мировом флоте все время растет. Так, в 1967 г. с погибшего у берегов Англии супертанкера «Торри Каньон» (отклоняясь от правильного курса, он наскочил на подводный риф «Семь Камней» западнее полуострова Корнуол) в море вылилось 100 тыс. т нефти. Был причинен огромный вред морским организмам и пляжам на английском и французском побережьях.

Причины аварии и катастроф танкеров разнообразны: тут и столкновение судов между собой и с неподвижными объектами и технические неполадки, ведущие к взрывам и др. Так, в 1969 г. все аварии супертанкеров (три судна, каждое водоизмещением более 200 тыс. т) произошли в результате взрывов центральных грузовых отсеков во время балластных пробегов (следовательно, в этих танкерах была только загрязненная нефтью вода). Взрывы, по-видимому, происходят из-за того, что после слива нефти танки не очищаются достаточно хорошо, и в них скапливаются горючие газы и бензиновые пары.

Небезынтересно отметить, что, например, в 1972 го-

ду, 37% всех катастроф на море приходилось на долю судов под «выгодными флагами».

Значительное локальное нефтяное загрязнение морских вод происходит при грузовых операциях танкерного флота обычно из-за неисправности сливо-наливного оборудования. Акватории нефтегаваней — наиболее загрязненные участки моря. Однако поскольку в последнее время крупнейшие танкеры загружаются и разгружаются зачастую вне гаваней в открытом море, а там благодаря частым сильным волнениям повреждения сливо-наливного оборудования весьма вероятны и обычны, места сильного нефтяного загрязнения распространяются и далеко от берегов.

С ростом морской нефтедобычи усиливается угроза загрязнения моря нефтью в результате аварий на нефтепромыслах. Случаются выбросы нефти в море при испытании скважин, утечки при повреждениях оборудования во время штормов. Авария мощной нефтяной скважины компании «Юнион Ойл» у берегов Калифорнии привела к серьезному загрязнению значительной акватории и великолепных песчаных пляжей недалеко от Лос-Анджелеса.

Известны случаи крупных разливов нефти в море при авариях на нефтехранилищах. Например, в 1974 г. в Японии в префектуре Кагаве при повреждении громадного нефтяного резервуара на побережье возникло катастрофическое нефтяное загрязнение морской воды. В результате по наблюдениям аквалангистов морское дно оказалось устлано сгустками нефти и трупами крабов и других животных.

Больше всего нефти попадает в море с балластной водой, сбрасываемой танкерами. Выше уже упоминалось о юридических мерах для ликвидации или сокращения этого мощного источника нефтяного загрязнения. Другие меры — технические. Главное, что делается в этом направлении — оборудование танкеров отстойниками и устройство станций промывки танкеров. На таких станциях балластную воду с танкеров откачивают в береговые емкости, затем очищают, после чего уже чистая вода сливается в море. Есть и плавучие моечные станции. Танкеры промывают специальными моечными машинами и пульверизаторами, применяя различные моющие средства (детергенты) и деэмульгаторы.

Промывка становится в последнее время настолько важным звеном в работе танкерного флота, что, например, крупные судовладельческие компании США вынуждены приглашать от фирм — поставщиков моющих средств сотrudника на должность помощника капитана по промывке.

Существенное значение имеют меры по предотвращению аварий танкеров, усовершенствование их конструкции и технологии рабочих процессов. Первый советский супертанкер «Крым» привлек внимание мировой общественности тем, что это был первый танкер в мире, полностью отвечающий стандартам, установленным Международной конвенцией 1973 г. по борьбе с загрязнением моря. Двойное дно предохраняет морские воды от нефтяного загрязнения, даже если судно сядет на мель, а система с применением инертных газов предохраняет от возможных взрывов в балластных танках, которые служат частой причиной катастроф.

Описанные меры — это меры по предотвращению нефтяного загрязнения моря. А что делать, если участок моря уже сильно загрязнен? Такое загрязнение происходит систематически в районах больших нефтегазовых или эпизодически в местах катастроф танкеров или других крупных разливов нефти. Там приходится применять экстренные меры для очистки загрязненной морской воды и предотвращать дальнейшее распространение нефтяного загрязнения на соседние участки моря.

Для выполнения последней задачи применяют ограждения загрязненных зон — чаще плавучие (боновые), иногда подводные. Плавучие ограждения делаются из надувных рукавов, пластмассовых труб с легким наполнителем, резино-тканевых барьеров («юбок»), удерживаемых поплавками из легких материалов, а иногда снизу балластом или якорями (рис. 32).

В пределах огражденных участков акваторий легче ликвидировать загрязнение вод. Кроме того, плавучие ограждения могут служить тралами для отвода загрязнений к нефтесборным устройствам. Например, когда на акваторию порта Антверпен вылилось 35 000 т нефти, очистку вод провели с помощью двух бонов длиной по 250 м, буксировавшихся по загрязненным участкам гавани. Когда толщина слоя нефти в огражденном пространстве достигла 25 см, ее откачали насосами.

При сильном волнении моря плавучие заграждения неэффективны: волны легко переносят нефть через барьер бона. Для таких условий рекомендуют подводные пневматические заграждения, принцип действия которых изображен на рис. 33. На дно кладется воздухопровод с отверстиями. Пузырьки воздуха, выходя из

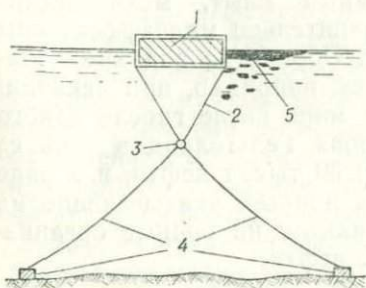


Рис. 32. Плавучее заграждение с поплавками

1 — поплавок из пенопласта; 2 — юбка из синтетических материалов; 3 — пригрузка; 4 — якорное крепление заграждения; 5 — нефтяное загрязнение

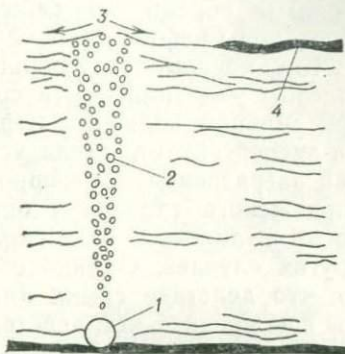


Рис. 33. Подводное пневматическое заграждение

1 — перфорированный трубопровод (воздухопровод); 2 — пузырьки воздуха, поднимающиеся к поверхности воды; 3 — «валок», образующийся на поверхности воды; 4 — нефтяные загрязнения

этих отверстий и всплывая, образуют валик на поверхности моря, могущий удержать пленку нефти толщиной более 8—10 см. Подводные заграждения имеются в крупнейших нефтяных портах — Гавре, Гамбурге, Фосе (близ Марселя), Ливорно и некоторых других.

Ограждение загрязненных зон моря должно дополняться мерами по очистке морских вод, удалению нефтяного вещества. Разработка и внедрение средств и способов такой очистки особенно усилились после знаменитой катастрофы танкера «Торри Каньон», когда имевшиеся к тому времени средства получили настоящее боевое крещение. Затраты на ликвидацию последствий разлива нефти, лишь частично возмещенные штрафом, уплаченным судовладельческой фирмой «Барракуда», которой принадлежал «Торри Каньон», составили тогда несколько миллионов фунтов стерлингов.

С тех пор предложено очень много разных технических новинок, предназначенных для ликвидации нефтяных загрязнений в морях и других водоемах. Среди этих способов есть такие, как откачка насосами, удаление при помощи крутящихся дисков, адсорбентов (пенопластовая стружка и др.), обработка воды диспергентами с самолетов и вертолетов, осаждение нефти специальными порошками, сжигание плавающей на поверхности воды нефти, микробиологический метод.

Как показывает накопленный опыт, механические способы удаления нефти сравнительно малоэффективны при сильном волнении моря. Обработка вод химикатами-диспергентами имела успех, например, при ликвидации загрязнения в Северном море после гибели одного норвежского танкера у острова Гельголанд в 1966 г., когда вылилось в воду около 30 тыс. т нефти, и в ряде других случаев. Однако есть данные, указывающие на то, что действие самих химикатов на водные организмы еще вреднее, чем действие нефти.

Разработка новых средств и способов ликвидации нефтяных загрязнений в водоемах усиленно продолжается. Началась, например, разработка метода очищения вод от нефти с помощью микроорганизмов. В 1975 г. на верфи Виареджо в Италии спущено на воду специальное судно для очистки морской поверхности вод от нефти. Судно, которое итальянская печать назвала «морским дворником», может обрабатывать за час до 4 га морской поверхности.

Остановимся на тех мерах, которые принимаются, чтобы воспрепятствовать загрязнению моря стоками нефтеперерабатывающих предприятий. Крупнейшие заводы такого рода очень часто располагаются именно на морских побережьях как в нефтеэкспортирующих, так и в нефтеимпортирующих странах, что связано прежде всего с транспортными условиями.

При переработке неизбежны потери нефти и нефтепродуктов при разрыве труб, неисправностях в соединениях и переходниках, при текущих или аварийных ремонтах и др. Но основным источником загрязнения обычно служат сточные воды. На нефтеперерабатывающих заводах используется огромное количество производственной воды. Современный крупный завод потребляет до 100 000 м<sup>3</sup> воды в час. В своей основной части

вода используется для охлаждения продуктов переработки нефти. Часть производственной воды поступает в аппараты, где возможен контакт ее с продуктами переработки или их парами. Вода также загрязняется всевозможными реагентами, газами и солями. Подавляющая часть воды используется в производственном процессе многократно, проходя сложную систему очистки, но часть воды в виде стоков сбрасывается в водоемы. За системой сброса обычно установлен строгий контроль и количество нефтепродуктов в стоках очень мало. Тем не менее за долгие годы работы предприятия в водоемах накапливается большое количество веществ, губительно действующих на живые существа. Так, по сведениям Р. Фюрона, в лагуне Этан-де-Бер близ Марселя, отравленной отходами нефтеперерабатывающих заводов, рыбы нет, рыбная ловля уже давно заброшена, исчезает и водная растительность.

Как на один из новейших примеров борьбы с загрязнением вод укажем на крупнейший нефтеперерабатывающий завод американской фирмы «Атлантик Ричфилд» в Черри-Пойнт в штате Вашингтон на тихоокеанском побережье США. Этот завод построен с учетом необходимости минимального загрязнения вод. Предусмотрено, что сточная вода предприятия должна быть годна для промышленного водоснабжения (холодильные установки), жизни дикой природы, рыбоводства, купания людей, полива полей, она должна также удовлетворять эстетическим требованиям (цвет, запах). В сточной воде допускаются концентрации нефти 10 мг/л, фенолов 0,2 мг/л. Предусматривается также экономия воды, используемой в технологическом процессе в холодильных установках (одна и та же порция воды используется 25 раз).

Все воды, содержащие серу, проходят перегонку, все кислые и щелочные растворы нейтрализуются, все воды с нефтью подвергаются отстаиванию, флотации и другим способам очистки.

Выше мы много говорили о загрязнении нефтью моря и о борьбе против этого загрязнения. Но нельзя забывать, что нефть загрязняет не только море, но и другие водоемы на поверхности Земли — реки, озера и др. Некоторые реки несут вместе со своими водами очень много нефти и нефтепродуктов, происхождение которых

во многом сходно с тем, что мы видели на примере нефтяных загрязнений в море.

Так, во многих странах в реки и озера сбрасываются отходы нефтехимической промышленности и нефтепродукты. Примером катастрофического загрязнения, в том числе нефтяного, является Темза и Рейн. Вот что пишет журналист Ю. Корнилов, побывавший в Нидерландах на берегах Рейна: «Мутные, свинцового отлива речные воды, на которых кое-где блестели радужные нефтяные пятна, казались мертвыми. И это впечатление еще более усиливали лаконичные таблички, установленные на берегу: «Не купаться! Опасно». Иначе, как о «больном» Рейне, воды которого когда-то даже считали целебными, теперь не пишут ни в ФРГ, ни в Нидерландах.

В 1974 г. на Рейне в районе города Вормса была объявлена «нефтяная тревога». В результате того, что танкер врезался в одну из опор моста, в реку вытекло около 100 тыс. л бензина.

А вот крупнейшая река Северной Америки Миссисипи... Советские журналисты В. Песков и Б. Стрельников так рассказывают про Миссисипи в ее нижнем течении: «Великая американка» текла в трех шагах от костра. Желтовато-грязные воды оставляли на кромке камней мазутный налет. Кинь эти скользкие камни в огонь, и они, пожалуй, загорятся».

Большую опасность загрязнения воды несет в себе сброс сточных вод нефтеперерабатывающих заводов в реки. Мерам по предотвращению таких явлений в нашей стране уделяется много внимания. Так, на Хабаровском нефтеперерабатывающем заводе создана мощная озонаторная установка, предназначенная для полной очистки сточных вод предприятия. Тщательное фильтрование, а затем насыщение озоном делают их безвредными для флоры и фауны реки Амур. До начала строительства очистных сооружений расход свежей воды на заводе для получения 1 т нефтепродуктов составлял почти 10 м<sup>3</sup>, а теперь менее 1 м<sup>3</sup>. В 12 раз сократилось содержание вредных примесей в промышленных стоках.

По проектам этого завода построены флотационные установки для очистки промышленных стоков на Новокуйбышевском, Полоцком, Саратовском, Новогорьков-

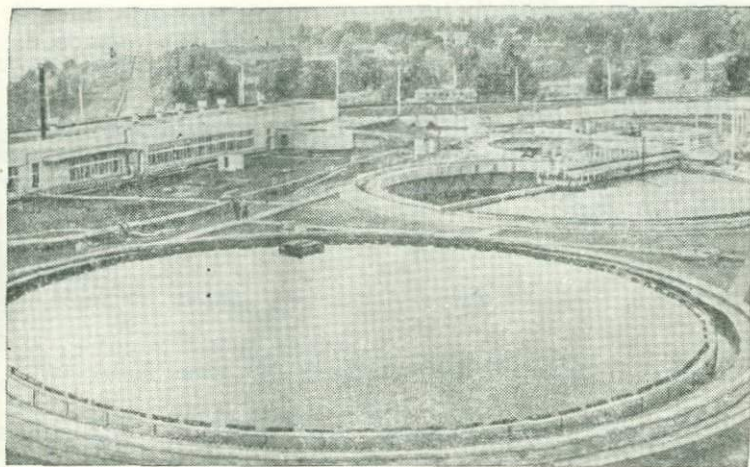


Рис. 34. Новый комплекс очистных сооружений Уфимского нефтеперерабатывающего завода

ском и других крупных нефтеперерабатывающих заводах нашей страны. Хабаровский нефтеперерабатывающий завод — коллективный член Всероссийского общества охраны природы.

Следует упомянуть также Рязанский нефтеперерабатывающий комбинат, стоки которого, сбрасываемые в Оку, намного чище окских вод выше места сброса. В нижних отстойниках некоторых нефтеперерабатывающих предприятий с успехом действуют рыбоводческие хозяйства.

На рис. 34 изображен общий вид очистных сооружений Уфимского нефтеперерабатывающего завода, где применяется биологическая очистка.

Гидробиологический метод очистки следует считать наиболее перспективным. Его разработка и использование только начинается и за рубежом и у нас в Советском Союзе. Способ очистки воды с помощью бактерий разрабатывается в Институте биологии южных морей в Севастополе. Впервые в мировой практике проводились обширные исследования численности и видового состава, биохимических особенностей нефтеокисляющих бактерий в различных морях и океанах. Многочислен-

ные опыты позволили исследователям выявить и отобрать наиболее активные культуры микроорганизмов, которые могут оказаться наиболее перспективными в борьбе с загрязнением морской воды нефтью.

Все эти факты ясно говорят, что с нефтяным загрязнением воды можно успешно бороться. Можно и нужно добиться такого положения, когда нефть уже не будет угрожать воде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гужов С. С.

Как ищут и добывают нефть. М., «Недра», 1973, 140 с. с ил.

Карцев А. А., Вагин С. Б.

Невидимый океан. М., «Недра», 1973, 112 с. с ил.

Кульский Л. А., Даль В. В.

Проблема чистой воды. Киев, «Наукова думка», 1974, 230 с. с ил.

Нельсон-Смит А.

Загрязнение моря нефтью. Л., Гидрометеиздат, 1973, 123 с. с ил.

Соколов В. А.

Нефть. М., «Недра», 1970, 382 с. с ил.

Софер М. Г.

Проблема пресной воды. Л., «Знание», 1974, 37 с. с ил.

Филиповский И. А.

Сок жизни. Алма-Ата, «Казахстан», 1974, 70 с. с ил.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

- 5 Введение
- Глава I.
- 9 ВОДА И НЕФТЬ В ЗЕМНЫХ НЕДРАХ
- Глава II.
- 32 РОЖДЕНИЕ НЕФТИ СРЕДИ ВОД
- Глава III.
- 43 ВОДА ПОМОГАЕТ ИСКАТЬ НЕФТЬ, А НЕФТЬ— ВОДУ
- Глава IV.
- 58 ВОДА — ДРУГ И ВРАГ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ
- Глава V.
- 76 НЕФТЬ НЕ РАССТАЕТСЯ С ВОДОЙ И ПОСЛЕ ДОБЫЧИ
- Глава VI.
- 91 ОХРАНЯТЬ ВОДУ ОТ НЕФТИ? ДА!
- 111 Список литературы

ИБ 1526

АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КАРЦЕВ  
СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ ВАГИН

## ВОДА И НЕФТЬ

Редактор издательства А. Г. Ионель  
Художник А. А. Зубченко  
График-иллюстратор А. М. Алдошин  
Художественный редактор В. В. Шутько  
Технические редакторы О. Ю. Трепенюк, В. В. Соколова  
Корректор Р. Я. Ускова

---

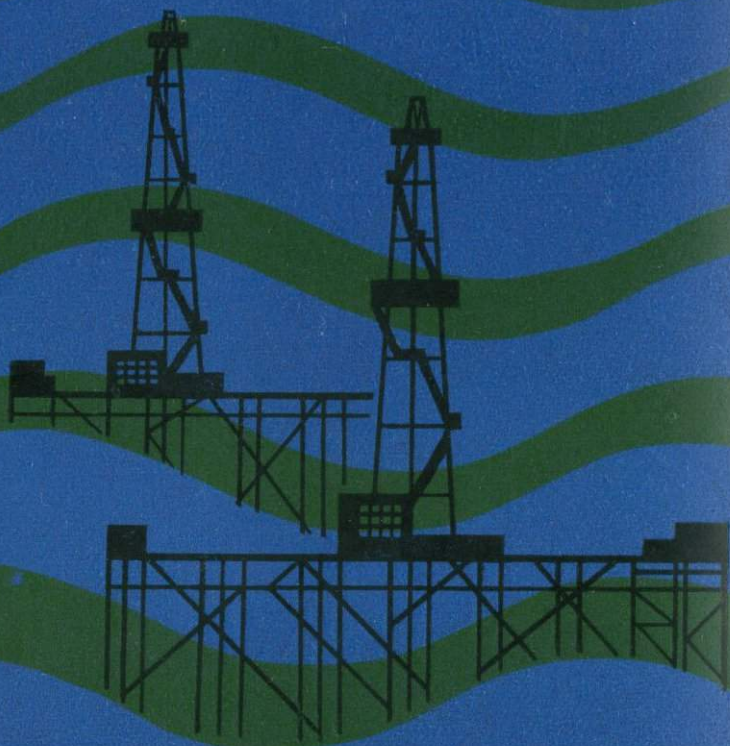
Сдано в набор 27/X 1976 г. Подписано в печать 31/XII 1976 г. Т-21484.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага № 1. Печ. л. 3,5. Усл. п. л. 5,8  
Уч.-изд. л. 5,77. Тираж 31 000 экз. Заказ № 1575/5696-7. Цена 20 коп.

---

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.  
Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном  
комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии  
и книжной торговли. Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

20 коп.

2092



НЕДРА