

Г. А. БЛИНОВ, Э. С. МАХНОВЕЦКИЙ
ПОКОРИТЕЛИ ЗЕМНЫХ НЕДР

Почему мы написали эту книгу

Когда в Ленинградском отделении издательства «Недра» нам предложили написать книгу о специальности буровика — проходчика земных недр, доказывая нужность такой книги, мы засомневались, а нужно ли? Специальность редкая, по-своему трудная и тяжелая, «заземленная» как казалось нам. Ну, например: пишут ли о нас в газетах так часто, как о металлургах или механизаторах сельского хозяйства? «Конечно, нет!» — сказали мы и решили удостовериться в этом. Для «эксперимента» выбрали три газеты: «Правду», «Социалистическую индустрию» и «Ленинградскую правду» — и два журнала: «Вокруг света» и «Техника — молодежи». Результаты развеяли все наши сомнения. Практически не было дня, а тем более недели, чтобы в одной из трех газет не была опубликована краткая информация, корреспонденция или обстоятельная статья о труде, достижениях, жизни буровиков, геологов, разведчиков, об их проблемах, мечтах, планах.

Не верите? Просмотрите, ради интереса, центральные галеты за любой месяц, ну хотя бы за неделю! — и вы убедитесь, как много места уделяется разведчикам и проходчикам недр — буровикам, горнякам, шахтерам. К слову сказать, статьи и корреспонденции из газет и журналов о профессии буровика — проходчика недр, о геологоразведочном деле сыграли большую роль в написании некоторых разделов этой книги, они явились источником приведенных в ней интересных фактов.

А сколько есть интересных статей в журналах, сколько брошюр и книг написано о бурении и буровиках в последние годы. Это и научные произведения, и научно-популярные, и популярные, и даже художественные. Одни из них мы упоминаем или цитируем в нашей книге, другие рекомендуем читателю в списке, помещенном в конце этой книги.

Итак, наша книга об одной из современных технических профессий.

А что такое профессия? Словари и энциклопедии определяют это понятие так: «Профессия (лат. *professio*) — постоянная специальность; род трудовой деятельности, занятий человека, владеющего комплексом специальных теоретических знаний и практических навыков, приобретенных в результате специальной подготовки, опыта работы». И дают синонимы: «Специальность, ремесло (разг.)». Исходя из этого и мы будем иметь в виду специалистов-профессионалов, т. е. «хороших знатоков ремесла» (В. М. Гар-

шин). «Специалист — кто особенно занялся какою-либо частью науки, знаний» (Толковый словарь живого великорусского языка Владимира Даля).

Какое место занимает бурение в геологии

Если вас попросят изобразить некую «геологическую эмблему», то вы наверняка нарисуете ее примерно так (рис. 1): мужественный бородач в болотных сапогах, в штормовке, непременно с молотком в руке и с рюкзаком за плечами стоит на вершине высокой сопки и смотрит куда-то в голубую даль. Картинка красивая, привлекательная, заманчивая, но, к сожалению, совершенно не соответствующая действительности. «Бродячих» геологов сейчас осталось не так уж и много. Один на сотню. Не более. Да и геологический молоток, увы, скоро сохранится только как исторический символ в эмблемах и значках Международного геологического конгресса (МГК). Латинская надпись на эмблеме МГК «Mente et malleo» («Разумом и молотком») — девиз конгресса (рис. 2).

Рис. 1. «Геологическая эмблема».

Рис. 2. Эмблема Международного геологического конгресса.

А что же вложить в руки геологу сейчас? Выбрать это, даже символически, очень сложно. Пришлось бы вкладывать микроскоп и электронно-вычислительную машину, стереоскоп и фотоаппарат, химическую посуду, реагенты и сложнейшие геофизические приборы. А высоко над ним — мощные вертолеты и самолеты, искусственные спутники Земли. Всем этим и многим другим оснащен и вооружен современный геолог.

Но должно же быть что-то самое главное, самое основное, самое-самое?.. Есть и главное. Это, конечно же, буровой станок, который вполне можно считать универсальным геологическим молотком на всех этапах и стадиях изучения и освоения недр. На всех!

Так что сегодня на эмблеме надо изображать геолога, а рядом с ним обязательно буровой станок. А если уж демонстрировать истинные соотношения, то «буровая эмблема» будет выглядеть примерно так (рис. 3): внушительная буровая вышка (сталь, тросы), просторное здание для оборудования, колонны обсадных и бурильных труб, а рядом со всем этим крошечный, но могущественный человек — геолог-буровик. Кстати, наверняка он будет в своем обычном костюме, правда, в коротких резиновых сапогах

и с защитной каской на голове, но, что уже совершенно точно, без молотка и без рюкзака.

Рис. 3. «Буровая эмблема».

Что же такое бурение? И кто такие буловики?

Бурение есть не что иное, как проходка в горных породах земной коры отверстий цилиндрической формы, называемых буровыми скважинами. Коротко, но не очень-то понятно. Какие отверстия? Зачем они? Как проходятся? Однако если мы попытаемся расшифровать это лаконичное определение, ну хотя бы (как и положено в таких случаях) уточнить, чем и для чего это делается, то оно тут же расплывается на десятки страниц, мы утонем в терминах и определениях и окончательно запутаемся. Так что давайте удовлетворимся пока этой самой общей формулировкой, а к вопросам «зачем», «как» и «чем» вернемся чуть позже.

Во всех случаях буровая скважина — это своеобразный перископ, через который мы исследуем земные недра. Через обычный полевой перископ, как известно, из укрытия осматривается свободное пространство; у нас совсем наоборот — из свободного пространства, с земной поверхности, изучается все то, что спрятано глубоко под землей, что скрыто от глаз. Кстати, по своей форме почти все скважины телескопичны: диаметр их постепенно уменьшается и в разрезе они выглядят так, как показано на рис. 4.

Рис. 4. Буровая скважина — «перископ» в глубь Земли.

Ну а буловики (или бурильщики) — это люди, которые занимаются столь необычным и, прямо скажем, очень увлекательным делом. Они высверливают либо выдалбливают скважины в земной коре (глубиной в сотни и тысячи метров), они первыми заглядывают в подземные перископы, первыми узнают о строении и составе Земли, первыми рассматривают образцы поднятых из земных глубин пород и руд. Впрочем, ради только простого любопытства разумными людьми никогда ничего не делается. В любой работе должен быть смысл, конечный результат. Есть он и в бурении. Всегда. У геологоразведчиков — рудное тело либо благоприятная структура, у нефтяников — залежь нефти, у горняков — массовый взрыв в карьере, лаве, забое, у гидрогеологов — линза чистой (либо, наоборот, целебно-минерализованной) артезианской воды, у строителей — сведения о грунтах, на которых будет стоять сооружение.

Ну вот, волей-неволей сразу же пришлось заговорить о применении бурения, и надо, хотя бы бегло, ответить на вопрос —

Зачем нужно бурение

Где оно используется и применяется? Недаром мы начали с геологической эмблемы. Действительно, геология, а точнее *геологоразведка*, является самой мощной, самой развитой ветвью раскидистого бурового дерева (рис. 5). Собственно в геологии это дерево родилось, на геологической почве выросло, и сейчас бурение здесь является основой основ. С его помощью ведутся поиски и разведка всех месторождений полезных ископаемых, выполняется геологическая съемка для составления геологических карт, проводятся самые разнообразные (и в первую очередь геофизические) исследования земной коры. Так что в современной геологии буровик — первый человек.

Рис. 5. «Буровое дерево».

А у нефтяников? Здесь буровик — основной исполнитель и истинный хозяин. Без бурения вообще нет ни нефти, ни газа. Единственный простой и надежный способ извлечения этих бесценных полезных ископаемых — через буровую скважину. Других способов нет и вряд ли когда-нибудь будут... (Сразу оговоримся, — за очень редкими исключениями. Так, в районе Ухты нефть добывают не из скважин, а из шахт. Но там особый случай — тяжелая нефть, которая ни самотеком, ни под давлением не может подняться по скважине на поверхность.)

Формально и исторически нефтегазоразведка должна входить в общегеологическую ветвь, но фактически она давно уже превратилась в самостоятельную отрасль. Здесь свои особые методы и своя специфика, здесь самые глубокие скважины и самые мощные станки, здесь разведка и добыча неразрывно связаны между собой. И недаром у нас существуют три отдельных министерства: Министерство геологии (Мингео), ведающее поисками и разведкой в основном твердых полезных ископаемых, Министерство нефтяной промышленности (Миннефтепром) и Министерство газовой промышленности (Мингазпром); последние два занимаются только горючими жидкими и газообразными полезными ископаемыми и всем, что с ними связано. На буровом дереве эти две отрасли правильнее изображать примерно так, как на рис. 6.

Рис. 6. Ветвь «бурового дерева».

О геологии и геологоразведке нам предстоит говорить более подробно, поэтому давайте пока отвлечемся от них и посмотрим на другие ветви бурового дерева.

Вот, например, *строительная* ветвь. Любое крупное строительство, любое сооружение, будь то высотное здание, дамба, канал, тоннель, мост, гранитная набережная, аэропорт, железная дорога... (далее может следовать перечень на несколько страниц), начинается не с проекта. Нет. Оно начинается с исследовательского бурения, с буровых скважин, которые выясняют все инженерно-геологические условия в заданном районе: физические свойства грунтов и коренных горных пород, их крепость и устойчивость, баланс подземных вод, наличие каверн в породах и многое другое. Десятки, сотни скважин... Только они могут дать однозначный ответ на главный вопрос — быть сооружению или не быть, а если быть, то где именно и каким. По их результатам устанавливаются допустимые параметры сооружения. Лишь после этого можно приступать к проектированию. В противном случае любой самый грандиозный проект может оказаться радужным мыльным пузырем, а скажем, высотное здание может уподобиться падающей башне в итальянском городе Пиза.

Кстати, до сих пор эта башня (точнее, колокольня) продолжает «падать». Ежегодно она накреняется еще на 8 угловых минут, и уже возникла реальная угроза разрушения этого уникального памятника архитектуры (начало строительства ее относится к 1174 г.). По одному из проектов спасение башни будет осуществляться также с помощью бурения. Спустя восемь веков предполагается выполнить тот обязательный комплекс работ, который не был сделан перед началом строительства (как говорится, «лучше поздно, чем никогда»). Правда, сейчас перед бурением стоят уже не исследовательские, а аварийно-спасательные задачи. По проекту намечено пробурить систему дренажных скважин (рис. 7). После откачка воды понизится давление в порах подстилающего глинистого пласта. По расчетам колокольня хоть и не выровняется, но угол наклона стабилизируется.

Далее, прокладывание всевозможных трасс: автомобильных, железнодорожных, нефтеперегонных. Здесь тоже всегда и везде впереди идут буровики. Идут на мобильной самоходной технике: автомобилях, вездеходах, тракторах. Идут небольшими так называемыми «летучими» отрядами. Они намечают будущие трассы своеобразными и не совсем обычными вехами — вехами, направленными не только вверх, но и (что гораздо важнее) вниз (рис. 8). Они отыскивают профили надежности и прокладывают «дорогу»... строителям дорог. Кстати, буровики-дорожники на каждом отрезке отбуривают в заданном направлении не один, а два-три

различных профиля, а потом уже специалисты (при проектировании) выберут наилучший из них.

Аналогичные работы ведутся и при строительстве магистральных газопроводов; например, при прокладке газопровода Уренгой — Помары — Ужгород («Восток— Запад») протяженностью 4451 км. Стройка, которую называют «проектом века», на своем пути из Западной Сибири пересекает два горных хребта и 561 реку. На протяжении 121 км газопровод следует по вечной мерзлоте, более 1000 км — по болотам и топям. Чтобы достичь Западной Европы, он пересекает пять часовых поясов. Стройка велась в сложнейших условиях на огромной территории Тюменской области (размером с Испанию, Францию и Италию вместе взятые). С Уренгойского газового месторождения начинается трасса.

Рис. 7. Вариант «спасения» Пизанской башни.

Рис. 8. «Провешивание» скважинами железнодорожной трассы или шоссе.

Этот трансконтинентальный газопровод — только часть создаваемого комплекса: в СССР сооружается шесть ниток газопроводов протяженностью от трех до четырех тысяч километров. Темпы строительства газопроводов, а они самые высокие в мире, обеспечиваются самой современной технологией, уникальной техникой и... заблаговременной и тщательной инженерно-геологической подготовкой трассы, которая проходит по болотным топям, горным кручам, по дну рек (например, по дну Волги на глубине 16 м).

А строительство плотин — красивейших и ответственнейших из творений рук человеческих, строящихся на века, меняющих лик Земли — ее климат и географию. Сколько инженерных и технических знаний вкладывается в их сооружение! В то же время имеется и печальная статистика: за последние 50 лет в странах Западной Европы и Америки было прорвано более тысячи плотин. 3 декабря 1959 г. во Франции в результате прорыва одной такой плотины, подпиравшей водохранилище объемом более 50 млн. м³ воды, практически был уничтожен город Фрежюс.

В Советском Союзе не было ни одной подобной катастрофы с плотинами благодаря тому, что советские строители, прежде чем строить такие ответственные сооружения, проводят тщательные и в большом объеме инженерно-геологические изыскания с отбором из скважин образцов грунта и горных пород. Эти образцы

детально изучаются и подвергаются всесторонним нагрузочным испытаниям; межскважинное пространство исследуется радиоактивными, акустическими и другими методами.

Тоннели. Сложнейшие горно-технические сооружения. Наиболее известные из них: 20-километровый горный Симплонский тоннель между Швейцарией и Италией — самое длинное из существующих сооружений такого рода, проложенных на суше; тоннель Сейкан протяженностью 53,8 км — самый длинный в мире, он соединяет японские острова Хонсю и Хоккайдо, только подводная его часть (23,3 км) уже превосходит по длине Симплон.

Важность при строительстве тоннелей тщательной инженерно-геологической подготовки, базирующейся на данных бурения скважин, подтверждают следующие примеры.

Строительство тоннеля Сейкан было начато с проходки вспомогательной выработки, сечение которой составляло четверть главного. Вспомогательный тоннель помог сократить время сооружения главного. Строительство велось стандартным способом крепления штрека стальными арками (на их изготовление ушло 16 800 тонн металла) с последующим бетонированием стенок. Объем земляных работ составил 6,3 млн. м³, было израсходовано 1,5 млн. м³ бетона.

В процессе работ приходилось предугадывать геологическое строение толщ горных пород и степень их водопроницаемости, а также предупреждать обвалы. Единственным способом получения точных данных о лежащей впереди породе на участке морского дна являлось бурение горизонтальных опережающих проходку тоннеля скважин. Такие скважины требуют гораздо большего умения, чем вертикальные, поскольку под действием веса бурового снаряда ствол скважины искривляется и, если породы мягкие и неустойчивые, то стенки скважины могут обвалиться.

Когда была начата первая пробная выработка, удавалось пробуривать скважины длиной максимум 300 м. В дальнейшем этот показатель был увеличен до 2150 м. Такой результат представлял собой большое достижение, поскольку позволял заранее знать строение пород, которые строителям предстояло проходить через два (!) года.

Мягкие или трещиноватые породы надо было укреплять перед началом проходки тоннеля. Технология укрепления заключалась в цементации трещин. Для этого бурилось множество неглубоких скважин-отверстий, куда под большим давлением закачивался быстротвердеющий раствор, проникавший в трещины и пустоты. В результате получалась прочная бетонная оболочка, предохранявшая от обвалов во время проходки тоннеля. И все же невозможность в ряде случаев закачать достаточное количество вяжу-

щего раствора привела к четырем крупным обвалам.

Во время самого большого из них, происшедшего в 1976 г., вода поступала из геологического разлома в горных породах во вспомогательный тоннель со скоростью 70 м³ в минуту. Все, что смогли сделать строители, — это заблокировать аварийный участок тоннеля и ждать, пока ситуация стабилизируется сама. Такое решение оправдалось: инженерам помогло горное давление (между тоннелем и дном моря было 100 м породы), сжавшее стенки разлома и трещины, через которые проникала вода.

Если первоначально стройку тоннеля Сейкан предполагалось осуществить за 10 лет, то из-за различных геологических неожиданностей времени потребовалось вдвое больше, а стоимость тоннеля более чем утроилась. Этот крупнейший проект японские инженеры и рабочие завершили в апреле 1985 г.

Другой пример.

На трассе Байкало-Амурской магистрали строителям предстояло пробить на участке в районе Байкала подземные коридоры общей протяженностью около 30 км — тоннели Байкальский (6700 м), Северомуйский (15 300 м), Кодарский (1940 м), Нагорный (1200 м) и другие (5400 м). Сложность заключалась в том, что надо было пройти вечную мерзлоту, горячие и ледяные подземные реки, твердейшие граниты и предательские сыпучие разломы. Все это усугублялось повышенной сейсмичностью зоны; например, при землетрясении в 1957 г. Северомуйский хребет сместился на 1,5 м. В таких условиях тоннели не сооружались нигде в мире.

Полученный при разведочном бурении керн предупреждал: наряду с породами гранитной твердости в ряде мест будущего Северомуйского тоннеля встретятся породы перемятые, крошащиеся, есть зоны пльвунов, разломов, трещиноватых пород. Но все осложнения предусмотреть не удалось. В результате проходчики тоннеля неоднократно оказывались в труднейших ситуациях. Так, однажды в тоннельную выработку хлынул селевой поток — смесь воды с каменной массой, который все смел на своем пути, а 8-тонную породопогрузочную машину выбросил из тоннеля, точно щепку. Позднее выяснилось, что проходчики вышли под дно огромного подземного озера — 600 м в диаметре и 200 м в глубину. Это было, по мнению ученых, древнее русло реки Ангаракан, разорванной землетрясением миллион лет назад и запрятанной в гору.

В конечном счете тоннельщики укротили и этот разрыв, и другие осложнения (не раз они оказывались в неожиданно хлынувшем потоке горячей воды). В преодолении всех трудностей сложился коллектив, равного которому по уровню профессиона-

лизма отечественное тоннелестроение не знало.

Самым же длинным тоннелем в Европе (протяженность свыше 23 км) станет Архотский тоннель, который будет сооружен при строительстве Кавказской перевальной железной дороги от Орджоникидзе до Тбилиси. Трасса будущей дороги проходит среди угрюмых скал, головокружительных обрывов, бездонных ущелий. И поэтому второй уникальной особенностью этого тоннеля является то, что он пройдет на отметке 1400 м над уровнем моря.

По всей трассе дороги уже ведутся изыскательские работы, в которых участвуют топографы, проектировщики, сейсмологи, геофизики, геологи и, конечно, буровики. С помощью вертолетов подняты в горы, за облака, буровые установки. Работая в чрезвычайно сложных условиях, буровики прошли уже первые метры инженерных скважин. Получены ценные данные о геологической структуре горного массива, через который проляжет Архотский тоннель.

Архотский тоннель будет самым крупным, но далеко не единственным на трассе Кавказской перевальной дороги. Хотя от Тбилиси до Орджоникидзе всего 180 км, строительство будет нелегким — надо пробиться через Главный Кавказский хребет. Горные толщи прорежет еще 21 тоннель общей протяженностью почти 42 км. Кроме тоннелей буровикам и геологам предстоит разведать на трассе и подготовить основания под 72 железнодорожных моста и виадука с опорами высотой с 20-этажный дом, 26 автодорожных и железнодорожных путепроводов, три автодорожных моста, 26 противолавинных и противообвальных галерей, свыше 11 км подпорных стенок...

А чтобы обеспечить такой фронт работ, необходимо проложить автомобильные дороги, провести линии электропередачи, построить подстанции, карьеры стройматериалов, бетонные заводы, поселки для строителей, склады, гаражи. Все это предстоит соорудить в ущельях, в горах, где каждый метр бурильщикам, взрывникам, проходчикам придется брать с боем. И при этом надо будет не повредить неповторимую красоту высокогорной природы.

Сколько трудной, но интересной работы!

Непосредственно при строительстве зданий и сооружений бурение применяется не только в исследовательских целях. В некоторых случаях (например, в районах с заболоченными либо слабоустойчивыми почвами) специально оборудованные скважины заменяют фундаменты и являются основой всей конструкции. Особое значение такие скважины имеют на Крайнем Севере, за Полярным кругом. Раньше (еще два-три десятилетия назад) считалось, что крупное строительство на Севере практически невоз-

можно. «Вечная» мерзлота.[1] Летом в верхних слоях она оттаивает, образуя талики, зимой же вспучивается от мороза (как говорят, «взрывается»), и кирпичное здание может разрушиться подобно карточному домику. Поэтому испокон веков там строили только бревенчатые избы высотой в один-два этажа. Не больше. А сейчас?

Сейчас в Заполярье и Сибири продолжают расти вполне современные, европейского облика города, такие как Норильск, Талнах, Якутск, Тикси, Певек, Сургут. Высотные здания, бетон, стекло, алюминий. И все это исключительно благодаря бурению. На месте фундаментов заранее отбуривают скважины. Десятки, сотни скважин диаметром около полуметра каждая. Скважины заливают бетоном и оставляют года на два на проморозку. Потом на этих вмороженных в грунт сваях возводят дома.

В результате получаются «висячие» дома (рис. 9) без массивных оснований в соответствии без подвалов. Ветер, свободно обдувающий пространство между подошвой дома и поверхностью земли, не позволяет почве прогреваться и оттаивать, т. е. таликовые зоны здесь просто не возникают. В остальном же это обычные дома. Крепкие дома любых размеров, любой высоты. Они стоят и будут стоять десятилетия и века. Так что северные города сейчас — это города на скважинах, победивших вечную мерзлоту — это го «северного сфинкса», как называют ее ученые.

В таком городе, как Норильск, существует специальная организация под названием «Фундаментстрой». Она имеет на вооружении больше 40 тяжелых станков ударного бурения; 40 буровых бригад (по четыре смены в каждой) работают круглосуточно и круглогодично только на строительстве жилых и производственных зданий.

Рис. 9. Многоэтажные дома на скважинах — сваях.

Подобная технология успешно применена и при строительстве мостов на Байкало-Амурской магистрали. Как известно, трасса, проходящая в горных районах с многочисленными пересечениями рек, потребовала сооружения более 2500 мостов. Первые мосты, построенные по традиционной технологии, потребовали огромных затрат на сооружение фундаментов и опор. Кроме того, это вело к нарушению природной среды — оттаивали многолетнемерзлые грунты, изменялся режим поверхностных и грунтовых вод. Сроки строительства мостов значительно удлинялись.

Необходимо было создать принципиально новые конструкции опор, новую технологию их установки. И соответствующие технические решения были найдены. Наиболее существенными зве-

нями в опорах мостов стали фундаменты из железобетонных цилиндрических столбов-свай, заделываемых в скважины, заранее пробуренные в грунте с помощью высокопроизводительных станков. Все операции по установке и сборке опор механизированы. Улучшилось качество строительства, сведены до минимума нарушения окружающей среды.

А есть ли работа для буровика-строителя в городе, который стоит уже века? Ответ на этот вопрос мы нашли в московском репортаже журналиста Н. Коршуновой, озаглавленном «На чем город стоит».

В разных концах столицы работают буровые установки и изыскательские группы специалистов «Мосгоргеотреста». Геологические условия города необычайно сложны и разнообразны, но нет такого места, где бы не поработали геологи, буровики, гидрогеологи, геофизики. Они бурят скважины, зондируют почву, ведут исследования грунтов, ищут подземные воды, которые могут преподнести сюрпризы.

В результате стало известно, что в Люблино, Марьино, Нагатино имеются слабые грунты (торф, водонасыщенные пластичные глины), которые требуют специальных инженерных решений при закладке многоэтажных зданий. А в районе Дорогомилова, Кутузовского проспекта, Яузского бульвара, Замоскворечья залегают известняки — устойчивые, прочные породы, которые служат идеальным фундаментом. Но подземные воды точат и эту опору города, да и Москва-река иногда добирается до нее, вымывая пустоты — каверны и пещеры, которые могут дать о себе знать обрушением верхележащих слабых грунтов, возникновением провалов на поверхности. Редко, но бывает такое...

Несколько лет назад случилось ЧП, взволновавшее специалистов-геологов и градостроителей. На одной из улиц на глазах оторопевшего постового милиционера и изумленных прохожих начал медленно погружаться в землю, стоя как свеча, тополь, пока не скрылся весь в глубине недр.

Чтобы подобное не повторилось, бурят скважины, изучают несущую способность подстилающих грунтов и горных пород под фундаментами памятников истории и архитектуры, под зданиями, которые предстоит надстроить, передвинуть, реконструировать. Ни один жилой дом, заводской корпус, памятник, мост, ни одна гранитная набережная, эстакада, линия метро, теплотрасса, транспортная артерия не могут быть возведены или проложены без заключения геологов, основанного на результатах инженерного бурения.

Далее, *гидрогеология и подземное водоснабжение*. Ни для кого не секрет, что земная кора буквально насыщена подземными водами. Запасы грунтовых вод на площади в один квадратный километр измеряются сотнями тысяч кубических метров. На любой доступной нам глубине, в любых (даже самых засушливых) районах по крупным и мельчайшим трещинам в породах постоянно циркулирует вода. Вода различной степени минерализации, с различным напором. Кое-где она скапливается в огромных полостях-линзах... И даже небольшое нарушение подземного водного баланса может привести к очень тяжелым последствиям на земной поверхности. Именно поэтому вся территория нашей страны покрыта густой сетью наблюдательных гидрогеологических скважин. Особенно в крупных городах. Эта сеть постоянно развивается и совершенствуется.

Впрочем, дело не только в наблюдениях. Подземные воды — это и ценные полезные ископаемые, которые сейчас успешно добываются, так же как нефть, газ, минерализованные рассолы. И точно так же подсчитываются запасы этих вод в том или ином месте. Для этого отбуриваются новые и новые скважины, которые находят все новые источники.

Издавна известна удивительная целебная сила минеральной или, как ее еще называют в народе, «живой» воды. Курортов, славящихся своими минеральными водами, в нашей стране более шестидесяти. И все же побывать на них человеку удастся в лучшем случае лишь один раз в году, во время отпуска. А этого для лечения порой бывает недостаточно.

Между тем крупные бассейны минерализованной воды открыты в Сибири, на Урале, Дальнем Востоке, в Закарпатье, даже в заполярных широтах. Так, например, в Закарпатской области разведано 360 минеральных источников. И почти четыре пятых из них не уступают по исцеляющим свойствам знаменитым Нарзану, Ессентуки, Боржоми, Арзни. Отсюда встает задача перед специалистами — приблизить такие минеральные источники к потребителю, содействовать созданию в городах и селах бальнеологических лечебниц, заводских профилакториев и здравниц.

Так, несколько лет назад в трех километрах от Мончегорска геологи, бурившие скважины, обнаружили на глубине 400 м соленоватую на вкус воду. Пробы воды отправили для исследований в Центральный научно-исследовательский институт курортологии и физиотерапии. Специалисты определили: найденный источник — целебный. Сейчас воду из местного источника получают отдыхающие в санаториях-профилакториях комбината «Североникель».

А вот как это было в Москве. Слава бальнеологических курортов не давала ей покоя еще в прошлом веке. «Первые в России искусственные минеральные воды... открыты над Москвой-рекой, близ Крымского брода», — сообщается в книге, изданной в то время. А вот строки из письма П.А.Вяземского к А.С.Пушкину (17 июня 1831 г.): «Жуковский... говорят, очень болен. Убеди его куда-нибудь съездить, хоть в Москву к искусственным водам». Еще в одной старой книге, посвященной столице, читаем: «Долго ли продержится эта страсть к водопитию, но предсказываю, что воды наши год от года будут все славнее и славнее...»

Эти предсказания оказались прозорливыми. Москва сейчас — одна из известных бальнеологических здравниц, использующая не только искусственные, но в первую очередь природные целебные воды. Многие пробовали «Московскую минеральную воду», но не все знают, что «черпают» ее из Московского артезианского бассейна, занимающего территорию не только столицы, но и ряда примыкающих к ней областей. Площадь этого «подземного моря» 700 тыс. км², центр его — город Москва, улица Талалихина. Выводят эти воды из подземных источников на поверхность путем бурения скважин.

Так, в частности, поступили в Центральном институте курортологии и физиотерапии, на территории которого пробурили (всего в нескольких шагах от оживленного проспекта Калинина) две скважины. Из одной скважины, глубиной 350 м, лечебная вода поступает в специальную галерею, где ее пьют пациенты, Из другой, с глубины 1100 м, бьет также целебная вода, но не питьевая, а для наружного применения (слишком высока ее минерализация): из нее готовят лечебную иловую грязь, наполняют ванны, заливают в бассейн. Меняя минерализацию воды, медики могут имитировать условия Северного Кавказа, Черного моря, Прибалтики...

Воды этого полностью закрытого и избавленного от каких-либо загрязнений, т. е. в сущности законсервированного, резервуара могут не только лечить, но и отапливать или охлаждать помещения, давать ценные соли, не говоря уже о снабжении питьевой водой. Работы по изучению и освоению этого уникального моря продолжаются.

Продолжаются они не только в Московском бассейне. Во всех, даже самых глухих и отдаленных, уголках нашей страны отбуриваются гидрогеологические скважины. Скажем, в совхозах и колхозах они используются для снабжения животноводческих комплексов чистой и прохладной водой. В засушливых районах с помощью скважин получают напорные артезианские воды. А на прославленных курортах, таких как Боржоми, Ессентуки, для до-

бычи минеральной воды пройдены целые шахты. И не просто пройдены — обычным способом, а именно пробурены (!) мощными буровыми установками.

Еще сравнительно недавно запасы воды на Земле считались неограниченными. Но за последние 30–40 лет это представление изменилось коренным образом. Во всем мире значительно возрос расход воды промышленностью, сельским хозяйством и на коммунальные нужды. Из неисчерпаемого дара природы вода стала фактором, лимитирующим развитие не только отдельных стран, но и более обширных территорий земного шара. Вот почему столь велико внимание к изучению водных ресурсов.

Сколько же на Земле воды?

Согласно полученным данным[2] общие запасы воды на Земле составляют 1386 млн. км³. Из них пресных вод — всего около 2,5 %, включая труднодоступные для использования воды ледниковых покровов в Антарктиде и Арктике. В озерах содержится 0,25 % всей пресной воды, а в реках — лишь 0,006 %. Но зато 30 % пресных вод залегает в поверхностных слоях Земли (остальное — в более глубоких слоях и в ледниках). Это наибольшие запасы из наиболее доступной их части. Доступной — при умелом строительстве и оборудовании гидрогеологических водозаборных скважин.

В июне 1931 г. газета «Правда» писала: «Москва является крайне отсталым городом по сравнению со столицами Западной Европы и Америки как в отношении общего потребления воды, так и в отношении расхода воды на одного жителя. Если в Париже на одного жителя в сутки приходится 400, в Лондоне — 200, в Берлине — 200 литров, то Москва дает всего лишь 128 литров на человека. К водопроводной сети присоединено лишь 42 % всех домов».

Давно отошли в прошлое колонки, у которых вереницами стояли люди с ведрами. Ныне в Москве создана крупнейшая в мире система централизованного водоснабжения. На одного жителя приходится теперь более 600 литров воды.

С каждым годом все большее значение приобретает использование подземных вод как источника хозяйственного и технического водоснабжения городов, промышленных центров и сельскохозяйственных районов, а также в бальнеологических (лечебных) целях. В нашей стране с 1937 г. (со времени проведения в Москве XVII сессии Международного геологического конгресса) разведано более 2000 месторождений пресных вод и свыше 400 месторождений термальных, минеральных и промышленных вод. Водоснабжение городов страны обеспечивается преимущественно за счет подземных вод.

Но без буровых скважин подземной воды для нас как бы и нет. Без скважин она может только покоиться в своих резервуарах либо бессмысленно циркулировать по трещинам в породах. Без смысла, без толку, без пользы для нас.

Особую роль гидрогеологические исследования играют при разведке и добыче полезных ископаемых. Отработка любого месторождения невозможна без самых тщательных исследований. Сколько воды в данном месте, куда девать излишки, как их удалять из горных выработок? Все это не праздные вопросы, а целые проблемы, иногда практически трудноразрешимые. Так что при эксплуатации месторождений бурение также стоит на правом фланге. Впрочем здесь оно применяется не только для гидрогеологических целей.

При открытой разработке месторождений буровики проходят серии скважин или камер для массовых взрывов, для отваливания стенок карьеров. Кстати, аналогичные взрывные камеры нужны при строительстве плотин и дамб, при создании уступов на склонах гор и при других монументальных сооружениях. *Буровзрывное дело* — мощная и раскидистая ветвь бурового дерева.

При подземной добыче полезных ископаемых отбуриваются особые — инженерные — скважины для вентиляции выработок, отвода подземных вод, корректировки направления и для других целей. Так что в штреках, штольнях, квершлагах практически на всех рудниках и шахтах можно увидеть самые разнообразные буровые станки (рис. 10). Рама их обычно упирается в кровлю выработки, блок крепится в стенке, а рядом — бригада вездесущих и незаменимых бурильщиков.

Собственно, горняк или шахтер-проходчик, в тех случаях когда выработки идут по крепким, скальным породам, является не кем иным, как бурильщиком. В руках у него пневматический бурильный молоток — буровой станок в миниатюре. Снова разрушение горных пород, снова цилиндрические отверстия в них. Цель — проходка шпуров-камер для закладки взрывчатого вещества — патронированного аммонита либо детонита.

Где еще необходимо бурение? В районах активной вулканической деятельности, в частности на Камчатке, Курилах, Сахалине. Использование скважин идет здесь по трем основным направлениям.

Во-первых, прогнозирование землетрясений. Сеть наблюдательных скважин. Исследования, проведенные на Курильских островах, дали любопытные результаты. Оказалось, что за несколько суток до начала землетрясения уровень воды в наблюдательных скважинах неизменно падает (как будто земные недра делают глубокий «вдох»), а за несколько часов до первого толчка

уровень воды начинает быстро подниматься («выдох»). По интенсивности подъема можно определять силу предстоящих колебаний земли и своевременно предупреждать население городов и сел, расположенных в опасной близости от эпицентра. Метод прост, достаточно надежен и поэтому очень необходим.

Рис. 10. Бурение из подземных горных выработок.

Во-вторых, гидротермальная энергетика. Не следует забывать, что в недрах Земли таятся не только такие источники энергии, как нефть и газ, но и колоссальные энергетические ресурсы в виде горячих вод и пара. Пароводяная смесь, поступающая по скважинам, пробуренным в районе горячих источников, может служить для отопления жилых и производственных зданий, может обеспечивать работу довольно крупных термальных электростанций (ТЭС). Так, много лет горячей водой из скважин снабжается все коммунальное хозяйство Рейкьявика — столицы Исландии. У нас же, на юге Камчатки,[3] построена и около 20 лет действует первая в СССР Паужетская ГеоТЭС. Здесь вода и пар (с температурой около 200 °С) поступают по скважинам и приводят в движение турбины электростанции. Удобно и выгодно. Затраты необходимы только на бурение и на монтаж вспомогательного оборудования. «Топливо» бесплатное. Здесь же создан теплично-парниковый комбинат, круглый год обогреваемый горячим источником.

Велики запасы энергии недр в полосе Байкало-Амурской магистрали. Так, председатель комиссии по изучению подземных вод Сибири и Дальнего Востока при Сибирском отделении Академии наук профессор Е. Пиннекер в интервью корреспонденту газеты «Правда» сказал: «Стальная магистраль будто по заказу строится там, где можно извлечь глубинное тепло недр. По обе стороны дороги обнаружено около 100 месторождений».

Но эти месторождения залегают в разных по сложности геологических условиях, в ряде случаев ставящих перед бурением новые проблемы и трудности. Так, на многих участках вдоль трассы БАМ горячие моря скрыты под мощным панцирем вечной мерзлоты. В этом случае проблемой для бурения является проходка мерзлых горных пород, вскрытие которых скважиной приводит к их растеплению, оплыванию стенок скважины. Для бурения таких скважин нужно иметь специальное буровое оборудование и породоразрушающий инструмент, специальные незамерзающие промывочные жидкости, необходимо владеть специальной технологией проходки.

В других случаях, как, например, в Амуро-Зейской межгорной впадине, горячие воды залегают под 2 — 3-километровой толщиной осадочных и вулканических пород. Здесь появляются уже две другие проблемы для буровиков: бурение скважин глубиной более 2–3 км пока освоено еще не повсеместно, и бурение в среде агрессивных вод (а такими являются высокоминерализованные горячие воды) вызывает дополнительные трудности для работы бурового оборудования и инструмента, предъявляет дополнительные требования к технике безопасности для бурильщиков.

Мощные источники горячих вод с температурой до 75 °С обнаружены на северо-востоке Станового нагорья — на правом берегу Олёкмы. Значит, здесь есть и месторождения таких вод. Они перспективны, так как БАМ пройдет всего в 30 км отсюда. Горячие ключи бьют у берегов Байкала, в долинах Верхней Ангары, Бурей, Чары; богаты гидротермами межгорные впадины — Баргузинская, Куандинская, Кичерская, Муйская.

Но использование этого богатства пока еще далеко не отвечает возможностям и потребностям этих мест. Ученые подсчитали, что в полосе БАМ только от Байкальского хребта до долины Бурей из открытых источников выделяется за год столько же тепла, сколько его можно получить при сжигании 170 тыс. тонн угля. И когда удастся комплексно разведать и наладить комплексное освоение этих колоссальных геотермальных ресурсов, каков же будет народнохозяйственный эффект! Ради этого стоит потрудиться буровикам и гидрогеологам. Но надо стремиться именно к комплексности в данном вопросе, ибо термальные воды — это, как правило, крепкие рассолы или «жидкие руды».

Первые работы по освоению термальных вод в этих районах уже начаты. Институтом земной коры Сибирского отделения АН СССР выданы рекомендации по использованию подземных термальных вод для отопления поселков Дзелинда и Тансимо, расположенных на магистрали, а специалистами «Главбамстроя» подготовлен проект теплофикации. Итак, в районах БАМ первые шаги по освоению геотермальных ресурсов сделаны. Но сколько еще не открыто не менее экзотических в этом отношении районов.

А бывает и так... Итальянские бурильщики были весьма разочарованы, когда вместо ожидавшейся нефти из скважины, пробуренной ими близ города Феррара, забил фонтан обыкновенной горячей воды. Но в наши дни, когда в Италии цены за отопление кзартир резко подскочили, горячая вода из огромного подземного резервуара оказалась более чем кстати для населения этого города.

И наконец, в-третьих, бурение в зоне действующих вулканов, проникновение в очаги с температурой свыше 100 °С. Такое бурение пока что относится к числу очень дерзких проектов. Но технически оно вполне осуществимо, и буровые вышки на вулкане — это уже реальность. Предполагается из безопасного места пробурить наклонные скважины и провести комплекс необходимых исследований, в том числе для предсказания возможных извержений. Если же в одну из таких скважин закачать воду, то образующийся перегретый пар можно будет отводить через соседние скважины и использовать для технических нужд, в частности для обеспечения ГеоТЭС, подобных Паужетской.

Насколько мы убедились, буровики необходимы повсюду: в городах и поселках, в тайге и тундре, в экзотических районах действующих вулканов. Где еще может оказаться бурильщик? В Арктике и Антарктике? Конечно. Гляциологические исследования. Бурение под водой подошв айсбергов, ледовое бурение в районе Северного полюса и во льдах Антарктиды.

Где еще есть бурение? На воде? Разумеется. *Морское бурение* — буровые станки на судах, на сваях, погружные и полупогружные установки. Толща воды достигает нескольких сотен метров и даже несколько километров, а под ней буровой инструмент углубляется в породы дна еще на 1000 м и более. Кстати, морские буровые установки относятся к числу самых крупных искусственных сооружений, созданных когда-либо человечеством (за всю его историю). Стационарные конструкции, даже для средних глубин, по размерам в два-три раза превосходят самые грандиозные здания и сооружения на поверхности.

А космические исследования? Первые астронавты на Луне — члены экспедиций «Аполлон-11, -12, -14» — были по совместительству и космическими буровиками. В экспедиции «Аполлон-12» из трех часов, проведенных на Луне, астронавты занимались бурением 35–40 минут (четверть лунной жизни!) и отобрали пробы грунта с глубины 70 см. А наши космические установки «Луна-16, -20 и -24»? Это уже не просто космические корабли, а буровые станки с ракетными двигателями. Здесь буровая техника опережает на планете даже людей. Полная автоматика, безотказность в работе и заслуженный успех.

Более подробно о бурении во льдах, о морском и космическом бурении как о перспективах развития профессии бурильщика мы поговорим отдельно, а сейчас ответим на вопросы —

Кто и что делает в бурении

Вы обратили внимание? Во всех перечисленных случаях буровики идут в первых рядах. Отбуривают ли они для геологов поисковые и разведочные скважины, исследуют ли для инженеров-строителей грунты под здания, прокладывают ли наземные трассы или создают подземные галереи метро — они всегда в авангарде. Первопроходец — существенная, но не главная особенность в профессии бурильщика. Не менее важны и интересны вторая и третья особенности: широта рабочего диапазона и неограниченные возможности для перемещений. Не ясно? Сейчас поясним.

Буровик — всегда специалист весьма широкого профиля. Эта профессия не имеет узкой специализации. Во-первых, буровой мастер может работать на самых разнообразных станках — от ручного мотобура до стационарного гиганта. Достаточно лишь стажировки для приобретения навыков. А во-вторых, опытный буровик одновременно является и шофером, трактористом, токарем, сварщиком, плотником, электриком, монтажником-верхолазом... Короче, хороший буровик — всегда мастер на все руки. Разумеется, все свои многочисленные умения он приобретает не на подготовительных курсах. Отнюдь нет. Такое и невозможно.

В процессе работы, сталкиваясь с теми или иными проблемами, постепенно буровик поневоле овладевает смежными профессиями. Скажем, работает он на самоходной буровой установке, смонтированной на автомобиле либо на тракторе. Месяц, два, три. И постепенно рулевое колесо машины либо рычаги трактора становятся инструментами его второй профессии. Получить после этого права шофера либо тракториста не составит никаких проблем.

Или, допустим, приезжает на буровую электросварщик. Естественно, ему нужно помочь, показать, где и что варить. Раз, другой, третий... И через какое-то время буровик осваивает электро-сварку не хуже классного специалиста. Еще, к примеру, выбило на буровой электропредохранители, где-то замыкание. Поначалу вызывается электрик. Но буровик, разумеется, не сидит в сторонке, а активно помогает, одновременно вникает в схему, начинает разбираться сам. Со временем ему и электрик не нужен. Зачем? Ждать его долго, скучно да и невыгодно. Проще сдать квалификационный экзамен и делать это самому. Ну и так далее.

Попросите опытного бурильщика показать вам все его допуски и права, и он достанет целую пачку удостоверений. Так что опытный буровик в любой момент, при желании, может с легкостью сменить профессию — перейти на завод, в совхоз, в механический

цех, на стройку... Однако у настоящего буровика такого желания никогда не возникает. Ему нравится эта сложная, но очень разнообразная, задающая каждый раз новые задачи, а потому интересная работа.

И наконец, возможности для разнообразных перемещений, если есть «охота к перемене мест». Человек любой другой профессии привязан к своему рабочему месту: к кабинету, цеху, а значит — к одному поселку, городу. Врач — к больнице, учитель — к школе, токарь — к заводу, механик — к мастерской. За десять-двадцать лет жизни они могут два-три, ну четыре раза сменить место работы, переехать в другой город или поселок. И даже шофер, тракторист, водитель вездехода и другие представители наиболее подвижных и неугомонных профессий не имеют тех возможностей, которые есть у буровика.

Буровик за свою жизнь может побывать в хребтах Тянь-Шаня и в тундре Ямала, на Чукотке и в древней Бухаре, на Кавказе и в странах Африки, может оказаться в Арктике и Антарктиде. А если он достаточно молод, его вполне может занести (вернее, вознести) на Марс или другую планету. Конечно, все эти места доступны людям и других профессий, например, тому же шоферу-вездеходчику либо авиатору. Да, но многие ли из них могут оказаться в подземных выработках либо на плавучей установке, в открытом океане? А буровик может. И везде он будет нужным и желанным человеком.

А теперь вернемся к вопросу — что есть бурение? Каким способом оно осуществляется? Допустим, вам потребовалось сквозное отверстие в куске твердого камня, например гранита. Как и чем его сделать?

Ну, во-первых, можно взять зубило, молоток и начать долбить. Долбить и долбить в одном и том же месте, при каждом ударе чуть-чуть поворачивая зубило вокруг оси. Времени и усилий на эту операцию потребуется много, но отверстие в конце концов все-таки получится. Как говорится, «терпение и труд...»

А можно пойти другим путем — взять крепкий штырь (типа пробойника для бетонных стен), закрепить его в ручной дрели, надавить на дрель как можно сильнее (лучше всего — навалиться грудью) и начать вращать. Крутить и крутить. Снова «терпение и труд», и камень (через сколько-то там часов) будет просверлен. Главное, чтобы наконечник штыря был с твердыми сплавами. Иначе ничего не получится — любая, самая твердая сталь мягче гранита, она будет просто скользить и заполировываться.

Есть и третий способ. Для нашего случая, пожалуй, наиболее простой и производительный; к тому же, как и предыдущий, он хотя бы частично механизирован. Этот способ тоже вращатель-

ный. Надо взять полую трубку, закрепить ее в головке той же дрели, потом насыпать на камень немного абразивного порошка и опять-таки начать вращать трубку. Крутить и крутить, постоянно подсыпая порошок под торец трубки и смачивая этот порошок небольшим количеством воды. Постепенно в камне начнет появляться кольцевой пропил, а внутри трубки — цилиндрический столбик породы, который носит официальное название «кern» (от немецкого слова Kern — ядро, сердцевина). У нас в России этот столбик породы в трубке раньше называли колонком, отсюда и способ бурения с керном называется колонковым.

Вот вам наглядная иллюстрация к вопросу о принципах бурения. Правда, ударное бурение осуществляется не зубилом, не молотком и даже не кувалдой, а цельнометаллическим снарядом массой в несколько тонн, имеющим массивное долото в качестве наконечника. Такой «снарядик» дробит породу собственным весом как свободно падающее тело. При вращательном бурении вместо дрели применяются мощные, мощнейшие станки, которые не только вращают бурильные трубы, но и передают на них огромную нагрузку. И «штыри» или трубки здесь имеют длину в сотни, тысячи метров. Да и в качестве истирающего материала применяется не абразивный порошок, а специальные буровые коронки, оснащенные твердыми сплавами либо (что гораздо более эффективно) природными или синтетическими алмазами — самым твердым материалом на Земле. А так... основные принципы ударного и вращательного бурения остаются теми же самыми, как и при долблении или при сверлении куска камня.

Теперь заглянем в глубь веков —

Когда начали бурить

Истоки бурения надо искать в практически непросматриваемом прошлом — где-то в позднем палеолите. Именно тогда первобытный человек освоил процесс ударной обработки камня, получил первые отверстия в нем и изготовил себе молоток и топор, благодаря чему начал по-настоящему превращаться в Человека — в творца и изобретателя.

Далее, эпоха неолита. Новая ступень в истории развития. Что характерно для неолита? Орудия из шлифованного камня, глиняная посуда, приручение животных, начало земледелия. Именно в эту эпоху и освоен совершенно новый технический прием — сверление камня. Сверление относится к числу величайших открытий человечества, по значимости его вполне можно приравнять к укрощению огня либо к изобретению колеса. Сверление совершило революционный переворот в технике и вознесло человека на более высокий уровень. Благодаря сверлению появился способ изготовления качественно новых орудий — составных вместо простых.

Кстати, как ни странно это звучит сейчас, предпосылками к появлению сверления стали не только практические нужды, не только потребность в новых, более совершенных инструментах и орудиях, но также и эстетические запросы. Первые инструменты для сверления были сделаны скорее всего по заказу и по настоянию женщин, а первые сквозные отверстия просверлены в бусах, серьгах, пуговицах и в других чисто женских украшениях.

Мы не будем сейчас подробно останавливаться на способах сверления у древних. Для этого есть специальная, прежде всего археологическая литература. Отметим только, что этих способов было множество, все они постепенно усложнялись и совершенствовались. Некоторые из них до сих пор вызывают удивление, более того, восхищение. Простота, надежность, оригинальность конструкций поистине гениальны, и некоторые принципы их успешно применяются и в настоящее время.

Какая же связь между сверлением и бурением? Самая прямая. Способ воздействия на породу при бурении и сверлении один и тот же — вращение под нагрузкой, круговое измельчение материала и получение цилиндрического отверстия. Кстати, во многих языках оба процесса: и бурение, и сверление — имеют единый термин: например, *drilling* — в английском, *bohren* — в немецком. Но в столь богатом языке, как русский, эти понятия разделены. Сверление относится к металлообработке, а бурение — к горному делу.

Правда, современный русский термин «бурение» произошел именно от немецкого слова «*borhen*» — борование — бурование — бурение. Появился он еще в петровские времена, в период привлечения в Россию иноземных, прежде всего немецких, специалистов. А до начала XVIII века буровики назывались трубными мастерами, скважины — трубами, и вообще тогда существовало не бурение, а трубное дело.

Но вернемся к истокам. Исторический путь от отверстия в камне до скважины в толще горных пород измеряется десятками веков. И если ручной бур для сверления был изобретен в конце IV тысячелетия до нашей эры (а появился он одновременно в различных местах Евразии, в том числе в Северо-Восточной Сибири и в Северном Китае), то бурение первых скважин относится к более позднему времени.

История бурения и технических достижений в этой области насчитывает как минимум 3500 лет. А отдельные сведения говорят о том, что египтяне бурили «колонковые скважины» еще за 3000 лет до н. э. Более 2000 лет назад египтяне и китайцы уже бурили многочисленные «глубокие» скважины: так, древняя скважина в Каире, известная под названием «скважина Иосифа», имеет глубину около 88 м. К сожалению, дата ее сооружения неизвестна.

Китайцы бурили колодцы в тех местах, где имелись минерализованные воды и рассолы, примерно за 1000 лет до н. э. Древний китайский философ Конфуций (VI–V Бек до н. э.) упоминает в своих трудах о «минерализованных колодцах», имеющих в глубину несколько сотен футов.[4] Через некоторые скважины того времени китайцы получали также природный газ и нефть. Около 450 г. до н. э. греческий историк Геродот писал о скважинах, дававших асфальт, соль, нефть. Вот эти две записи и можно считать самыми ранними сообщениями в письменной форме о работе буровиков. Естественно, что более подробные исторические материалы не дошли до наших дней, ибо первые буровики не имели всеобъемлющих буровых журналов, в которых фиксируется «производственная жизнь» современных специалистов по бурению.

В 1200 г. в Китае зафиксирован «первый мировой рекорд» — глубина одной из скважин достигла 450 м. Бурили китайцы с помощью пружинящей штанги ручного станка для ударного бурения. Скорость бурения не превышала 0,6–1,2 м в сутки. На бурильные трубы, буровую вышку, балансир и другие устройства шел бамбук. «Мощность» обеспечивалась трудом волов. И хотя в таком первозданном виде станок резко отличался от современных станков ударного бурения, тем не менее результаты можно считать неплохими, а рекорды глубины держались довольно дол-

го.

Как у первобытного человека сначала появилось долбление (и только потом сверление), так и в бурении первым был освоен ударный, а точнее ударно-канатный способ. Инструмент для разрушения породы (снаряд) подвешивался на канате и с ударами углублялся в породу. Удары осуществлялись благодаря упругому качанию балансира. Попросту говоря, брали длинное гибкое бревно, один конец его укрепляли в земле, а другой конец раскачивали буровики (рис. 11).

Рис. 11. Так бурили в древности.

Есть сведения, что первые скважины в Европе были пройдены в Древнем Риме. В те времена для исследования грунтов при строительстве дворцов и других сооружений применялся ложковый бур, мало чем отличавшийся от современного. Однако после распада Римской империи технология бурения была нацело забыта.

По-настоящему бурение в Европе появилось лишь в средние века, и на первых порах оно осуществлялось именно китайским способом, т. е. европейцы не создали своей оригинальной технологии, они лишь модернизировали и усовершенствовали китайские методы. Сведения о них скорее всего были получены через знаменитого итальянского путешественника Марко Поло (в конце XIII века).

Для добычи нефти первые скважины в Европе были пройдены во Франции в 1498 г., а первая эксплуатационная скважина на нефть (в современном значении) была пробурена здесь в 1745 г. Записей о глубине эксплуатационного горизонта не сохранилось. Скважины на воду и нефть бурились оборудованием, аналогичным по своей конструкции модели Леонардо да Винчи, основанной на методе пружинящей штанги. Все буровые устройства типа пружинящей штанги можно считать предвестниками станков ударно-канатного бурения.

К 1794 г. наибольшая глубина скважин в Европе составляла 30 м. К 1850 г. эксплуатационные скважины глубиной 90—100 м уже являлись рядовыми. Для крепления стенок скважины от обрушения использовались пустотелые стволы тутовой смоковницы. Ударное бурение с использованием «лошадиных сил» относится к 1550 г., а применение пара для этих целей — к 1842 г.

В Америке применение пара как движущей силы при бурении отмечено позднее — в 1858 г. Это предложил геолог капитан Джон Поуэлл (впоследствии, в период Гражданской войны, — генерал)

при осуществлении проекта бурения артезианских колодцев. Оборудование по этому проекту было представлено деревянными (дубовыми) бурильными трубами, железными шнеками и долотами-скребками. Паровой двигатель применялся для спуска и подъема тяжелых обсадных труб, которые опускались в скважину, чтобы предупредить обрушение верхних горизонтов горных пород. Наибольшая достигнутая глубина скважин не превысила 315 м.

А есть ли история у бурения в нашей стране?

Издавна были известны на Русской земле «рудознатцы» и «рудосыщики», мастера «трубного дела», занимавшиеся поисками полезных ископаемых. Но история, к сожалению, сохранила нам имена лишь немногих из них. Среди них и боярин Василий Болотин, и сотник Лев Нарышкин, и крестьянин Дмитрий Тумашев, и даже московский поп Дементий Федоров. О других документы упоминают еще проще: «татарин с Ницы-реки» или «невьянской волости крестьяне».

В XI–XIII веках в России зародилась своя, отличная от китайской, технология бурения. Первые скважины были пройдены в Усолье и Соли-Камской в западном Приуралье, а также в Поволжье — в районе Балахны. Цель — получение соляных рассолов.

История бурения скважин в нашей стране хранит и другие интереснейшие факты. Так, в музее города Тотьма (на Сухоне) представлены горные породы, извлеченные с глубины 200–250 м еще в XVII веке. Здесь же хранятся деревянные трубы, которые опускались в скважину для закрепления ее стенок и предупреждения их обваливания. Эти трубы (в бурении они называются обсадными, так как их опускают — сажают, обсаживают — в скважину) выдолблены из целого ствола дерева и обернуты просмоленным холстом; наружный диаметр труб — около 70 см, внутренний — около 50 см. Можно предположить, каков же был диаметр скважин, пробуренных для добычи из-под земли соляных растворов, рассолов, из которых затем выпаривали (или, как тогда говорилось, вываривали) Драгоценную по тому времени поваренную соль.

На Урале было найдено и первое в нашей стране руководство по бурению скважин. «Учебник» XVII века по технике и технологии бурения назван «Роспись, как начать делать новую трубу на новом месте, писанная Сенькиной рукой». В составленном талантливом мастером-бурильщиком руководстве подробно описано, «как ходить в жерло буравом», как крепить скважину, как предупреждать и ликвидировать возможные аварии, что является одним из сложнейших видов работ при бурении. В России

возникла и своя самобытная техническая терминология. Позднее по архивным данным был составлен даже словарь старорусских технических терминов по бурению, насчитывающий 128 наименований.

Глубина наших первых скважин не превышала 100 м, а диаметр их достигал 1 м. По размерам это были скорее не скважины, а шахты или глубокие шурфы. Проходка подобных выработок даже при современной технике — дело далеко не простое. Бурение выполнялось тем же ударным способом, но качание снаряда осуществлялось не упругим балансиrom, а с помощью поперечной балки длиной до 20 м, действующей по принципу старорусского колодезного, «журавля» (рис. 12).

На одном конце коромысла «журавля» укреплялся контргруз, к другому подвешивался ударный инструмент. Ручной ворот особой конструкции с вертикальным расположением оси сообщал всей системе колебательные движения. Соляной раствор поднимался по деревянным трубам, которыми были обсажены стенки скважины на всю глубину. Высота конструкции достигала 18 м. И вообще, масштабы сооружения по тем временам были более чем значительными, в определенном смысле даже монументальными. Для сравнения можно отметить, что высота средней по размерам современной буровой вышки, применяемой при разведке твердых полезных ископаемых, не больше 12–14 м.

Ударный способ бурения на первых порах был настолько прост и эффективен, что о проходке скважин с вращением снаряда даже не задумывались. Особой потребности в таком способе не было. Первые вращательные устройства для проходки колодцев появились в Италии в середине XV века, а чуть позднее, в 1517 г., гениальным Леонардо да Винчи была изобретена первая буровая установка с треногой (рис. 13). В торце бурового снаряда находился наконечник в виде змеевика (аналогичный наконечник в модернизированном виде применяется и в настоящее время; сейчас он называется шнеком). Вращение снаряда выполнялось вручную с помощью рукоятки-крестовины, перемещаемой вверх по штанге по мере углубки скважины.

Рис. 12. Русский «буровой журавль» для ударного бурения.

Вращательным методом во Франции и Италии бурились многие скважины на воду, и к середине XIX века во Франции уже была возможность бурить на глубину до 550–570 м с помощью ручных приводов. В 1845 г. Робертом Беартом запатентован первый роторный станок с промывкой, опробованный также во Франции. К середине XIX века по технологии бурения Европа

опережала Америку, но все модели буровых станков работали еще в основном на мускульном усилии человека.

Все это относится к бурению скважин в мягких породах, где их разрушение на забое не является главной трудностью. Гораздо больше проблем для бурения в таких породах возникает при операции крепления стенок и при подъеме — опускании бурового снаряда в скважину.

Но как же быть, если необходимо пробурить граниты, кварциты, диабазы и другие твердые и очень твердые породы? Использовать для бурения таких пород алмазы — самые твердые из известных на Земле веществ — предложил в 1862 г. швейцарец Георг Лешо. Его сын Рудольф вместе с механиком Пиге усовершенствовали предложенный метод, создав специальный станок для бурения и способ закрепления алмазов в буровом инструменте. Алмазное бурение было с успехом применено при проходке железнодорожных тоннелей в Швейцарских Альпах и при бурении шпуров на мраморных карьерах.

Рис. 13. Буровой станок Леонардо да Винчи для вращательного бурения.

Буровой станок Лешо — Пиге представлял собой трубу, на конце которой закреплялись кристаллы технических алмазов. Труба соединялась с металлической пустотелой штангой, вращаемой паровой машиной через систему передач. С помощью массивного чугунного груза на штангу передавалась необходимая осевая нагрузка. Очистка забоя скважины от разрушенной породы осуществлялась струей воды, нагнетаемой насосом в скважину через полую штангу. Этот принцип лег в основу всех последующих (и современных) конструкций станков вращательного бурения.

Так в горной практике началась эра алмазного бурения — одного из эффективнейших современных способов разрушения горных пород при бурении скважин, и все последующие (до наших дней) наиболее существенные изобретения и технические усовершенствования в области бурения на твердые полезные ископаемые были связаны с этим способом.

У нас в России вращательное бурение по-настоящему было впервые применено в 30-х годах прошлого века при поисках нефти на Кубани. Именно при поисках, поскольку добыча нефти в то время осуществлялась из колодцев, пройденных ручным способом. Добывать нефть через скважины из-за отсутствия насосов, надежных труб и другого оборудования было тогда практически невозможно. Поэтому для начала отбуривали скважину, а уж потом — при появлении признаков нефти — на месте скважины

рыли колодец.

В 1869 г. из бурившейся на Апшеронском полуострове скважины вырвался могучий фонтан газа. Вместе с газом начал вылетать песок с обломками камней. Фонтанирование сопровождалось невероятным шумом, даже ревом. По всей вероятности, скважина вошла в залежь с огромным пластовым давлением. Столь простое и логичное объяснение мы можем дать сейчас, вооруженные современными знаниями и имеющие опыт, полученный на сотнях фонтанирующих скважин. А тогда, во время первого взрыва, подобное явление могло вызвать только ужас, и естественно, что оно было списано на нечистую силу, — дескать, скважина достигла преисподней. Бурение и на Апшероне, и в других местах было полностью прекращено, и нефтяники вернулись к лопате и к рытью колодцев.

Первая в России скважина на нефть, пройденная вращательным способом, была закончена лишь в 1911 г.

Насколько мы убедились, буровое дело в течение столетий никак не могло выйти из младенческого возраста. Деревянные конструкции, ручное вращение. Добыча соляных рассолов, примитивное водоснабжение, робкое нащупывание нефтяных залежей. И ничего более.

Все это естественно, все объяснимо: необходимые руды и другие полезные ископаемые находятся на поверхности; нефть и газ используются только для освещения; воды, чистой, незагрязненной воды, с избытком хватает в реках и озерах... Потребности в земных недрах, а следовательно, в буровых скважинах — нет. Нет потребности — и инженерная мысль стоит на месте. Как и в ряде других отраслей промышленно-хозяйственной деятельности человека, застой в бурении продолжался до конца XIX века. Неторопливость, устоявшиеся традиции, почти полное отсутствие прогресса в технологии. Далее, одновременно с бурным развитием техники, столь же бурно начинает развиваться и бурение. Рубеж — начало XX века.

Появились двигатели внутреннего сгорания — сразу же потребовалась нефть, много нефти (кстати, именно нефть на первых порах и двинула вперед инженерную мысль, столкнула ее с мертвой точки); появились самолеты — потребовались легкие сверхпрочные сплавы редких металлов, отыскать которые можно лишь на глубине; получила широкое распространение электроэнергия — потребовались крупные залежи каменного угля. Ну и так далее. Во всех случаях без бурения не обойтись, а раз так, то скорее под землю. Как можно быстрее, глубже, производительнее. Буровикам волей-неволей пришлось выходить в авангард, и бу-

рение из самых отсталых отраслей превратилось в одну из самых передовых.

К примеру, в нашей стране только за годы Советской власти бурение прошло путь от примитивных станков с рычажной подачей до полностью автоматизированных космических станций. Это уже не просто продвижение, а скорее рывок — скачкообразный переход в новое качество.

А как родились профессия и специальность буровика?

С развитием мощи Российского государства росла и потребность в разведке земных богатств. Специалистов-рудознатцев стали готовить в специальных горнозаводских школах; первая из них открылась на Урале в 1721 г. «Геологи» того времени были специалистами, как говорится, «широкого профиля». Они знали и собственно геологию, и методику и технику разведки, и добычу полезных ископаемых, и выплавку металла из руды, то есть все, что входило в понятие и круг знаний «горного дела», «горного искусства». С современной точки зрения не так уж широк был этот круг: техника была примитивной, а сведения о Земле и слагающих ее горных породах-ограниченными. Познать и изучить все это было под силу одному человеку.

Но с расширением знаний о Земле и бурным развитием техники быть «широким специалистом» становилось все труднее и труднее. Вначале геология, как единственная наука о Земле, отпочковалась от горного дела; затем стали намечаться ее главные разделы, которые постепенно становились самостоятельными науками. В нашей стране этим разделением мы обязаны великому ученому М. В. Ломоносову, в геологических воззрениях которого заложены основы таких специализированных в настоящее время ветвей науки, как геохимия, геофизика, палеонтология, учение о полезных ископаемых.

Во второй половине XIX века в России наметилось дальнейшее разделение в работе геологов. Родилась профессия геолога-съемщика. Вслед за геологами-съемщиками, т. е. специалистами по составлению геологических карт, идут отряды геологов-поисковиков, задачей которых является нахождение различных видов минерального сырья. За поисковиками выезжают в поле геологи-разведчики, завершающие разведку месторождений и передающие разведанное и подсчитанное полезное ископаемое горнякам.

XX век принес дальнейшее усложнение работы геологов и, следовательно, дальнейшую специализацию и разделение профессий. Век научно-технической революции дал геологам сложнейшую технику: самолеты, вертолеты, самоходные и передвижные механизированные высокоскоростные буровые установки, автомобили повышенной проходимости, тракторы, канавокопатели,

горные машины и т. п.

Так выделились технические профессии геолога — инженера по технике и технологии бурения и рабочего-буровика (бурильщика).

Буровики стали первыми помощниками и постоянными спутниками геологов-разведчиков. Как мы показали, не сразу далось им их мастерство. Опыт покорителей недр вырабатывался многими поколениями.

Рис. 14. Современная буровая установка типа УКБ-500/800.

Сейчас у нас созданы всевозможные типы буровых станков разнообразного назначения. Простое перечисление их с самой краткой технической характеристикой займет солидный том. Есть ручные мотобуры, приводимые в действие миниатюрным двигателем от бензопилы «Дружба» и переносимые с точки на точку одним человеком. Есть и гиганты, доставляемые железнодорожными составами; только на монтаж их требуются недели напряженной работы. Есть промежуточные типы, такие как УКБ-200/300, УКБ-300/500, УКБ-500/800 (рис. 14), УКБ-1200/2000, УКБ-2000/3000.[5] Цифры в этих марках указывают на максимальные глубины бурения станком данного типа в разных условиях. В зависимости от целей и задач, которые вы ставите перед скважиной, выбирайте себе подходящий тип станка, доставайте оборудование и бурите. Возможности для этого сейчас практически не ограниченные.

Необходимо только учитывать, что скважина глубиной 3000–3500 м — это уже небольшой завод с многочисленными цехами и службами, а скажем, сверхглубокая скважина СГ-3, которая отбуривается сейчас на Кольском полуострове, это уже целый комбинат. Лишь на геофизические исследования в этой скважине, в том числе и на измерения ее направления, уходят недели непрерывной работы огромного коллектива.

Надо сказать, что глубинные слои земных недр покоряются с невероятным сопротивлением, возрастающим с каждым новым метром глубины. При современном уровне развития техники глубина 18 км является своеобразным рубежом, преодолеть который пока что трудно даже теоретически.

Рис. 15. Наиболее глубокие буровые скважины.

Для наглядности можно привести перечень рекордов в покорении глубин (рис. 15). Семитысячный рубеж был пройден лишь в

1958 г. скважиной Университи ЕЕ-1 (США) — глубина 7782 м. Рекорд держался 12 лет и был побит в 1970 г. скважиной 1-СЛ-5407 в штате Луизиана — 7803 м. Далее, в 1972 г. в штате Техас была достигнута глубина 8687 м, а в следующем году пробурена скважина 1-Бейден в штате Оклахома — 9159 м. Еще через год — в 1974 г. там же достигнута глубина 9583 м (скважина «Берта Роджерс»).

В семействе сверхглубоких скважин «Берта Роджерс», первой перешагнувшая 9,5-километровый рубеж, была разведочная, а не исследовательская. Для ее проходки специалисты использовали мощную буровую установку грузоподъемностью 1000 тонн... высвободившуюся после строительства пусковых ракетных шахт. Практически не ограниченный запас мощности позволял буровикам-проходчикам штурмовать недра классическим буровым методом: вращать 9-километровую колонну стальных труб сверхмощным ротором, находящимся на земной поверхности, и вырывать эту колонну из недр, используя исполинскую силу лебедок. Но даже такое — сверхмощное, сверхтяжелое и сверхпрочное — буровое оборудование не смогло противостоять повышенному пластовому давлению. На глубине 9583 м недра вытолкнули буровой инструмент с забоя — бурение пришлось прекратить из-за прорыва расплавленной серы из потревоженных пластов.

Этот результат долго держался как рекордный, а по мнению скептиков (которые всегда есть), он являлся еще и аргументом в пользу ненужности самой идеи сверхглубокого бурения.

В нашей стране сейчас бурятся две сверхглубокие скважины: уже упоминавшаяся СГ-3 на Кольском полуострове (заложена в 1970 г.) и Саатлинская в Азербайджане (заложена в 1977 г.). Кольская скважина 6 июня 1979 г. побила рекорд глубины бурения и зачеркнула «аргумент» скептиков. Но зафиксировать новый рекорд невозможно, поскольку работы здесь продолжаются и каждый день (неделя или месяц) приносит очередной новый рекорд, на сантиметры, на метры превышающий достижения предыдущего дня. Проектная глубина Кольской скважины — 15 км, Саатлинской — 11 км. Цифры в настоящее время поистине фантастические; такую глубину по самым смелым прогнозам предполагалось достигнуть лишь в начале XXI века. А сейчас — в 80-х годах нашего века —

Насколько заглянули внутрь Земли

«Бросок к недрам», «Штурм геокосмоса», «Старт в глубь Земли», «В глубь за тайнами», «К глубинам планеты» и даже «Окно в преисподнюю» — в этих необычных, звонких журналистских названиях статей своеобразно отразилось и продолжает отражаться удивление грандиозностью программы сверхглубокого бурения. Стало уже привычным высказывание видного советского геолога В. В. Белоусова о том, что создалось положение, когда мир звезд и галактик — далекое космическое пространство оказалось известным нам в некоторых отношениях лучше, чем глубины нашей собственной планеты. Такое положение не могло не ускорить практическое созревание идеи сверхглубокого бурения. Эпоха сверхглубокого бурения началась с конца 50-х годов (именно тогда появилась техническая возможность пробиться к большим глубинам), когда советские ученые начали разрабатывать программу такого бурения.

В 1961 г. начал реализовываться американский проект «Мохол» — бурение на мантию Земли. Скважину заложили на дне Тихого океана около острова Гуадалупе под 4-километровой толщей воды. Ожидалось, что буровой снаряд, пройдя тонкий слой рыхлых донных осадков, погрузится в 5,5-километровую толщу твердых пород, преодолет их — и в руках исследователей окажется таинственное и долгожданное вещество мантии. Однако... все сложилось не так, как было задумано в проекте. Пробурив 36 метров и подняв снаряд с породой-керном на борт судна, специалисты-буровики затем не смогли снова попасть бурильной колонной в скважину на дне океана; устье скважины потеряли навсегда.

Но не потеряли надежду. Предельно отработав и отшлифовав технику и технологию нефтеразведочного бурения на шельфе, американские инженеры и ученые построили специальное судно для морского бурения грузоподъемностью 10 тыс. тонн. Судно назвали «Гломар Челленджер», что в переводе означает «Морской гигант, бросающий вызов». В 1968 г. «Гломар Чашленджер» вышел в океан и к 1975 г., когда был завершен этот проект сверхглубокого бурения, на дне под 1000-метровой толщей воды была пробурена скважина, которая хотя и вскрыла породы верхних слоев океанского дна, однако ни слова не сказала о нижних его этажах. Вызов, брошенный «Морским гигантом», недрами не был принят.

Американский проект глубоководного бурения скважин в океанах превратился позднее в международный с участием ряда

других стран, в том числе и Советского Союза. С борта судна «Гломар Челленджер» за 96 рейсов было пробурено около 600 скважин во всех океанах. Теперь (в январе 1985 г.) на смену ему вышло в свое первое плавание новое научно-исследовательское буровое судно «Джойдес Ресолушн» («JOIDES Resolution»). Скважины, пробуренные с этого судна в районе Багамских островов, достигли отметки 1600 м под дном океана. Дальнейшие планы предусматривают бурение в Норвежском и Тирренском морях, Баффиновом заливе, других морях и океанах. С особым интересом ждут ученые результатов бурения в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов.

Нет сомнения в большой ценности для науки океанического проекта глубокого бурения, что и обусловило участие в нем советских ученых. Но, будучи самым обширным материковым государством, наша страна особенно заинтересована в выяснении закономерностей строения и развития континентальной земной коры, чтобы иметь научную основу для прогноза полезных ископаемых. В связи с этим и была разработана комплексная программа изучения глубинного строения земных недр территории нашей страны.

Первенцами среди отечественных сверхглубоких скважин были Аралсорская СГ-1 (6805 м) и Биикжальская СГ-2 (6028 м), если считать их в порядке заложения. Но по значимости, по ценности научных геологических и технических результатов лидером, безусловно, стала Кольская СГ-3 (рис. 16). Нам посчастливилось побывать на этом «заводе в тундре». Да и было бы странно, работая в геологии на северо-западе страны, не посетить это одно из современных технических чудес света! Многие удивляет, поражает и восхищает здесь специалиста, наполняет гордостью за отечественную научную и инженерную мысль. Еще большее удивление вызывает эта грандиозная программа у неспециалистов, например журналистов. Вот как отразились вехи истории Кольской сверхглубокой в хронике нашего времени.

Рис. 16. Буровая вышка Кольской сверхглубокой скважины.

«Мы плохо знаем, как устроена Земля, а нам, ее обитателям, это непростительно. При радиусе Земли в 6370 км человек проник в глубь ее шахтами на три, а скважинами — на семь километров, что составляет соответственно 0,05 и 0,1 процента. Это в немалой степени и определяет весьма низкий уровень наших знаний о строении Земли...

Мы рассчитываем и на прямое более глубокое проникновение в земные недра буровыми скважинами, в первую очередь до

10–15 км, а затем и глубже. Такие скважины уже бурятся» (Академик В. Смирнов. 7 октября 1975 г. «Правда»).

«Преодолеть земное притяжение и уйти в заманчивую бесконечность космоса... оказалось легче, чем пробиться на 10—15-километровую глубину Земли. Хотя прежде всего недра таких глубин обещают человечеству реальные богатства. Пока что максимум, который достигнут буровым инструментом, — 9583 м в США и около 8 тыс. м у нас в стране, на Кольском полуострове. Бурение Кольской скважины продолжается» (5 февраля 1978 г. «Социалистическая индустрия»).

«До 1979 г. самой глубокой в мире скважиной была скважина, пробуренная в США, — 9583 м. В июне 1979 г. проходчики Кольской сверхглубокой пересекли рубеж абсолютного мирового рекорда. В прошлом году скважина достигла отметки 10 500 м, а в начале нынешнего — 10 780 м.

В результате наша страна стала лидером в сверхглубоком бурении и комплексном исследовании слоев земной коры, сложенных самыми твердыми кристаллическими породами. Получены уникальные образцы горных пород, представляющих каждый дециметр вскрытого скважиной разреза» (14 июля 1981 г. «Ленинградская правда»).

Хотите подарок с глубины 11000 м? Он к вашим услугам. Его можно потрогать руками... Камень еще тепленький. Его только что достали с этой сумасшедшей глубины заполярные геологи. Впервые так далеко забралось долото бурильщиков.

Одиннадцатый километр — рекордный. Прежде считалось фантастикой так «забуриться». А сейчас не только бурят, но и получают информацию о происходящем в сверхглубоком забое.

Бурение продолжается. И девиз геологов, начинавших свой поход во главе с академиком Ферсманом на Кольском полуострове, все тот же: «Вперед, за камнем!» (10 ноября 1981 г. «Комсомольская правда»).

«С места события: На глубину свыше 11 км в недра Земли проникли буровики Кольской сверхглубокой скважины. Таких горизонтов не достигал никто еще в мире.

Данные, получаемые с неведомых отметок геологами, геофизиками и другими специалистами Кольской геологоразведочной экспедиции, позволяют уточнять, корректировать ранее сложившиеся представления о строении и свойствах коры нашей планеты.

Другая сторона эксперимента — совершенствование технического арсенала, научных методов проходки и изучения сверхглубин» (26 мая 1982 г. «Правда»).

«И вот 27 декабря в 16 часов алмазное долото буровой пронзило 12-й километр земной коры. Так глубоко внутрь Земли еще никто в мире не проникал...

Балтийский кристаллический щит на протяжении многих сотен миллионов лет подвергался разрушительным силам эрозии. Специалисты считают, что ледниками и водой „слизано“ примерно 5—15 км его верхней части. С учетом этого глубина проникновения Кольской скважины по существу должна составлять не 12, а 15–25 км...

Конечной цели—15 км — планируется достичь к концу следующей пятилетки» (2 января 1984 г. «Правда»).

Как вы заметили, наиболее часто употребляемые в приведенных репортажах («ключевые») слова — это «впервые в мире». Чем это вызвано? Только ли удивлением достигнутым рекордом? Конечно, нет!

Поражает грандиозность поставленной цели и полученных результатов.

Цель? Комплексная программа изучения глубинных недр предусматривает бурение глубоких и сверхглубоких скважин в сочетании с геологическими, геохимическими и геофизическими исследованиями. В результате появляется возможность планомерно выяснять закономерности строения и развития континентальной земной коры, решать проблему научного прогнозирования поисков месторождений, которые залегают глубоко. И одновременно создаются новые технические средства бурения, проникновения на глубины до 15 км. А это уже по нашей теме; то, что интересует нас, — будущее бурения, бурового дела.

А результат? Его оценка?

«Уникальные результаты получены при изучении глубинного строения земных недр. Мы гордимся тем, что благодаря Кольской сверхглубокой скважине в Советском Союзе впервые в мире изучен 12-километровый непрерывный разрез древнейших пород земной коры и получены представления о их физических и химических свойствах. Раньше мы были склонны предполагать, что там могут быть какие-то другие, чем на поверхности, образования. Но это не подтвердилось. Проверены и некоторые гипотезы, связанные со строением земной коры, с процессами образования руд. Словом, итоги исключительно важные.

Отдельного и большого разговора достойны те, кто конструировал оригинальную автоматизированную буровую установку „Уралмаш-15000“, кто во ВНИИ буровой техники разработал проект проходки скважины и создал такие турбобуры, которые способны разрушать любые породы, и многие другие, обеспечившие

невиданный прорыв в недра» (Е. А. Козловский, министр геологии СССР. «Геология: взгляд вперед»).

Как же достигнуты эти цель и результаты? Каким оборудованием, машинами, станками, инструментом выполнено это уникальное дело?

Сложный научно-технический эксперимент по бурению Кольской скважины осуществлен с применением только отечественной техники и технологии. Созданы и внедрены породоразрушающие инструменты, забойные двигатели с соответствующей глубинным условиям характеристикой, средства контроля за работой турбобура на забое (крайне необходимые при работе двигателя на глубинах более 8 км), высокопрочные и термостойкие бурильные трубы из легких сплавов (обеспечившие практически безаварийную работу при высоких скоростях спуска и подъема бурового инструмента). Весьма высоки научно-технический уровень и эффективность созданных средств: большинство из них выполнены на уровне изобретений (новизна! впервые в мире!), о чем говорят более 40 авторских свидетельств.

Оригинальная автоматизированная буровая установка «Уралмаш-15000» уникальна своей меньшей грузоподъемностью — 300 тонн — в сравнении с 600—800-тонными зарубежными установками для сверхглубокого бурения и 1000-тонной лебедкой на скважине «Берта Роджерс».

Турбобур — первый свидетель глубокосемных тайн — и по замыслу и по исполнению также оригинален и высокоэффективен. Вращается при бурении не весь многокилометровый вал бурильных труб с долотом на конце (как это было — помните? — у американцев при проходке скважины «Берта Роджерс»), поглощая колоссальную мощность, а лишь несколько метров самого бурового устройства — турбобура.

Следующее уникальное устройство — кернаприемный снаряд. Следует иметь в виду, что на забое сверхглубокой скважины горная порода, из которой выбуривают керн, находится при температуре 200 °С и давлении 300 кгс/см² (1 кгс/см² ≈ 105 Па). Выбуренный из такого горного массива образец породы, мгновенно сбрасывая горное давление, освобождается от воздействовавших на него сил. В результате керн растрескивается, деформируется и на земную поверхность поступает образец не в его естественном залегании (состоянии), а в виде отдельных бесформенных кусков. Но поскольку на сверхглубокой скважине отбор керна — главная работа, а сам керн — основная продукция, для его получения требовались принципиально новая техника и технология. И эта задача была решена. Специалисты разработали оригинальное кернаприемное устройство, в котором в качестве транспортного

средства использован поток промывочной жидкости, постоянно циркулирующей по скважине.

Техническую эффективность глубоких скважин оценивают, как правило, по конструкции скважины, т. е. по числу колонн труб, опущенных в ствол: чем их больше, тем скважина сложнее и дороже. Кольская скважина сломала эту традицию. И действительно, что может быть проще: всего две (!) колонны труб только до глубины 2 км и открытый, необсаженный ствол 10-километровой длины (рис. 17). При обычной же технологии, когда очередную обсадную колонну труб опускают через каждые 2 км, в Кольской скважине должно было бы находиться одна в другой шесть колонн труб.

Наибольшая трудность при бурении глубоких скважин — это сохранение вертикальности ее ствола. Эта проблема была решена с помощью специального турбинного отклонителя с телеметрической системой, улавливающей малейшее отклонение от вертикали. В результате Кольская скважина, как ни одна другая сверхглубокая скважина в мире, удивительно прямолинейна: отклонение ствола на каждой 1000 м не превышает одного градуса, т. е. вся скважина отклонилась примерно на 12°. Для сравнения опять обратимся к скважине «Берта Роджерс». Ее 9,5-километровый ствол отклонился от вертикали на 25°. В два с лишним раза «точнее» оказалась работа наших буровиков по сравнению с результатами их заокеанских коллег!

О технических новинках, находках и изобретениях на Кольской сверхглубокой, как и о ней самой, можно рассказывать долго. И если кто-либо из читателей заинтересовался этой темой, мы можем порекомендовать обратиться к статьям А. Маликова и А. Перевозчикова, интересно и технически квалифицированно описавших свои журналистские впечатления в журналах «Вокруг света» (1982 г., № 1) и «Техника — молодежи» (1984 г., № 1). Если же вы хотите получить более строгое научное описание состояния и перспектив изучения глубинного строения земных недр, то небезынтересно и полезно прочесть статью профессора Е. А. Козловского в журнале «Разведка и охрана недр» (1984 г., № 7, 8); кстати, это ежемесячный отраслевой журнал Министерства геологии СССР, регулярно и широко освещающий кроме научно-технических проблем также жизнь и работу буровых бригад.

Что же дальше? Перспективы сверхглубокого?

Предусматривается, что после завершения бурения Кольской сверхглубокой скважины она будет превращена в уникальную природную лабораторию, где будут исследоваться глубинные процессы, протекающие в земной коре, проводиться долговре-

менные наблюдения за температурным режимом, испытываться приборы и методы различных скважинных исследований.

В нашей стране планируется и дальнейшее значительное увеличение объемов глубокого и сверхглубокого бурения. Намечено начать проходку Тюменской, Анастасьевско-Троицкой и Уральской сверхглубоких скважин (до 12–15 км). Начнется бурение и шести глубоких скважин (6–8 км): трех в нефтегазоносных провинциях (Днепровско-Донецкая, Прикаспийская, Тимано-Печорская) и трех в рудных районах (Криворожская, Мурунтауская, Норильская).

Мечтают (но реально!) и о больших глубинах: создается специальный стенд, который позволит моделировать условия бурения скважин глубиной до 20 км при температуре на забое 300–400 °С и давлении 2000–3000 кгс/см².

Рис. 17. Конструкция Кольской сверхглубокой скважины.

1 — колонна стальных труб для крепления ствола скважины; 2 — открытый ствол; 3 — колонна бурильных труб; 4 — турбобур; 5 — керноотборный снаряд; 6 — буровое шарошечное долото.

А теперь вернемся из рекордных сверхглубин на земную поверхность и поговорим о типовом, самом распространенном бурении. Для начала надо остановиться на способах бурения и хотя бы бегло ответить на вопросы —

Как и чем разрушают горные породы

Мы показали, что есть ударный способ бурения и есть вращательный. Они существуют испокон веков и будут преобладать в обозримом будущем. Правда, в последнее время уже появились принципиально новые методы бурения скважин, такие как термический, взрывной, лазерный (о них мы поговорим чуть позже), но все они находятся в экспериментальной стадии и широкого распространения пока не имеют.

Так что удар либо вращение, а если уж вращение, то с полным разрушением породы в скважине (бурение «сплошным забоем» — бескерновое) или с выбуриванием ее по кольцу (колонковое бурение). Вот и все. А дальше можно бесконечно совершенствовать и комбинировать между собой те или иные виды бурения, можно модернизировать оборудование и создавать все новые и новые конструкции буровых станков, т. е. делать именно то, что успешно осуществляется в наше время.

Для наглядности наиболее распространенные способы бурения можно изобразить в виде упрощенной схемы. На той же схеме укажем и основные области применения того или иного способа.

Ударно-канатное бурение

Как мы уже говорили, этот способ проходки настолько прост и эффективен, что не утратил своего значения и в нашу атомно-электронную эпоху. Как и тысячелетия назад, раскачивание тяжелого снаряда, удары по забою, вверх — вниз, вверх — вниз, без особых премудростей, без лазеров, зарядов и разрядов. Правда, станки, оборудование и соответственно скорости проходки существенно изменились и вполне отвечают требованиям нашего скоростного века.

Как и в старину, порода в скважине разрушается под действием свободнопадающего массивного снаряда (с заостренным долотом на нижнем конце), но раскачивание снаряда сейчас уже производится не упругим бревном и не коромыслом журавля, а металлической рамой, называемой «балансиром». Балансир приводится в действие от шатуна, который в свою очередь эксцентрично связан с маховиком, вращающимся от двигателя. Принцип тот же, что и у ведущих колес старого паровоза, но конструкция здесь намного проще: один маховик, один шатун, одна балансирная рама, движение только вверх — вниз. Ход балансира от верхней точки до нижней невелик и не превышает 40–50 см, т. е. именно на такую высоту и приподнимается снаряд над забоем и с той же высоты он падает. Да, высота, казалось бы, ничтожная, но вове-

мя вспомним, что капля камень долбит не силой, а частым падением. Так и здесь: снаряд падает на забой почти с частотой человеческого пульса — раз 40–50 в минуту. Упорно, методично, безостановочно. К тому же общая масса снаряда с долотом составляет несколько тонн, и ему совершенно не обязательно падать с высоты небоскреба, вполне достаточно и полуметра.

Современный станок ударного бурения, в отличие от своих громоздких и неподвижных прародителей, предельно компактен и мобилен. Все его агрегаты и узлы смонтированы на единой раме, которая по своим размерам не превышает рамы небольшого грузового автомобиля. При переездах со скважины на скважину колесные станки обычно подцепляются к трактору, гусеничные двигаются самостоятельно, своим ходом.

Кроме простоты и надежности ударные станки имеют еще одно важное преимущество перед вращательными: ими отбуриваются скважины больших диаметров, самых больших среди других видов бурения. Снаряды для ударного бурения представляют собой длинные цельнолитые цилиндры. Чем больше их диаметр, тем больше масса и соответственно выше производительность. При вращательном бурении наоборот: чем меньше диаметр, тем меньше расход истирающих материалов в коронках и тем большую нагрузку можно передать через инструмент на забой. Разумеется, в том и в другом случае есть свои допуски и ограничения, есть и оптимальные параметры. В частности, при ударном бурении максимальные скорости проходки достигаются в скважинах диаметром 200–250 мм. Ударным способом можно пробурить скважины диаметром и более 600 мм, но зато при диаметрах менее 100 мм проходка вообще нецелесообразна — в них снаряд не имеет достаточной массы.

Но если есть преимущества, то должны быть и недостатки (иначе других видов бурения просто не существовало бы). И недостатки есть. Они-то и ограничивают применимость ударно-канатного способа.

Во-первых, свободнопадающий снаряд может перемещаться лишь в одном направлении — строго вниз, и поэтому ударно-канатным способом отбуривают только вертикальные скважины; проходка наклонных стволов этим способом физически невозможна. Именно поэтому в подземных выработках, при разведке твердых полезных ископаемых (кроме россыпей) канатное бурение не применяется.

А во-вторых, ударное бурение возможно лишь в рыхлых, слабоустойчивых грунтах и вообще в породах небольшой твердости: в песках, мергелях, известняках и доломитах. В очень твердых скальных породах, таких как граниты, диабазы, кварцевые песчаники, заостренное долото очень быстро «садится», превращается в округлую болванку и углубка скважины прекращается. Так что монолитные скальные породы гораздо проще «стереть в порошок» (вращением да еще под давлением), чем раздолбить в своеобразной ступе.

Ударно-вращательное бурение

Канатное бурение в какой-то мере является и вращательным. Снаряд здесь находится в подвешенном состоянии; естественно, он закручивается либо раскручивается и при каждом ударе поворачивается вокруг своей оси. Но вращение при канатном бурении неуправляемое, стихийное и снаряд в процессе работы может по нескольку раз попадать в одну и ту же трещину, все больше заклинивая самого себя. С подобными осложнениями достаточно легко справляется долото крестовидной формы, которое не в состоянии попасть даже в открытую трещину — одна из двух поперечин креста всегда удерживает его в плоскости забоя и одновременно разрушает стенки трещины.

Но есть и другой, более эффективный, способ борьбы с трещиноватостью — удар с одновременным принудительным вращением долота, т. е. сочетание дробления с истиранием. Именно этот принцип и использован в бурильном молотке — главном орудии производства проходчика подземных горных выработок. Сразу заметим, что имеются в виду горные выработки в крепких, скальных породах, в тех породах, которые можно разрушить только взрывчаткой. В породах же невысокой крепости — при разработке угольных пластов, прокладке тоннелей метрополитена и т. д. — применяются врубовые машины, проходческие комбайны, щиты и другая мощная техника. Но речь не о ней, а о простом бурильном молотке.

Вернемся на минутку к отверстию в камне. Его можно проделать кувалдой, а можно и молоточком.

В первом случае — большой груз с редкими ударами, во втором — малый груз с очень частыми ударами. Какой же способ более эффективен? Конечно, все зависит от прочности камня. В крепких скальных породах эффективен именно второй. В этом легко можно убедиться опытным путем.

Так вот, разница между канатным станком и бурильным молотком и заключается прежде всего в соотношении массы с частотой удара. В бурильном молотке боёк имеет массу всего-то

полтора-два килограмма, не больше, зато ударяет он с большой частотой. Работает молоток от сжатого воздуха (потому и называется пневматическим), подаваемого по трубам и шлангам от компрессора. Следует отметить, что в подземных горных выработках используются механизмы только с электрическим либо с пневматическим приводом. Других нет. Система вентиляции в выработках под землей настолько сложна и громоздка, что применять там бензиновые или дизельные двигатели — непозволительная роскошь. Поэтому насосы, лебедки, поезда под землей — только электрические, все проходческие механизмы — как правило, пневматические, а потребляемый ими сжатый воздух заодно используется для дополнительной вентиляции.

Принцип работы бурильного молотка несложен. В чугунном корпусе находится камера для цилиндрического бойка. Камера снабжена системой воздушных клапанов, и боёк бегает в ней подобно маленькому поршню. При движении вперед боёк с силой ударяет по хвостовику направляющей штанги (или бура) и тут же отскакивает назад для новой атаки. На конце бура находится съёмная коронка с запрессованной в ней пластиной из твердого сплава. Вот и вся конструкция.

Надо только добавить, что измельченная в пудру порода с силой выдувается из скважины (точнее, из «шпура») отработанным в молотке сжатым воздухом. Тот же воздух постоянно проворачивает штангу вокруг ее оси. Вращение штанги происходит очень медленно, всего несколько оборотов в минуту, и служит оно здесь не столько для истирания породы, сколько для изменения направления удара коронки, для равномерного кругового скалывания материала на забое.

Бурильный молоток является самым компактным и миниатюрным из всех типов буровых станков.

Правда, его старший брат — отбойный молоток — еще меньше, еще миниатюрнее. Да, да, тот самый отбойный молоток, которым при необходимости вскрывают асфальт, разрыхляют мерзлый грунт. Тот молоток, который мы видим в кадрах довоенного кино на плечах или в руках героев-стахановцев. Теперь в угольных шахтах он полностью вытеснен врубовой машиной.

Отбойный молоток действует так же, как и бурильный (частые удары бойка, приводимого в движение от сжатого воздуха), но в качестве наконечника здесь применяется короткая стальная пика, которая может разрушить лишь относительно мягкие породы: уголь, известняк, мерзлый грунт — и не более того. Бурильный же молоток сам по себе ничего не разрушает, он пробивает длинные цилиндрические отверстия для заложения взрывчатки в любых, самых твердых породах: в мелкозернистых гранитах, желе-

зистых кварцитах и даже в сливном кварце.

При столь удивительных способностях бурильного молотка его размеры сравнительно невелики (масса около 30 кг), и при работе проходчик вполне может держать его в руках. Правда, долго удерживать в руках такую прыгающую двухпудовую игрушку — занятие не из приятных. Поэтому при работе с бурильным молотком применяется еще одно приспособление — пневмоподдержка.

Рис. 18. Бурильный молоток на пневмоподдержке.

Пневмоподдержка — это полая труба с поршнем, которым выталкивается из этой трубы (либо наоборот — втягивается в нее) длинный шток, упирающийся свободным концом в бурильный молоток (рис. 18). Пневмоподдержка действует от того же сжатого воздуха, который подается на молоток. При работе с пневмоподдержкой проходчик, регулируя подачу воздуха, без особых усилий ведет бур в заданном направлении.

Бурильный молоток очень оперативен. К примеру, двухметровый бур пробивает самую крепкую породу на всю свою длину за 10–15 минут. Поразительная скорость при таких размерах. Габаритные размеры установки, на которой размещается бурильный молоток, и жесткость конструкции (стальной бур вместо гибкого каната) позволяют широко использовать главное преимущество этого вида бурения — отсутствие ограничений в углах наклона и в направлениях скважин. Так, бурильным молотком можно проходить шпур в любой плоскости, под любым углом: вниз, вправо, влево, куда угодно, хоть вертикально вверх — в кровлю выработки. Всепроникающий трудяга, имеющий столько достоинств одновременно! Он и прост, и компактен, и универсален, да еще и обеспечивает высокие скорости проходки...

А недостатки? Есть и они. Это прежде всего малые диаметры бурения (не более 33 мм) и незначительные глубины скважин-шпуров (не более 2–2,5 м). Именно поэтому бурильный молоток почти не применяется на поверхности. Зато в подземных выработках он вне конкуренции. Здесь его недостатки решительно никакой роли не играют.

Ударно-вращательный способ получил дальнейшее развитие в виде гидроударного бурения. Созданы забойные машины, приводимые в действие гидравлической энергией промывочной жидкости.

Вращательное бескерновое бурение

Применимость ударно-канатного бурения лимитируется твердостью пород, пневматического — глубиной скважин, не превышающей первых сотен метров. А более глубокие, многокилометровые скважины в разных породах? Они проходятся вращательным способом и, как правило, «сплошным забоем», т. е. с полным истиранием пород в скважине.

Надо сказать, что во всех случаях бескерновое бурение, т. е. бурение сплошным забоем, является самым производительным, самым скоростным. Размолотить в скважине твердыми сплавами, на высоких частотах вращения да еще под большой нагрузкой можно все что угодно: любые самые твердые породы, даже случайно уроненный в скважину металлический буровой или другой инструмент, скажем, кувалду, цепной ключ или стальную плашку. Силища у вращательного снаряда такая, что, как говорится, «черта в ступе» разотрет. И при том довольно быстро.

Выпилить столбик керна в горной породе, закрепить его в колонковой трубе и поднять на поверхность — гораздо более хлопотное и трудоемкое занятие. Именно поэтому керновое (колонковое) бурение применяется только в самых ответственных случаях: в сверхглубоких скважинах, при разведке рудных полезных ископаемых, при инженерно-геологических исследованиях, когда необходимо совершенно точно знать все текстурные и структурные особенности пород, характер их взаимоотношений, контакты между ними и многое другое, т. е. в тех случаях, когда нужно видеть (!) весь разрез и иметь ненарушенные образцы пород.

Ну а при разведке и отработке наиболее глубинных месторождений земной коры — нефтяных и газовых залежей? Основное назначение нефтяной скважины состоит в том, чтобы как можно быстрее пробиться сквозь многокилометровую толщу, отыскать залежь и после всего этого превратиться в надежный и долговечный вертикальный нефтепровод. Цель оправдывает средства, а самое эффективное средство здесь — это бескерновое бурение. Что же касается разреза по скважине, то иметь его, разумеется, тоже важно, но видеть вовсе не обязательно, вполне достаточно представить его себе по ряду косвенных признаков и данных. Для получения этих сведений есть масса различных методов.

Во-первых, разрушаемая в скважине порода поднимается вместе с промывочной жидкостью на земную поверхность. Эту породу (шлам) можно собрать, просушить, потом просмотреть под микроскопом-биноклем, проанализировать и получить совершенно определенные сведения о составе (только о составе, но не о строении и структурных особенностях) горных пород на той или иной глубине.

Во-вторых, в нефтяных скважинах проводится обширнейший комплекс разнообразных геофизических исследований — так называемый «каротаж». Здесь применяются электрический, магнитный, радиоактивный, термический, газометрический, акустический и многие другие виды каротажа (всего существует около 40 методов скважинной геофизики). Кроме того, применяется фотографирование стенок скважин — наиболее достоверный способ их документации.

Полученный по данным всех этих исследований разрез вдоль нефтяной скважины выглядит вполне представительно. Он содержит все сведения о составе и строении пород, пересеченных скважиной, об их пористости, проницаемости, о наличии в них углеводородных газовых включений, об электрических, магнитных, радиоактивных и других свойствах пород.

Какова же оснащенность нефтяной вышки? Поскольку нефтяное бурение является наиболее глубинным и самым ответственным среди остальных видов (за исключением сверхглубоких исследовательских скважин), то совершенно естественно, что здесь применяется самая передовая технология, используются самые мощные и производительные станки, самое современное оборудование.

Достаточно сказать, что в комплект среднеглубинной буровой установки для нефтяного бурения входят: пять дизелей мощностью по 400 л. с. каждый, две дизель-электростанции, лебедка грузоподъемностью до 300 тонн, стальная 40-метровая вышка (та самая, которую мы изображали на геологической эмблеме), два огромных насоса массой до 20 тонн каждый, солидные глино- и бетономешалки и еще множество всевозможного оборудования. На сменную вахту здесь одновременно выходят шесть опытных бурильщиков (это не считая геологического и обслуживающего персонала). Для сравнения заметим, что сменная вахта на колонковом поисково-разведочном бурении обычно состоит всего из двух человек — мастера-бурильщика и его помощника.

Так что нефтяная буровая — это по существу небольшое промышленное предприятие, месяцами и годами работающее в одном и том же месте, «на одной точке» — как говорят геологи.

Как осуществляется нефтяное бурение? На полу трубу небольшого диаметра (называемую направляющей или ведущей) навинчивают долото с запрессованными в нем твердыми сплавами либо алмазами, трубу закрепляют в роторе станка и начинают вращать. Для передачи нагрузки на долото ротор-вращатель снабжен специальной системой.

Рис. 19. Промывочная система при бурении скважины.

1—насос; 2 — бурильная колонна; 3 — долото; 4 — емкость для промывочной жидкости.

Одной из самых существенных составляющих процесса бурения является промывочная жидкость — вода либо глинистый раствор. Вода при вращательном бурении (так же как воздух при пневматическом) служит универсальным совместителем и выполняет несколько функций одновременно: вода охлаждает буровое долото, которое при таких скоростях и давлениях вполне может расплавиться от трения; вода выносит на поверхность разрушенную породу — шлам, а при достижении нефтяной залежи вода своей массой нейтрализует огромное внутри-пластовое давление, т. е. усаживает рвущуюся из недр «нечистую силу» (вспомните апшеронский выброс, о котором мы говорили чуть раньше).

Промывочная жидкость при бурении подается внутрь бурильных труб, опускается по ним до забоя, омывает там буровое долото, забирает шлам и вместе с ним поднимается на земную поверхность (рис. 19). На поверхности раствор проходит через систему сит и отстойников, очищается в них от шлама, затем насыщается до нужной концентрации глиной и другими реагентами и снова насосами закачивается внутрь скважины. В итоге получается замкнутая циркуляционная система (очень напоминающая кровеносную), которая обеспечивает жизнеспособность скважины.

И вообще, буровой агрегат в целом подобен живому организму: двигатель станка с ротором — его сердце, гидравлическая система — мышцы, промывочная жидкость — кровь, колонна бурильных труб — своеобразная очень длинная рука. А буровое долото? Ну, это универсальное сверло в руках мощного и умного организма.

Поскольку горные породы по своим физико-механическим свойствам однообразием отнюдь не отличаются, то, естественно, и породоразрушающий инструмент (буровые наконечники) имеет великое множество самых разнообразных модификаций, различающихся по форме, размерам, оснащённости. Мягкие породы (такие как вязкие глины, пески, лёссы) разбуриваются лопатками и шнеками, напоминающими наконечник ручного ледобура; более твердые (сланцы, известняки, доломиты) — стальными пиками с запрессованными в них твердыми сплавами; самые твердые (граниты, габбро-диабазы, кварциты) — коническими шарошками либо долотами, в торце которых находятся те же твердые сплавы или матрица с техническими алмазами (рис. 20). В середине наконечника любого типа обязательно есть сквозное отвер-

стие для прохода промывочной жидкости.

Наибольшим распространением при бескерновом бурении пользуется долото, снабженное несколькими (от двух до шести) вращающимися конусами — шарошками, поверхность которых усеяна закругленными сверху штырями твердых сплавов. Вершины конусов направлены внутрь — к продольной оси бурового снаряда (рис. 21). При бурении долото вращается с частотой до 800–900 оборотов в минуту, еще быстрее крутятся его шарошки (кстати, буровики в обиходе этим ласковым словом называют все шарошечное долото, а не только его конусы); в результате сферические твердые сплавы с силой истирают забой. На долото, а вместе с ним на шарошки передается сверху такая огромная нагрузка (десятки тонн), что устоять против такого натиска не может никакая самая твердая порода.

Рис. 20. Алмазное долото.

1 — корпус; 2—матрица с техническими алмазами.

При забурировании скважины первое долото имеет очень внушительные размеры: диаметр его около полуметра, а иногда и поболее того. Приходится учитывать, что в процессе бурения потребуется не раз и не два закреплять стенки скважины трубами для перекрытия встречаемых на различной глубине неустойчивых пород и при различных геологических осложнениях. Каждое же очередное крепление неминуемо должно сопровождаться уменьшением диаметра долота, в противном случае долото просто не пройдет сквозь обсадные трубы и не сможет отбуривать нижележащие породы. Так что любая нефтяная скважина в разрезе телескопична, и чем больше начальный диаметр бурения, тем длиннее можно составить телескоп из труб и тем больше шансов, что скважина (при любых неожиданностях и осложнениях) выполнит стоящую перед ней задачу. Вот зачем нужен большой диаметр при забурировании.

Рис. 21. Шарошечное долото.

1—корпус; 2 — шарошки с твердосплавными штырями.

Однако всему есть предел. И так уж полуметровое зубастое долото трудно даже представить себе, впрочем, работать с ним еще труднее, поднимать его приходится многотонной лебедкой, а привинчивать к буровому снаряду — с помощью другого, не менее мощного механизма. И таким вот долотом производится

углубка скважины примерно до 100–200 м, во всяком случае, до тех пор, пока не будут пройдены приповерхностные, самые рыхлые и обводненные отложения (так называемые «наносы»). В пробуренное отверстие опускается первая колонна толстостенных обсадных труб диаметром около 400 мм (16 дюймов). Нижний конец этой колонны «приваривается» к монолитным породам скального основания.

Далее диаметр скважины уменьшается до 394 мм. Долото такого диаметра свободно проходит через поставленные выше обсадные трубы и пробуривает породы уже до глубины порядка 1000 м, после чего в скважину опускается вторая колонна обсадных труб, внутренний диаметр которых не превышает 300 мм. Соответственно уменьшается диаметр долота для последующего бурения. Ну и так далее. К концу бурения скважины диаметр ее уменьшается до 150–200 мм, а в пробуренном стволе стоят четыре-пять колонн обсадных труб, верхние торцы которых выходят на земную поверхность.

Начиная со второго диаметра (394 мм) скважина, как правило, проходится турбобуром. Турбобур представляет собой турбину, лопасти которой приводятся в действие промывочной жидкостью, подаваемой в скважину под большим давлением. Вместе с турбиной вращается и соединенное с ней буровое долото. Таким образом, на глубине вода (подобно воздуху при пневматическом бурении) становится основной движущей силой самого процесса бурения, выполняя и прочие свои обязанности: охлаждение инструмента, очистку скважины от шлама и т. д.

Турбинный способ бурения экономичен и эффективен по всем показателям. При обычном же бурении для вращения ротора, а вместе с ним и всей колонны бурильных труб требуются значительные затраты энергии, причем затраты эти по мере углубления скважины неуклонно возрастают. Добавим, что с глубиной увеличиваются скручивающие усилия на трубы, повышается их износ и уменьшается жесткость всей системы. Поэтому роторное бурение обычно применяется до сравнительно небольшой глубины.

При турбинном способе ротор неподвижен (!) — вращается только то, что и должно вращаться, а именно буровое долото. А бурильные трубы? Они тоже неподвижны и служат лишь для доставки породоразрушающего инструмента на забой, для передачи на него необходимой нагрузки, и по совместительству выполняют обязанности водопровода. Все просто и надежно.

Почему же не применить турбинный способ на малых глубинах, скажем, сразу при забурировании? Дело в следующем: вода на турбину подается в таком количестве и под таким давлением, что

при малой глубине скважины вода будет фонтанировать, и работать на буровой вышке придется под проливным глинистым дождем. На достаточной же глубине фонтанирующая энергия гасится столбом жидкости, которую просто так уже не вытолкнуть на поверхность.

Мы говорим: «вода охлаждает», «вода выносит», «вода вращает», однако чистая вода в качестве промывочной жидкости при нефтяном бурении практически не применяется. Только растворы. Чаще всего глинистые либо глинистые с полимерами. Такие растворы лучше захватывают шлам, а следовательно, быстрее и качественнее очищают забой. Кроме того, глина постепенно оседает на стенках скважины, замазывает поры и трещины в породах, временно (до обсадки трубами) удерживая их от осыпания. Ну и наконец, главная задача глины в промывочном растворе — это повышение его плотности. Зачем?

Скважина отбуривается на нефть, и мы ожидаем (и не просто ожидаем, а очень хотим) встретить залежь. Чем крупнее, тем лучше. Так вот, на глубине, скажем, 3000 м внутрипластовое давление в залежи будет составлять примерно 330 кгс/см². Компенсировать такое давление можно лишь достаточно плотным раствором, например глинистым с плотностью 1,2 г/см³. Менее плотный раствор давление выбьет из скважины, как пробку из шампанского. Чем выше плотность раствора, тем надежнее закупорка скважины и тем больше есть времени для почетной встречи нефти на поверхности. Именно поэтому с самого начала бурения, и особенно после 1000-метровой глубины, ведется непрерывный и очень тщательный контроль за параметрами промывочной жидкости. Расчеты, анализы, проверки-перепроверки.

И вообще, нефтяное бурение — это весьма напряженный и ответственный труд. Буровики-нефтяники постоянно, ежеминутно работают как бы на огромной пороховой бочке — на нефтяной или газовой залежи.

Их основная задача и состоит в том, чтобы проникнуть в эту «бочку», осторожно вскрыть ее, причем «бочка» находится обычно на неопределенной глубине. Внимательным и осторожным должен быть буровик всегда и во всем, ибо в любой момент kloчущая энергия кедр может вырваться в тонкий, «волосяной», ствол скважины. И тогда, как спички, полетят в воздух многотонные трубы, прочий инструмент, на десятки метров взметнется фонтан промывочной жидкости, а следом за ней — и нефти с газом.

Некоторые журналисты с восторгом сообщают, что в таком-то месте «забил новый мощный фонтан черного золота!». Фраза красива, но у специалиста она не вызовет радости или удовлетворе-

ния, ибо вырвавшийся газонефтяной фонтан — это бедствие, катастрофа, сложнейшая авария, и по разрушительным последствиям такой выброс можно сравнить разве что с извержением малого вулкана. Подобные аварии ликвидируются месяцами, иногда годами, с применением мирных атомных взрывов небольшой мощности или самой современной военной техники, но, к сожалению, не всегда успешно. Поэтому никакие просчеты при нефтяном бурении категорически не допускаются. Любые упущения здесь чреваты слишком тяжелыми последствиями.

«Кроваво-черное пламя взметнулось в небо. Оно разрасталось, устремлялось ввысь, и там, на высоте 30 м, бурлило плотными клубами едкого дыма. Ревела земля. На расстоянии 50 м жар был невыносимый. Пятеро в серебристых скафандрах, очень похожих на космические, шагнули в огонь. Это был второй день схватки с открытым фонтаном...

Самыми первыми на скважину пошли бойцы военизированной отряда по предупреждению и ликвидации открытых нефтяных и газовых фонтанов Миннефтепрома. Из устья с пронзительным шипением и свистом вырывается газ...

Фонтанчики действуют под защитой водной завесы. Это тоже суровая необходимость: в любую секунду огонь может завладеть устьем...

Замечаю: люди действуют неторопливо, даже как-то слишком спокойно. Такова специфика их работы. Фонтанщикам нельзя торопиться. Всё они должны делать надежно, без суеты, без ошибок. В этом они схожи с саперами.

Операция по глушению открытого фонтана — тяжелый и кропотливый труд в экстремальных условиях. Фонтанщик обязан в совершенстве знать буровую технику и оборудование, иметь в запасе несколько профессий — монтажника, тракториста, газосварщика, такелажника — вплоть до умения оказать первую медицинскую помощь...

А на утро над скважиной все же взметнулся огненный смерч. Теперь надо быстрее освободить устье от оборудования и металлоконструкций. Этим опасным делом и занялись пятеро в серебристых скафандрах.

Наконец, устье свободно. И тут же к гулу фонтана прибавился не менее мощный рев сдвоенной турбореактивной установки. Еще мгновение — и специальная смесь врезалась в огненный столб. Все выше и выше поднимают пламя могучие струи. И там, лишенный „пищи“, огонь, наконец, выдыхается.

И снова в работе фонтанчики. Последний этап — наведение запорного оборудования. Теперь стихия укрощена окончательно. Выброс больше не грозит скважине...» (С. Подгайц, «Схватка с

фонтаном»).

К приему нефти всегда готовятся тщательно и, главное, заблаговременно. Как именно? Прежде всего, при достижении 1000-метровой глубины на скважине оборудуется «превентор» — устройство для надежного, глухого и быстрого перекрытия устья в случае неожиданного выброса нефти или газа. Далее, постоянно рассчитываются плотность и состав промывочной жидкости. Промывочный раствор всегда должен соответствовать расчетному и иметь достаточный запас «прочности» на непредвиденные условия и обстоятельства, поскольку именно раствор в первую очередь должен сдерживать напор, пока не будут приняты надежные меры предосторожности.

При достижении проектной глубины, т. е. когда по всем имеющимся данным до залежи остается лишь тонкое перекрытие из вмещающих пород, в скважину опускают последнюю — эксплуатационную — колонну обсадных труб. Все полости между обсадными трубами и стенками скважины, так называемое «затрубное пространство», целиком, от забоя до устья, цементируются. В нефтяных скважинах, пройденных в устойчивых монолитных породах, иногда цементируется только нижняя часть за эксплуатационной колонной. При цементации в скважину закачивается раствор (на его приготовление уходит до 200 тонн цемента), который потом промывочной жидкостью выдавливается в затрубное пространство. После цементации ствола на устье скважины устанавливают фонтанную головку, связывающую между собой все колонны обсадных труб (точнее, их верхние концы). Итак, скважина готова к приему; нефти,

Далее специальными направленными взрывами (патронами с кумулятивными зарядами) простреливают перегородку из вмещающих залежь пород. Затем в скважину опускают насосно-компрессорные трубы и воздухом либо чистой водой начинают постепенно выдавливать тот плотный раствор, который все еще сдерживает рвущуюся на поверхность нефть. Теперь уже в нем нет необходимости, ибо устье скважины надежно закрыто фонтанной головкой с множеством задвижек и отводов и поток нефти в любой момент может быть перекрыт либо направлен в нужную емкость. Теперь скважина уже окончательно подготовлена к эксплуатации.

Таково нефтяное бурение — сложная, трудоемкая, но совершенно необходимая отрасль промышленности. Не удивительно, что морские буровые установки, которые, как мы уже отмечали, являются самыми грандиозными искусственными сооружениями за всю историю человечества, создаются для разведки и добычи именно нефти и газа.

Вращательное колонковое бурение

Если бескерновое нефтяное бурение является наиболее глубинным и фундаментальным, то колонковое, пожалуй, самым распространенным. Все геологические и инженерные исследования, на всех этапах и стадиях — от геологической съемки для составления геологических карт до эксплуатационной разведки — проводятся с применением именно колонкового способа. Керн — основа современной геологии, только с его помощью можно получить самые достоверные сведения о строении земных недр, о составе и характере залегания в них твердых полезных ископаемых; керн используется также для разнообразных анализов и испытаний.

Вот, скажем, первые скважины на Луне. Они пробурены, разумеется, керновым способом. Просто дырки в лунной поверхности совершенно бессмысленны. Нам нужны были образцы, и мы их получили. Точно так же и в сверхглубоких скважинах: здесь важен не рекорд глубины (только ради него нет смысла нести многомиллионные расходы), а прежде всего материал для исследований — керн горных пород!

Впрочем, лунные и сверхглубокие скважины являются как бы крайними звеньями длиннейшего колонкового ряда. Мы же говорим сейчас о самом распространенном бурении — о золотой середине между космосом и сверхглубинами, о том бурении, которым займется большинство из тех, кто захочет стать бурильщиком.

Колонковыми скважинами исследуются обычно верхние, приповерхностные части земной коры — твердая оболочка в диапазоне глубин от нуля до 1,5, реже до 2–3 км, т. е. именно та часть, которая (пока что) обеспечивает нас всеми твердыми полезными ископаемыми. При столь небольших глубинах важна не только скорость самого бурения, но и оперативность при перемещении буровой установки со скважины на скважину, с точки на точку. Поэтому агрегаты для колонкового бурения в сравнении с монументально-громоздкими нефтяными сооружениями отличаются компактностью, мобильностью, простотой.

Все механизмы и приспособления буровой установки, включая двигатель, буровой станок, насос и даже легкую складную вышку, обычно монтируются на тракторных санях либо на раме грузового автомобиля или трактора. Вот, например, самоходная установка УКБ-4СТ (расшифровывается это как «установка колонкового бурения четвертого класса, самоходная на тракторе»). Все снаряжение размещается на транспортной базе трелевочного трактора ТТ-4 (рис. 22). В походном положении установка весьма компактна и в любой момент может выехать на заданную точку, в течение нескольких дней отбурить там 500-метровую скважину; по-

том «пять минут на сборы», и она уже направляется на новую точку, снова за десятки километров. Легкий десант с весьма существенными результатами. Подобные установки незаменимы при бурении опорных картировочных скважин и профилей, т. е. в тех случаях, когда исследования проводятся единичными скважинами, но на больших площадях.

Рис. 22. Самоходная буровая установка типа УКБ-4СТ.

При поисково-разведочном бурении на рудные тела, когда десятки и даже сотни скважин отбуривают в одном месте, на пятачке в несколько квадратных километров, применяют более тяжелые станки. Но и они вместе со всем оборудованием обычно располагаются под единой крышей (в отапливаемом помещении, называемом «буровым зданием» или «тепляком»), на общем основании с полозьями из толстых труб или из широкого швеллера. В пределах участка работ такие установки перетаскиваются тракторами, а на большие расстояния перевозятся автомобилями на специальных подкатных тележках или трейлерах.

Компактность, мобильность, относительная простота — все это, так сказать, внешние атрибуты, взгляд со стороны. А сам принцип колонкового бурения? По сути своей он ничем не отличается от роторного бурения нефтяных скважин. Те же три главные составляющие единого процесса: вращение, нагрузка на инструмент, промывка, а если говорить точнее, то вращение под нагрузкой с промывкой.

Основное отличие колонкового бурения от бескернового заключается не в конструктивных особенностях станка, не в размерах его и не в способе передачи нагрузки, а прежде всего в специфике бурового снаряда и его породоразрушающего инструмента (наконечника). Собственно, при роторном нефтяном бурении в любой момент можно заменить шарошечное долото на колонковую трубу с кольцевой коронкой и пройти тот или иной интервал с керном. Никаких переоборудований в двигателе, станке, бурильной колонне для этого не требуется. И наоборот, при поисково-разведочном бурении зачастую (при забурировании; при некоторых осложнениях; в тех случаях, когда геологический разрез в районе скважин достаточно хорошо изучен) на конец бурильной колонны ставится шарошка и определенный интервал глубины для скорости проходится «сплошным забоем» — без керна.

При колонковом бурении буровой снаряд (рис. 23) представляет собой полую трубу длиной от 3 до 9 м, которая по мере углубки скважины постепенно заполняется выбуренным столбиком породы. На нижнем конце этой колонковой трубы закрепляется коль-

цевая коронка, диаметр ее на 2–3 мм больше диаметра трубы, а верхний конец колонковой трубы соединяется с бурильными трубами. Вот и вся конструкция.

Рис. 23. Колонковый снаряд в скважине.

1 — переходники;

2 — колонковая труба;

3 — керн; 4 — буровая коронка.

В качестве дополнительных приспособлений применяют специальные кернорвательные кольца — для отрыва столбика керна от монолита и для удержания его в колонковой трубе во время подъема на поверхность, а также расширители, которые обрабатывают и калибруют стенки скважины и не допускают уменьшения ее диаметра по мере изнашивания коронки. Однако эти приспособления существенно не усложняют конструкцию.

Как мы отметили, колонковая труба соединяется бурильными трубами, которые связывают буровой снаряд с земной поверхностью, с вращателем бурового станка. Через эти трубы передаются вращение и нагрузка на буровую коронку, по ним же поступает на забой промывочная жидкость.

Идет процесс бурения... Но вот пробурен определенный интервал, и по сигналу мастера бригада приступает к подъему бурового снаряда из скважины. Труба за трубой извлекается на поверхность лебедкой или гидравлическим подъемником бурового станка. Бурильную колонну разбирают на составные части — свечи, которые аккуратно устанавливают в буровой. Наконец, поднимают колонковую трубу, в которой и заключена драгоценная колонка горной породы, ради которой и был затрачен весь этот труд. Этой колонке керна горной породы, поднятой с неведомых ранее глубин и впервые увиденной именно буровиками, и надлежит раскрыть секреты недр Земли.

Керн будет изучен геологами-петрографами, минералогами, геохимиками. В опытных руках исследователей ему предстоит дать ответ: можно ли ожидать полезные ископаемые, сколько еще бурить до них, каковы перспективы дальнейшей разведки. А геологу-буровику керн подскажет, какой инструмент для бурения лучше применить, какие принять меры, чтобы обеспечить 100 %-ное получение выбуренной породы. Поэтому так осторожно обращаются геологи с этим керном, так тщательно укладывают его в специальные ящики, как бережно содержат в кернохранилищах.

В большинстве буровых станков вращатель (в колонковом бурении он обычно называется «шпинделем») можно наклонить вправо или влево на угол до 30° и зафиксировать в таком положении, т. е. можно осуществлять бурение под строго заданным углом наклона. Надо сказать, что в разведочной геологии, в отличие от нефтяной, чаще отбуривают именно наклонные скважины. Такие скважины имеют кратчайший путь до рудного тела и пересекают его под прямым углом, как говорят геологи, — «вкрест падения». В результате наиболее эффективно решаются стоящие перед бурением задачи.

По способу истирания пород и соответственно по типу бурового породоразрушающего инструмента современное колонковое бурение бывает трех видов: дробовое, твердосплавное и алмазное. Правда, бурение дробью к настоящему времени практически отошло в прошлое.

Тяжелое это было бурение, малопроизводительное и хлопотное. Инструмент и все оборудование — массивное, громоздкое. Буровой снаряд, например, собирался шарнирными ключами, весящими с десятков килограммов каждый. Коронка и колонковая труба имели диаметр 90—130 мм. Не меньше, ибо в скважинах меньшего диаметра керн размолачивался дробью почти полностью.

На смену дроби пришли сначала твердые сплавы, а потом алмазы и сверхтвердые материалы. Эти истирающие вещества совершили переворот в технологии колонкового бурения, вывели его на уровень, соответствующий современным требованиям, предъявляемым к механизмам и оборудованию. Прежде всего диаметры скважин, а вместе с ними диаметры труб и прочего вспомогательного оборудования уменьшились вдвое и втрое. Сейчас большинство керновых скважин отбуривают коронками диаметрами 46, 59 и 76 мм. Поскольку уменьшились диаметры скважин, то сократились и площади пород, подлежащих истиранию, и существенно возросли скорости бурения.

А результаты? При алмазном бурении выход керна (независимо от диаметра скважины) повысился до 80—100 %. Здесь ведь нет грубого разрушения пород, здесь осуществляется только направленное пропиливание. Керн из скважин, пройденных алмазными коронками, приятно взять в руки. Это тонкие монолитные цилиндры с пришлифованной боковой поверхностью — готовые музейные образцы, не очень-то нуждающиеся в дополнительной обработке.

Малые диаметры скважин, высокие скорости бурения, экономичность и образцово-показательный керн — все это прекрасно.

Но ведь алмазы! Драгоценные камни, ценящиеся либо на вес золота, либо даже дороже. Оправдана ли подобная роскошь?. А как насчет соотношения цели и средств? Вопросы правомерны. Но надо иметь в виду, что в бурении применяются не ювелирные, а технические алмазы — мелкие, непрозрачные, неограниченные, а в последние годы — не только природные, но и искусственные, синтетические. Цены на такие камни, хотя и высокие, но вполне доступные для массового их применения, в частности для бурения.

При современном колонковом бурении в равной мере применяются как твердые сплавы, так и алмазы. Достаточный запас коронок того и другого типа всегда есть на буровой. Твердосплавными коронками проходятся наносы при забурировании скважин, а также участки с трещиноватыми породами; алмазные коронки наиболее эффективны в плотных монолитах, в массивах изверженных и метаморфических окварцованных пород.

Рис. 24. Твердосплавная коронка.

1 — корпус; 2 — твердосплавные резцы.

Твердосплавные коронки (рис. 24) в работе достаточно неприхотливы, и никаких проблем с ними обычно не возникает. Ни состояние забоя, ни характер разреза их применение особо не лимитируют. Опускай да бури, не забывая, разумеется, следить за промывкой. Они могут отбуривать любые породы — от вязких глин до достаточно твердых пород; правда, в таких разновидностях приходится слишком уж часто поднимать буровой снаряд и заменять изношенную коронку на новую.

Алмазы в бурении по своим свойствам — стойкости, выносливости, отдаче — не имеют конкурентов. И естественно, что как и все уникальные создания, они капризны и своенравны. Они требуют особого отношения к себе: заботы, внимания, терпения и даже любви. Иначе работать не будут. Не заставишь.

Во-первых, алмазы очень болезненно реагируют на присутствие посторонних предметов в скважине, особенно металлических. Любая крошка металла на забое, будь то кусочек изношенной трубы, случайно уроненный болтик или обломок твердого сплава, мгновенно выводит из строя даже новую коронку. Поэтому перед спуском алмазной коронки скважину приходится очень тщательно промывать сильной струей жидкости. Алмазы требуют совершенно чистого забоя — только горная порода и ничего более.

Рис. 25. Конструкция алмазной коронки.

/ — корпус; 2 — матрица; 3 — алмазы-резцы.

Аналогична их реакция на резкие удары и на сильную вибрацию. При неритмичной работе бурового инструмента (а такое случается при проходке трещиноватых пород либо при наличии в породах каверн и полостей) алмазы быстро крошатся и выпадают из коронки. Для борьбы с вибрацией приходится применять либо сложные приспособления (различные центраторы, амортизаторы, утяжеленные бурильные трубы), либо антивибрационные смазки, которыми покрываются поверхности бурильных труб и всех сочленений, либо специальные эмульсии.

В СССР история развития алмазного бурения, [6] основанного на широком применении отечественных якутских алмазов, исчисляется неполными тремя десятилетиями. Научно-исследовательские работы по этой проблеме, начатые практически с нуля, ведутся также на протяжении очень короткого времени по сравнению с историей алмазного бурения в западных странах. И тем не менее наша наука об алмазном бурении и техника для его осуществления находятся на современном мировом техническом уровне.

Основная сложность при работе с алмазами состоит в том, что для каждой разновидности пород необходимо очень тщательно подбирать соответствующую ей марку коронки. Почему? Для начала давайте посмотрим, что представляет собой керновая алмазная коронка (рис. 25). Короткий тонкостенный цилиндр-корпус в верхней части имеет ленточную резьбу для соединения с расширителем либо непосредственно с колонковой трубой; в нижней торцевой части находится матрица — кольцевой металло-керамический сплав, включающий в себя мелкие технические алмазы. В матрице делаются прорези-каналы для выхода промывочной жидкости.

Диаметры таких коронок меняются от 26 до 112 мм (всего выпускаются коронки семи стандартных размеров). Коронки малых размеров применяют для лабораторных исследований и при поисковом бурении, средние — при разведке месторождений на глубинах до 1000–3000 м, большие — при проходке скважин на уголь и при различных инженерных исследованиях.

По крупности алмазов, а также по способу размещения их в матрице алмазные коронки бывают двух типов: однослойные с поверхностной вставкой алмазов в матрице и импрегнированные, в которых очень мелкие зерна алмазов равномерно рассеяны по всей массе матрицы. Во всех случаях по мере углубки скважины матрица постепенно снашивается, все более обнажая ал-

мазы.

Крупность и масса алмазов измеряются в каратах. Название произошло через итальянское *carato* от греческого названия стручков рожкового дерева *keration*. Масса сухих косточек плода этого растения, удивительно идентичных друг другу, служила в древности единицей массы сначала для жемчуга, а затем и для других драгоценных камней. Международной единицей карат стал в 1913 г., после того как Международный комитет мер и весов в Париже предложил принять метрический карат, равный 200 мг (или 0,2 г), в качестве официальной единицы измерения.

Масса алмазов, встречающихся в природе, изменяется от тысячных долей карата до нескольких сотен и тысяч карат. Самый крупный найденный на Земле алмаз, названный «Куллинан», весил 3106 карат. Чаще же всего попадаются мелкие кристаллы и их обломки массой от 0,05 до 0,4 карата.

В технике сейчас применяют алмазы в количествах, измеряемых тысячами и миллионами карат, поэтому для перевода полезно запомнить: 1 г = 5 карат; 1 кг = 5000 карат; 1 тонна = = 5 000 000 карат.

Однослойные коронки армируются алмазами крупностью от 2–5 до 90 штук на один карат. В импрегнированных коронках применяются такие алмазы, которых на один карат приходится от 120 до 600 штук (!) и более (до 2000); в сущности, это уже тонкий алмазный порошок, разглядеть отдельные зерна в нем можно только под микроскопом. Общая масса всех алмазов в коронке колеблется от 3 до 24 карат, т. е. обычно не превышает одного-пяти граммов.

Импрегнированные алмазные коронки предназначаются для бурения особо твердых и трещиноватых пород с высокими абразивными свойствами, однослойные — менее твердых разновидностей. В мягких породах, таких как известняки, мергели, доломиты, применяются специальные коронки с крупными (от 2 до 12 штук на один карат) алмазами.

Весьма существенную роль играет и прочность самой матрицы. По твердости и износоустойчивости матриц выпускаемые сейчас коронки подразделяются на три типа. Если в твердых, абразивных породах поставить коронку с мягкой матрицей, то она быстро изнашивается — алмазы выпадут, коронку придется заменить. И наоборот, — очень твердые матрицы в неабразивных породах почти не стачиваются (как говорят в таких случаях, — «коронка заполировалась») и алмазы перестают работать.

Таким образом, алмазные керновые коронки имеют семь разновидностей по размерам, две — по характеру распределения

зерен, три — по твердости матриц и множество — по крупности алмазов и по общей их массе. Если же представить, что все эти разновидности еще сочетаются между собой (например, коронки диаметром 59 мм могут быть однослойными и импрегнированными, каждая из них имеет три типа матриц, которые в свою очередь армированы различными алмазами...), то получим длинный ряд коронок различных марок. И все они выпускаются промышленностью, и все находят себе применение. Главное — подобрать для отбуриваемой породы соответствующую ей марку коронки. Тогда и отдача от алмазов будет максимальной, не сравнимой с возможностями никакого другого материала на Земле, ни природного, ни искусственного. Таковы алмазы.

Насколько мы убедились, осложнений при работе с алмазным инструментом бывает более чем достаточно. Однако если набраться терпения и исполнить все прихоти этого капризного материала (хорошо вычистить забой, избавиться от вибрации, подобрать нужную коронку и тщательно следить за режимом работы станка), то алмазы с лихвой оправдают себя пробуренными метрами скважины, причем пройдена она будет на большой скорости при высокой стойкости (высоком ресурсе) коронок, а следовательно, с малым числом трудоемких подъемов бурового снаряда на поверхность.

Запасы природных технических алмазов, как и любого другого минерала на Земле, ограничены. А бурно развивающиеся из года в год геологоразведочные работы требуют для бурения все большего и большего количества алмазных коронок. Поэтому в нашей стране успешно используются в буровом инструменте синтетические алмазы.

Попытки синтезировать алмазы начались практически сразу же после того, как стало известно, что графит и алмаз состоят лишь из углерода, но синтезирован алмаз был только в 50-х годах текущего столетия. Однако создать алмаз в лаборатории — это полдела. Главное — наладить его производство в промышленности. В наши дни во многих странах (СССР, ЧССР, Англия, США, Япония, Франция и др.) выпускаются искусственные алмазы. Постоянно совершенствуются и методы синтеза алмаза, так как развитие техники и промышленность непрерывно требуют новых видов сверхтвердых материалов повышенного качества.

Кроме монокристаллов были синтезированы поликристаллические алмазы типа «баллас» и «карбонадо». Алмазы этого типа, встречающиеся и среди природных алмазов, состоят из мелких кристаллов, соединенных между собой. Для применения в технике поликристаллические материалы в ряде случаев предпочтительнее, поскольку их свойства по различным направлениям

одинаковы. Искусственные баллас и карбонадо по прочности не уступают природным алмазам. Буровые коронки из дробленого синтетического карбонадо по работоспособности даже лучше коронок, оснащенных естественными алмазами.

Ради справедливости следует отметить, однако, что для бурения в особо сложных геологических условиях (твердые, раздробленные, трещиноватые, абразивные породы) по-прежнему используют природные алмазы. Но связано это не со свойствами синтетических карбонадо, а скорее, с применяемыми ныне способами изготовления буровых коронок. Матрица этих коронок, в которой размещаются алмазы, делается из весьма тугоплавких металлов, значит, для изготовления коронок нужен длительный нагрев при очень высоких температурах. Синтетический же карбонадо включает в себя значительное количество примесей металлов, применяемых при синтезе алмаза. При нагревании эти примеси взаимодействуют с алмазными зернами и поликристаллический материал теряет свою прочность. К сожалению, при остывании прочность уже не восстанавливается.

Низкая термопрочность синтетических карбонадо, т. е. уменьшение его прочности после нагревания, заставила ученых искать новые способы получения подобных материалов, но обладающих высокой термопрочностью. И такой способ был найден, это — спекание тонких алмазных порошков при высоких давлениях. Спекаемые алмазные материалы называют «спёками» или «компактами».

В настоящее время синтетическими алмазами все настойчивее вытесняются технические природные. Росту доли применения синтетических алмазов в технике способствует в значительной степени меньшая их стоимость. Например, в мире (без СССР) синтетические алмазы составляют в технике по массе около 80 % всех алмазов, тогда как их стоимость выражается всего лишь 25–30 % от общей стоимости всех алмазов.

Основными потребителями синтетических алмазов является не только машиностроение (станко-, самолето-, кораблестроение), но и геологоразведка, где отдача от одного карата применяемого при бурении алмаза особенно велика.

А теперь давайте поговорим об использовании, бурения в геологии и постараемся уяснить,—

Что дает бурение при поисках месторождений

Каждое месторождение обычно проходит через три вполне определенные стадии: геологическая съемка — поиски — разведка. Постепенно месторождение, подобно автомобилю при его изготовлении на гигантском конвейере, переходит из рук в руки, вес более обрастая новыми деталями — сведениями. И на каждом этапе бурение играет весьма существенную, если не главную, роль.

Первую страницу открывают съемщики. А что такое геологическая съемка, или геологическое картирование? На этот вопрос отвечает член-корреспондент АН СССР Е. Е. Милановский: «У каждой науки есть свой язык, своя терминология, свои исторически сложившиеся формы и приемы фиксации и графического выражения накопленных ею фактов, вскрытых закономерностей. Имеется свой „графический язык“ и у геологии... *Геологическая карта*».

Большое внимание к составлению геологических карт и значительные средства, выделяемые на проведение геологической съемки, обусловлены не только их огромным научным значением для познания истории и структуры Земли, но и в первую очередь тем, что геологическая съемка и составляемые в ее процессе карты служат важнейшим средством поисков месторождений полезных ископаемых, выходящих на земную поверхность или залегающих вблизи нее. Карты содержат необходимые данные для научного прогноза вероятного присутствия месторождения в том или ином районе, на что указывает распространение в его пределах потенциально рудоносных, угленосных, нефтеносных, соленосных горизонтов, тел или других геологических образований.

Составление геологических карт различных масштабов, зародившись в середине XIX века, остается до наших дней основным методом геологических исследований крупных регионов. Методика геологической съемки постепенно совершенствовалась, правила составления геологических карт унифицировались, В частности, были разработаны единая шкала условных цветовых обозначений и система индексов-символов для показа на картах крупнейших геологических образований. Эта шкала была предложена в 1881 г. делегацией русских геологов во главе с А. П. Карпинским на II сессии Международного геологического конгресса (МГК) в Болонье. С незначительными изменениями она

используется во всех странах до сих пор.

За полтора века, прошедших со времени появления первых карт, геологическое картирование распространилось на все страны и континенты и проводится все в более широких масштабах. По существу на Земле не осталось участков суши (за исключением Антарктиды и Гренландии, покрытых ледниковыми щитами), не охваченных геологической съемкой и не изображенных на геологических картах.

В последние годы геологические карты стали составляться и для дна морей и океанов, и в первую очередь для их шельфовых, мелководных участков. Так, на геологической карте, подготовленной советскими геологами к XXVII сессии МГК (август 1984 г., Москва), впервые показано геологическое строение не только территории нашей страны, но и дна омывающих ее морей.

В развитии геологического картирования бурение сыграло качественно новую роль. Так, долгое время задачей создания карт оставалось геологическое изображение земной поверхности, а не глубинного строения Земли. В результате научно-технического прогресса последних десятилетий, выразившегося в геологии мощным развитием техники и технологии глубокого бурения; разработкой новых, дистанционных, методов исследований (геофизических, геохимических, аэрокосмических), появилась возможность решать задачи «объемной» геологической съемки. Сущность такой съемки заключается в том, что данные детального геологического картирования земной поверхности, полученные с помощью бурения и геофизических исследований, последовательно распространяются на все большие глубины.

Съемщики работают на больших площадях и приходят, в сущности, на «белый лист»... Нам могут, тут же возразить: что, мол, «белых пятен» давно нет, что вся территория Советского Союза уже покрыта геологической съемкой двухсоттысячного масштаба, что поверхность суши нашей страны полностью исхожена через 1–2 км и, следовательно съемщики выходят не на «белый лист», а на достаточно пестро раскрашенную геологическую карту.

Отсюда правомерен вопрос: зачем переделывать уже проделанную работу? Есть ли смысл в подобном дублировании?

Есть и смысл, есть и необходимость. Во-первых, не следует забывать, что любая геологическая карта со временем морально стареет. Срок ее жизни 15–20 лет. Не более. За это время появляются новые методы исследований: геофизические, геохимические, радиометрические; открываются и ранее не известные полезные ископаемые: редкоземельные, радиоактивные и другие. В результате съемку приходится проводить заново, с новой аппара-

турой, с новой оснащенностью, имея па вооружении все современные достижения науки и техники.

А во-вторых, сейчас в корне изменились требования и сам подход к геологической съемке. Если раньше при картировании изучалась только земная *поверхность* и строение Земли изображалось в одной плоскости, то теперь съемщики исследуют *объем*, они создают огромные блок-диаграммы, построенные не на домыслах, а на надежных фактических материалах.

Поясним: раньше съемщик ходил по земле (как говорится, — «исхаживал площадь») и тщательно изучал все, что он мог увидеть глазами и обстукать молотком: коренные породы, развалы горных пород, отдельные обломки, и по этим разрозненным данным рисовал геологическую карту. О том, что есть в недрах, на глубине (особенно на площадях, закрытых болотами и мощными наносами), ему приходилось домысливать. Теперь же съемщик не только ходит, но и надолго приостанавливается. Он внимательно рассматривает недра в «подземные перископы» — скважины. С этой целью на узловых участках отбуривают ряды глубоких скважин (так называемые «опорные профили»), а на закрытых площадях — сотни более мелких (здесь уже проводится «бурение по сетке»). В схеме все это выглядит примерно так, как показано на рис. 26.

При двухсоттысячной съемке опорные скважины обычно располагаются на расстоянии 30–40 км одна от другой. Как правило, они вертикальны и глубина их не превышает 400–500 м. Отбуривают эти скважины подвижными установками, смонтированными на автомобиле либо на тракторе. Для бурения мелких картировочных скважин созданы легкие переносные станки с двигателем от мотовелосипеда. Таким станком два человека за одну смену отбуривают несколько скважин, а за весь полевой сезон могут покрыть солидную площадь.

Роль бурения на съемочной стадии, разумеется, не ограничивается только картировочными, познавательными целями. С помощью скважин решаются и более конкретные, сугубо практические задачи. Когда мы говорили о том, что съемщик начинает с «бело! о листа», то подразумевали прежде всего, что он выходит на площадь, где месторождений пока не обнаружено, но они вполне могут быть. Так что основная обязанность съемщика — по ряду косвенных признаков установить, какое и где именно ожидать месторождение. Одним словом, съемщик должен сказать: «копайте здесь!» Собственно, он говорил это и раньше, но тогда добавлял: «здесь может быть», а сейчас он совершенно твердо заявляет: «здесь есть!», ибо сразу же на месте проверяет скважинами все свои догадки и предположения.

Рис. 26. Схема расположения скважин при картировочном бурении.

Рис. 27. Загадка рудной залежи.

Очень часто съемщик в процессе работ кроме аномалий и ореолов обнаруживает и так называемые «прямые признаки»: куски руды и даже коренные выходы цепных пород. Но что это? Случайная находка или первый вестник месторождения? «Остаток» ли это или «головка» крупного рудного тела? Раньше съемщики определенного ответа на подобные вопросы не давали (рис. 27). А теперь? Теперь они сразу же отбуривают одну или несколько скважин и однозначно устанавливают, есть рудная залежь или нет, и, если есть, то передают все материалы поисковикам.

У поисковиков задачи более конкретные. Они прежде всего должны выяснить, что собой представляет рудное тело: жилу, шток, линзу или пластовую залежь; какова его форма и примерные размеры; сколько полезных компонентов содержит порода и велика ли ценность сырья.

Для решения всех этих задач поисковики, как правило, поселяются на несколько месяцев в непосредственной близости от своего «объекта» и исследуют его различными способами. Если рудное тело выходит на земную поверхность, то его вскрывают канавами, расчистками, шурфами, а если является «слепым», то бурят скважины. Впрочем, бурить скважины приходится в любом случае.

Что же конкретно делают поисковики?

Прежде всего они прослеживают тело на глубину (точнее, по падению), для чего отбуривают целый профиль скважин (теперь он называется «поисковым»), располагающихся на определенном расстоянии друг от друга. В разрезе это выглядит примерно так, как на рис. 28. Затем тело прослеживается в длину (или по простиранию). С этой целью отбуривается еще один ряд скважин, задаваемых с таким расчетом, чтобы каждая из них пересекла тело на одной и той же глубине, скажем 40–50 м.

Для поисковиков этого вполне достаточно. По канавам и скважинам можно уже довольно определенно судить о форме и размерах месторождения и о его промышленной ценности. Можно дать и одно из двух заключений: надо сворачивать работы из-за бесперспективности объекта либо целесообразно продолжать изучение его на стадии разведки.

Рис. 28. Проверка бурением рудной залежи при поисковых работах.

Разведчики располагаются на объекте всерьез и надолго. Они строят себе поселок и живут в нем постоянно, зимой и летом. У разведчиков задачи еще более конкретные и ответственные — они должны дать горнякам-эксплуатационникам все сведения о месторождении: точные размеры рудного тела, качество сырья, гидрогеологические условия в районе и многое другое. В заключение они должны рассчитать экономическую эффективность будущей отработки месторождения.

Для решения всех этих задач разведчики бурят десятки, сотни скважин. Целую сеть. Так это и называется — «бурение по сетке». Плотность сети, т. е. расстояние между скважинами, зависит от размеров тела и от характера распределения в нем полезных компонентов. На плане земной поверхности буровая разведка в схеме выглядит, как на рис. 29.

Рис. 29. Схема буровой разведки.

По завершении всех этих работ разведчики дают рекомендации: приступать ли к отработке месторождения либо для надежности необходимо пройти еще и подземные горные выработки, т. е. провести *детальную разведку*. Но и на стадии детальной разведки буровые работы ни в коем случае не прекращаются. Напротив, проводится дальнейшее сгущение разведочной сети и исследуются фланги и глубокие горизонты в районе месторождений. Посмотрим теперь,—

Какие трудности возникают при бурении

На поисковой и разведочной стадиях, как правило, отбуривают наклонные скважины, и основная сложность при бурении состоит в том, что стволы всех этих скважин так или иначе искривляются, уходят от заданного направления. Геометрически ровных и прямолинейных стволов не существует. Причину искривлений объяснить нетрудно: породы земной коры имеют различные плотность, пористость, твердость и рассечены многочисленными трещинами, а буровая коронка старается идти по пути наименьшего сопротивления, по ослабленным зонам. В слоистых толщах она стремится занять положение, перпендикулярное к слоистости либо к напластованиям.

Но все это геологические предпосылки, а основная причина искривления скважин заключается в конструкции бурового снаряда и породоразрушающего инструмента. Несмотря на кажущуюся жесткость бурильной колонны (как-никак стальные трубы), она имеет столь большое отношение общей длины (измеряемой сотнями метров) к диаметру (обычно 50–54 мм), что при работе, тем более под нагрузкой, колонна изгибается подобно тонкому пруту. Однако даже сильное искривление отнюдь не препятствует вращению инструмента, разве что несколько увеличивает трение труб о стенки скважины в точках перегиба. В результате скважина может «выположиться», а может и «выкрутиться» (рис. 30).

Она может и вообще пойти «штопором». Буровики рассказывают, что бывали случаи, правда из числа курьезных, когда скважина в горной местности, сильно изогнувшись, выходила даже на поверхность в сотнях метров от своего устья.

Так что каждая скважина очень своенравна, и предугадать, куда она пойдет в тот или иной момент, на практике весьма трудно. И точных расчетных закономерностей тоже пока не установлено.

Выход из этого один — непосредственно в процессе бурения «вести» скважину в заданном направлении. Для этого надо прежде всего знать, как именно она ведет себя на глубине, куда ушла, как изогнулась. Залезать в скважину пока что не научились, подземная фотосъемка тоже не помогает. Впрочем, измерить углы наклона и азимут (направление) сейчас совсем несложно. Для этого существует специальный геофизический прибор — инклинометр, который передает на поверхность электрические им-

пульсы от миниатюрного компаса и отвеса, опускаемых в специальной гильзе в скважину. По серии измерений на разных глубинах отстраивают фактическую траекторию скважины. Только делать это надо очень оперативно, чтобы при малейшем отклонении от трассы успеть своевременно принять надлежащие меры.

Рис. 30. Выполаживание и выкручивание скважины.

Для борьбы с искривлениями существует множество способов. В частности, если скважина выполаживается, то «ужесточают» снаряд — добавляют к нему жесткие или массивные трубы; если же она выкручивается, то, наоборот, уменьшают жесткость системы. Небольших отклонений в нужном направлении можно добиться регулированием основных параметров бурения: частоты вращения или нагрузки на буровой снаряд.

Искусство бурильщика в том и состоит, чтобы простейшими способами, с минимальным набором имеющихся в его распоряжении средств провести скважину в заданном направлении. Опытный мастер может, например, на километровой глубине попасть скважиной в нужную точку с отклонением не более 10 м. Сделать это далеко не просто.

При сильных и неожиданных искривлениях применяют уже специальные приспособления, в частности, опускают в скважину отклоняющий клин. Конструкция клина элементарно простая. Однако высокой точности с ним получить невозможно, к тому же в любой момент он может повернуться вокруг своей оси, тогда все труды насмарку — забуривай новую скважину.

В последнее время для отклонения скважин созданы особые устройства, так называемые «бесклиновые отклонители». Это, в сущности, специальная приставка к буровому снаряду. Под давлением (т. е. при обычной нагрузке на породоразрушающий инструмент) из его корпуса выступают плашки, которые упираются в стенку скважины и с силой отклоняют буровой снаряд с коронкой в нужную сторону. С появлением такого устройства скважины стали легкоуправляемыми, и хотя буровики говорят, что «скважина — не автомобиль, — сразу не повернешь», но изменять ее направление оказалось возможным на любой глубине и притом довольно существенно. А раз научились отклонять скважину, то, значит, можно извлекать из этого пользу.

Представьте себе ситуацию: необходимо разведать нефтяную залежь под застроенной территорией (рис. 31). Другой случай — небольшое, но богатое месторождение находится на значительной глубине.

Рис. 31. Бурение направленных скважин на нефтяной залежи.

Задача — пересечь его скважинами через короткие интервалы, скажем через 20 м. Раньше это делалось так, как показано на рис. 32, а. А теперь? Бурим один основной ствол. Потом с помощью отклонителя на различной (по строго расчетной) глубине отклоняемся от него и отбуриваем серию дополнительных стволов (рис. 32,б). Вся разведка проводится с одной точки, без переездов и без демонтажа оборудования.

В итоге получаем двойную (как минимум) экономию: в объемах бурения, в сроках проведения работ, в расходе истирающих и других материалов и соответственно в общей стоимости разведки. Все это без ущерба для поставленной геологической задачи. Особо опытные мастера добиваются еще большей экономии. Они могут отвести новый ствол не из основного, а из дополнительно, потом из него еще один... Хотя бы так, как на рис. 32, в. Правда, столь филигранная работа доступна лишь истинным профессионалам, настоящим знатокам своего дела.

Рис. 32. Разведка рудного тела серией наклонных скважин (а) и многозабойными скважинами (б, в).

Точное проведение скважин, направленные искривления — отнюдь не единственная сложность в работе бурильщиков. Всехосложнейших осложнений существует великое множество, почти все они создают аварийные ситуации, для ликвидации которых от бурильщика требуются быстрая реакция и хорошая смекалка, но главное — опыт и знания. Аварии[7] при бурении неизбежны, возникают они постоянно и являются, хоть и не планируемой, но обыденной, чуть ли не закономерной частью производственного процесса.

Особенно неприятны геологические осложнения. Природа на сюрпризы никогда не скупится, и естественно, что далеко не однородные породы, пересекаемые скважиной, могут преподнести любые неожиданности. К примеру, на пути скважины вдруг возникает полость, каверна либо открытая трещина. Коронка начинает биться о стенки этой трещины, и весь станок трясет как в лихорадке. Надо очень быстро убрать нагрузку, иначе буровой снаряд может намертво заклинить на забое. Бурение при этом замедляется, хлопот бурильщику добавляется, но ничего не поделаешь — осложнение.

Из технических аварий чаще всего происходит обрыв колонны бурильных труб. При тех скручивающих усилиях, которые созда-

ются в процессе бурения, стальные трубы рвутся, если их не контролировать, довольно часто. Тут уж приходится действовать очень оперативно, ибо при обрыве прежде всего нарушается циркуляционная система и шлам, поднимаемый восходящей струей, сразу начинает оседать вниз, на забой. За короткий промежуток времени надо поднять верхнюю часть колонны, поставить на нее ловильный наконечник (обычно применяют либо метчик, либо колокол, которые способны быстро сделать свежую резьбу на гладкой трубе в месте ее обрыва и тут же одновременно навинтить самих себя на нее, снова опустить колонку на сотни метров, нащупать там, «поймать», оборванный конец труб, вцепиться в него и тащить... Задача далеко не из простых. Однако для бурильщика операция по нащупыванию обрыва и вылавливанию труб привычна и потому особых проблем не составляет.

Но не будем останавливаться на всевозможных осложнениях в скважинах. Перечислить их невозможно. Заметим главное: работа бурильщика однообразием отнюдь не отличается. Что ни смена, то головоломка, а чем она сложнее, тем интереснее ее разрешить и тем больше удовлетворения от собственной работы. Здесь постоянно приходится думать, решать, экспериментировать, действовать.

Но дело не только в авариях и осложнениях. Даже обычное, повседневное бурение — это ведь не монотонно стандартизованный труд, не конвейер и не поточная линия. Это труд творческий. Основные процессы при бурении невидимы, скрыты от глаз, и потому бурильщику кроме знаний и практических навыков необходимо иметь богатую фантазию и топкую интуицию — основанный на опыте дар предвидения. А все это — умение плюс фантазия и интуиция — и есть творчество.

И вообще, бурильщик в чем-то подобен врачу — терапевту либо хирургу. И бурильщику и врачу приходится ставить диагноз «вслепую», на слух, на ощупь, по ряду «жалоб» и косвенных признаков. Сопоставив все данные и уяснив для себя характер «недуга», они принимают необходимые меры. Правда, бурильщик, в отличие от хирурга, ко всему прочему и сложнейшие операции вынужден делать тоже «вслепую», опять-таки на слух, на ощупь, имея перед глазами только показания приборов и датчиков. Такова уж особенность его работы.

А каковы условия жизни бурильщика? Где он живет и как трудится? Кто входит в состав бригады и каковы взаимоотношения в ней? Исчерпывающе ответить на эти вопросы применительно ко всем случаям невозможно. Насколько разнообразны виды и способы бурения, настолько многообразны и условия жизни буровиков.

Мы уже говорили, что бурильщик может жить и в крупном городе, и в маленьком поселке, и в благоустроенной квартире, и в палатке либо в передвижном домике — «балке». Если он исследует дорожную трассу, то работает на пару с шофером или с трактористом; если отбуривает глубокую нефтяную скважину, то трудится в огромном коллективе с заводским укладом жизни. Все зависит от того, где именно и для каких целей проводятся работы.

Поэтому мы рассмотрим особенности работы буровиков только в самой распространенной отрасли — в поисково-разведочной геологии. Где и как работают буровики и -

Кто составляет буровую бригаду

Современная геологическая партия (экспедиция) — это солидное предприятие, осуществляющее обычно весь комплекс исследований в том или ином районе. Скажем, на одном участке проводят фундаментальные разведочные работы, еще на нескольких — поиски, а где-то на смежных площадях — съемку и картирование.

База партии обычно располагается в крупном поселке. Здесь имеются гаражи и механические мастерские, склады и общежития, контора и камералка, жилые дома. В состав такой партии входят от четырех до десяти буровых бригад различного целевого назначения: есть картировщики, отбуривающие опорные профили, есть поисковики и разведчики, а при наличии в партии детальных работ есть и подземщики. Все буровики постоянно живут на базе партии; имеют там отдельный дом, квартиру либо комнату в общежитии, но вот на работу они ездят все по-разному.

Картировщики, как мы уже отмечали, большую часть времени проводят в разъездах. Это своего рода «легкая кавалерия»: задание получено, по машинам и вперед — к намеченной точке за десятки километров. Если работа срочная, то вместе с буровой установкой отправляются еще несколько автомобилей, в которых едут две-три смены бурильщиков (для непрерывной круглосуточной работы). Везут также запас продовольствия, оборудования ну и, разумеется, легкие передвижные домики для жилья. Недельно-другую они проводят в полевом лагере, потом сворачивают его и делают новый бросок на очередную точку. Через некоторое время бригада возвращается на базу, отдыхает, ремонтирует технику, пополняет запасы, и снова в путь.

Буровики-разведчики ведут более оседлый образ жизни. Поскольку база партии, как правило, располагается в непосредственной близости от основного детально разведываемого объекта, то на работу бурильщики ездят в вахтовом автобусе либо на вездеходе и ежедневно возвращаются домой, на базу.

Ну а поисковики — у тех бывает по-всякому. Если их участок находится не очень далеко от поселка, то они ездят на работу, как и разведчики. Если же участок расположен в десятках километров, то они делают подбазу и на несколько месяцев поселяются там в палатках, передвижных домиках (балках), в легких сборно-разборных строениях. Однако даже в самых глухих углах, на самых отдаленных участках поисковики живут достаточно благоустроенно: у них всегда есть кухня-столовая, баня-парилка, красный уголок с телевизором либо с кинопередвижкой.

В последнее время (после того как вертолеты перестали быть роскошью и превратились в привычное средство передвижения) все чаще применяется вахтовый метод разбуривания отдаленных участков. В чем он заключается? Половина бригады вылетает на участок примерно на семь-десять дней. Буровики работают там по 12 часов в сутки; потом вертолетом забрасывается вторая половина бригады, а те, кто работал, возвращаются на базу, к семье, на недельный заслуженный отдых. Конечно, это довольно напряженная работа, но такой распорядок удобен и обычно устраивает буровиков. Те, кому такой режим не нравится, переходят в разведку либо на инженерно-исследовательское бурение.

Одна буровая бригада при поисково-разведочных работах обычно обслуживает один станок. Иногда для оперативности ей выделяется и второй — резервный — агрегат. Возглавляет бригаду *буровой мастер*, а в состав ее входят шесть-восемь бурнльщиков, работающих посменно. На вахту заступают по двое: *бурильщик* и его помощник — *помбур*. Первый отвечает непосредственно за бурение, его рабочее место рядом со станком, около приборов и рычагов. А второй осуществляет нее вспомогательные операции: собирает новый снаряд, заправляет двигатель, смазывает его, протирает, одним словом, обслуживает. Бурильщик выполняет более квалифицированную работу и потому имеет более высокий разряд — пятый, у помбура третий.

Однако четкого разграничения в их обязанностях все же нет: они делают общее дело, и от слаженности в работе, от взаимопомощи и взаимовыручки, от психологического микроклимата зависит конечный результат — пробуренные метры скважины. Несмотря на то что труд бурильщиков сейчас во многом механизирован и частично автоматизирован, одному человеку на буровой никак не обойтись, особенно во время спуско-подъемных операций. При подъеме бурового снаряда работа возможна только «в четыре руки»: мастер управляет рычагами лебедки, а помбур подцепляет бурильные трубы около устья скважины, развинчивает их и отставляет в сторону; то же и при опускании снаряда.

Кроме бурильщиков в состав бригады зачастую вводится еще несколько человек: тракторист, электрослесарь, плотники и даже освобожденный от смен буровой мастер; это все специалисты широкого профиля. Они составляют звено так называемых «монтажников». Зачем они нужны и в чем их обязанности? Пока бурильщики заняты на своем основном производстве, пока они «гонят метры», монтажники неспешно и обстоятельно готовят им фронт для дальнейших работ: расчищают подъездные пути к следующей скважине, на заболоченных участках настилают гати, при наличии резервной вышки устанавливают ее на

точке и даже забуривают новый ствол. В результате бурильщики, закончив одну скважину, сразу же, без отвлечений переходят на другую, затрачивая рабочее время только на «чистое бурение» (профессиональный термин буровиков). Монтажники в это время возвращаются к только что оставленному буровиками станку и начинают перевозить буровую вышку на очередную новую точку. Получается нечто вроде непрерывной поточной линии.

Монтажники, кроме всего прочего, составляют боевой резерв бригады. Коль скоро результаты их труда, в том числе и зарплата, зависят от набуренных метров, то они постоянно и очень активно подключаются к работе бурильщиков: помогают при сложных авариях, заменяют на смене заболевшего помбура или даже бурильщика, подвозят материалы и оборудование... Короче, их «хата» с краю никогда не бывает.

В целом буровая бригада вместе с монтажниками состоит из 12–14 человек. Как правило, это единый и очень дружный коллектив. Следует учитывать, что никто в бригаде не работает «на себя», по своим личным нормам. Все заняты общим делом, для всех существует только одна форма «готовой продукции» — пробуренная скважина, потому и наряд на проделанную работу закрывается на всех один.

Некоторая сложность заключается в том, что бригада работает посменно. Члены бригады собираются все вместе довольно редко: для решения особ важных вопросов, при крупных авариях в скважине, при перебазировании на новый участок ну и, разумеется, во время праздников и торжественных событий. Обычно же они встречаются лишь попарно — при приеме-передаче смен, «на пересменке», и то буквально на несколько минут. Остальное время, все восемь рабочих часов, особенно в вечернюю и ночную смены, двое работают вполне самостоятельно, без поминутного контроля со стороны бурового мастера либо руководства геологической партии. В таких условиях от каждого члена бригады требуется одно — трудиться честно и предельно добросовестно, с полной отдачей.

Как правило, буровые бригады работают по принципу — «подумай вперед», т. е. выполняя свою непосредственную работу, бурильщики никогда не забывают о тех, кто их сменит. Они стараются сделать все возможное, в частности своевременно ликвидировать любые неполадки в механизмах, загодя обеспечить буровую запасными коронками, трубами и запчастями, чтобы сменщики могли работать спокойно, без излишних забот и нервозности. К концу своей смены помбур обязательно готовит резервный буровой снаряд для очередного спуска в скважину (не для себя — для следующей смены), заправляет горючим бак на двигателе;

бурильщик старается сам провести тяжелые спуско-подъемные операции и передать сменщику станок на ходу, в начале очередного цикла бурения. И так поступает каждый. Так легче работать. Ведь всегда приятно сознавать, что о тебе позаботились, не менее приятно заботиться и самому.

В такой вот заботе и взаимопомощи заключен основной залог общего успеха. Бригада всегда имеет свои традиции, свои нормы поведения, обязательные для всех.

А теперь давайте рассмотрим бурение с материально-экономической точки зрения, т. е. поговорим на тему —

За что платят в бурении

Прежде всего, поисково-разведочное бурение подобно любому другому производству, будь то небольшая мастерская или станкостроительный гигант, должно быть рентабельным и экономически оправданным, во всяком случае неубыточным.

Казалось бы, странно говорить о прибыльности бурения, как и вообще о прибыльности каких-либо геологических изысканий. В геологии, в отличие от других отраслей промышленности, мы не имеем конечного материального «продукта» и не можем сравнивать ценность изделия с суммой затрат на его изготовление. Продукцией геологических изысканий являются отчет, рекомендации, технико-экономические обоснования для отработки месторождения. Ценность такого «продукта» весьма относительна, и потому все геологические работы, в том числе и бурение, проводятся в кредит, за счет авансов и государственных дотаций. Все затраты на поисково-разведочные исследования окупаются через много лет после их полного завершения — в процессе эксплуатации и отработки разведанного месторождения. Тем не менее в повседневной жизни определять эффективность геологических работ и следить за их рентабельностью не только можно, но и нужно. Каким образом?

Для проведения всевозможных исследований, включая бурение, давно уже разработаны и постоянно действуют твердые нормы, имеющие силу закона. Для геологических организаций существуют нормы на бурение в самых разнообразных условиях, всеми существующими станками, на любой глубине, в породах любой твердости. Все эти нормы сведены в единую книжку — «Справочник укрупненных сметных норм» (СУСН), состоящую почти целиком из таблиц, заполненных цифрами.

Прежде чем приступить к тем или иным изысканиям, составляют смету, в которой рассчитывают плановую стоимость всех видов работ. При расчетах учитываются все ожидаемые затраты. В частности, для бурения в их число войдут: зарплата бурильщиков и обслуживающего персонала; стоимость материалов — коронок, топлива, стройматериалов, труб; отчисления на износ, амортизацию и многое другое. В дальнейшем именно по сметной стоимости и финансируются изыскательские работы. Каждый месяц в банк предъявляются акты обмера выполненных объемов, и на основании их банк выдает кредиты, которые и расходуются в процессе дальнейших работ.

Однако фактические расходы никогда не соответствуют сметным данным, всегда возникают те или иные отклонения. Скажем,

вполне может оказаться, что коронок израсходовано меньше, чем положено по нормам, топлива — чуть больше, а по материалам вообще получена солидная экономия. Все эти расходы (фактические затраты) суммируются и сравниваются со сметной стоимостью выполненного объема работ. Если разница между проектной стоимостью и фактическими затратами получилась со знаком плюс, то проведенные работы прибыльны, а если с минусом — убыточны. А убытки в геологии приходится ликвидировать своими силами — за счет средств на другие работы, ибо банк сверхсметные расходы не оплачивает.

Конечно, подобные организационно-экономические вопросы находятся в ведении руководства геологической партии и к бурильщикам прямого отношения не имеют. Тем не менее самоустраняться им никак нельзя: надо постоянно следить за общим состоянием Дел, стараться экономить топливо и материалы, сокращать непроизводительные затраты, ибо в конечном счете все это влияет на их заработную плату. Как именно?

Для этого надо поподробнее рассмотреть основные принципы нормирования и оплаты труда бурильщиков. Нормирование для оплаты труда (в отличие от проектно-сметных норм, имеющих некие застывшие формы) никогда не стоит на одном месте, оно постоянно видоизменяется и совершенствуется. К нормированию в большинстве бригад зачастую относятся очень настороженно. Вот, мол, снова приехали нормировщики с секундомерами, опять будут ужесточать нормы и срезать расценки... К сожалению, далеко не все понимают, что главная цель в работе нормировщиков состоит не в том, чтобы обязательно что-то «ужесточать или срезать», а в том, чтобы добиться четкости в работе и, что еще важнее, усовершенствовать систему оплаты, сделать ее более современной и действенной, максимально использовать материальную заинтересованность.

Чтобы лучше представить существующую ныне систему оплаты труда, стоит хотя бы бегло проследить, как именно она развивалась.

Еще лет 30–40 назад почти все работы в геологических организациях, в том числе и буровые, оплачивались по *повременно-премиальной системе*. Хорошо ли трудился человек или так себе, лишь бы не прогуливал, а месячный оклад (или тариф) ему все равно выплачивался. Премирование было тоже весьма и весьма условным. Премии начислялись по принципу — «вроде бы старался человек, значит, премию можно платить», причем решающее слово в этом вопросе оставалось за основным руководителем (за начальником партии) и могло зависеть от его симпатий или антипатий, т. е. было достаточно субъективным. В результате

заинтересованность в работе — мизерна, производительность — незначительна. «Плюсы» в такой системе отыскать трудно, одни — «минусы».

После повременной была введена *сдельно-прогрессивная система*. В чем она состояла? К примеру, у тех же буровиков первая сотня метров оплачивалась, скажем, по десять рублей, вторая — по пятнадцать, третья по двадцать, и так далее. Дополнительного премирования не было, однако здесь уже появился первый «плюс» — стимул. Правда, стимул этот был неопределенным и, естественно, имел некий потолок. Бесконечное увеличение прогрессии привело бы к абсурду, поэтому после 400 метров дальнейшее повышение расценок прекращалось и как бы подразумевалось, что больше этого предела пробурить за месяц невозможно. (Заметим, что сейчас многие бригады колонковым способом набуривают по 600–700 метров и более.) Следует сказать, что сдельно-прогрессивная система позволила, однако, разработать твердые нормы на все виды геологоразведочного бурения в любых условиях.

После создания этих норм выработки появилась возможность перейти на *сдельно-премиальную систему*. Здесь уже все метры бурения оплачивались по постоянным сдельным расценкам: бури хоть 400, хоть 500 метров, заработок будет неуклонно возрастать. Кроме того, был наведен порядок в системе премирования. При выполнении и перевыполнении норм начислялась совершенно определенная добавка к сдельному заработку, т. е. премия получила узаконенные права и перестала зависеть от какого-либо одного лица. Есть результаты, есть цифры — с арифметикой не поспоришь.

Однако нормирование в тот период было еще недостаточно совершенным (оно, так сказать, проходило еще школьный курс обучения). Некоторые нормы оказались сильно заниженными, и поэтому суммарный размер премии был искусственно ограничен; в частности, буровики имели право получать не свыше 30 % от своей зарплаты. Это был первый существенный недостаток в сравнительно прогрессивной системе.

Второй недостаток заключался в том, что при сдельной оплате учитывались все виды работ, выполняемые бригадой, и отмечалась в отдельности каждая операция: перевозка вышек, монтаж — демонтаж оборудования, непосредственно бурение, прокладка дорог и другие вспомогательные работы — и все рассчитывалось по своим нормам. Месячные наряды представляли собой длинейший перечень — целую пачку различных справок и бумаг. Громоздко и совершенно ненаглядно. Можно было выполнить совсем небольшой объем бурения, а «накрутить» на него вполне

приличный заработок благодаря всяким вспомогательным работам. Удовлетворения от такого расчета не получали даже сами буровики.

Этот второй недостаток сдельной оплаты был устранен на очередном этапе нормирования — при переходе на *комплексные расценки*. При этой системе всё, абсолютно всё, ставится в полную зависимость от главного показателя работ; для буровиков — от пробуренных метров. Основой всего является *результат*, цель, а средства для достижения этой цели как бы отходят на второй план. Как это достигается? Рассчитываются нормы и расценки на все вспомогательные и сопутствующие работы, необходимые для бурения одного метра, и все они объединяются со стоимостью этого метра. В итоге получается так называемый «комплексный метр».

В нарядах начала фигурировать только одна строчка, состоящая из трех цифр: количество метров, пробуренных бригадой за месяц, комплексная расценка и их произведение — суммарный заработок бригады. На обороте наряда производился расчет для каждого члена бригады в отдельности с учетом его рабочего разряда и числа отработанных смен. Просто и наглядно. Однако премирование при этой системе сохраняется в той же форме, как и при сдельной оплате, — не свыше 30 %. К тому же никак не оценивается качество работ и отсутствует какая-либо заинтересованность в экономии средств, материалов и прочего.

И наконец, в последние годы возникла еще более совершенная форма оплаты — *бригадный подряд*. При бригадном подряде в корне изменяются и отношение к работе, и взаимоотношения с руководством партии, со вспомогательными службами, да и климат в самой бригаде. Бурильщики становятся полноправными хозяевами своей буровой, и сами, без подсказок и мелочной опеки, решают, как им следует жить и работать. В организационном отношении бригада становится вполне самостоятельной единицей.

Прежде всего бригада заключает с руководством партии официальный договор, имеющий юридическую силу, на выполнение определенного объема работ, скажем, обязуется пробурить пять скважин общей глубиной 1500 м. Эту работу она должна выполнить к такому-то сроку (срок рассчитывается по уже существующим комплексным нормам). Руководство партии, со своей стороны, должно выплатить бригаде за эту работу конкретно указанную сумму зарплаты. Далее в договоре дается перечень дополнительных условий и поощрений, в частности: за выполнение работы в срок, скажем, 20 % этой суммы; за каждый день досрочного выполнения — еще 2 %; за экономию материалов (коронки, ме-

талла, топлива), а также за экономию по статьям «услуги» и «транспорт» — еще 50 % от суммы сэкономленных средств.

Кроме всего прочего при бригадном подряде введен совершенно новый показатель — оценка качества работ. За отличное качество полагается дополнительно 20 % премии, за хорошее — 10 %, за удовлетворительное — нуль. Неудовлетворительная работа вообще не оплачивается, она переделывается. Оценивает работу комиссия, в которую кроме руководителя партии входят геолог и инженер по технике безопасности, экономист и бухгалтер.

И наконец, самое важное — размер премии при бригадном подряде перестал быть лимитированным. Бригада, если она того заслужила, может получить хоть 100, хоть 150 % к зарплате. В результате таких нововведений производительность труда на бурении возросла, как минимум, на треть. Если раньше перевыполнять нормы больше чем на 10 % не имело смысла — дальше премия не возрастала, то теперь учитывается все: и объем, и качество, и сроки работ.

Далее, экономия материалов. Бурильщики стали гораздо более бережно относиться к своему хозяйству. Если раньше случалось, что коронку опустили раз-другой в скважину, она чуть поизносилась, ее сразу меняют на новую, то теперь коронки используются до рационального износа. А каждая коронка стоит от 40 до 80 рублей. Если раньше десятки отслуживших труб выбрасывались за негодностью (хоть железорудное месторождение на месте буровой открывай), то сейчас трубы перенарезают — и снова в работу. Или, скажем, горючее. Его ведь иногда и в костер подливали, чтобы ярче горел, а теперь — экономят. То же самое и с «услугами». Раньше для ремонта вызывали слесарей из мехцеха, теперь им говорят: «не нужны, станок нас кормит и мы сами о нем позаботимся». В итоге бригада стала получать по всем статьям экономию и заработок бурильщиков возрос.

Мы говорили об оценке качества. А что сюда входит? Много: процент выхода керна и аккуратность укладки его в ящики, своевременность различных измерений и точность проводки ствола скважины в заданном направлении, соблюдение правил техники безопасности и общий порядок на буровой, внешний вид вышки да и самих бурильщиков. Культура производства, одним словом. Каждое из этих дел особой сложности не представляет и много времени не требует, но все они очень важны. Они способствуют более четкой организации работ, развивают уважение к своему рабочему месту, а следовательно, к своему труду и к труду окружающих людей.

Конечно, прежде чем начать работать по бригадному подряду, совершенно необходимо было пройти все промежуточные этапы

и стадии. Без них мы не смогли бы накопить достаточного опыта и, если бы попытались от повременной системы перейти сразу к бригадному подряду, то это было бы равносильно попытке поступить после детского сада сразу в аспирантуру.

Однако при всех положительных качествах бригадный подряд вовсе не является какой-то идеальной и законченной формой. В этой системе уже сейчас обнаруживаются те или иные недостатки. Бригадный подряд продолжает развиваться и совершенствоваться. Во что именно он превратится, чем будет заменен в будущем, — предугадать пока что сложно.

А вот что касается дальнейшего развития техники и технологии бурения, то тут можно прогнозировать более определенно. Посмотрим,—

Где еще предстоит бурить

Какой будет наша профессия в будущем, что предстоит знать, уметь и делать? Уже входят в жизнь бурильщика и ЭВМ для обработки данных и проектирования технологии, и автоматизация процесса бурения, и оптимизация поиска эффективных режимов работы.

Расширилась география бурения. Мы уже бурим не только на суше, но и на море — с морского дна и с водной поверхности, в Антарктиде с многокилометровых толщ льда. И наконец, думаем над выходом за земные пределы и даже начинаем работать там: бурение на Луне, планетах, других космических телах.

В последние десятилетия стремительно растет добыча полезных ископаемых со дна морей и океанов. Сейчас около 40 % мировой добычи нефти дают морские промыслы. Крупные месторождения газа эксплуатируются под водами Северного моря. У берегов Аляски моют золото морские драги, у берегов Намибии добывают алмазы, у берегов Шри Ланки и Западной Австралии из морских россыпей извлекают минералы, содержащие титан и цирконий. Ряд стран готовятся к промышленной добыче с океанического дна железомарганцевых конкреций, содержащих также кобальт, медь, цинк. Подсчитываются запасы полезных ископаемых в морских месторождениях у западных берегов Африки и Америки. Ученые полагают, что в перспективе есть реальная возможность добычи полезных ископаемых на подледных территориях Антарктиды и Гренландии.

А пока надо готовиться, учиться, искать, вести разведку, бурить в таких условиях. Уже существуют новые ветви геологоразведочного бурения: морское, антарктическое, сверхглубокое. В лабораториях НИИ и КБ зарождаются почти фантастические ветви: селеноразведочное, планеторазведочное...

Мы уже рассказали, хотя и коротко, о достижениях сверхглубокого бурения. Теперь рассмотрим еще три ветви бурового дерева: бурно развивающееся в научном и практическом плане *морское бурение*; в основном научно-исследовательское по цели и по способу осуществления *антарктическое*; фантастическое и одновременно реальное *космическое бурение* вне Земли. Во всех этих видах бурения уже проступают черты специалиста-буровика будущего.

Чтобы детальнее ознакомиться с этими областями науки и техники, мы воспользуемся следующим методом. Зададим интересующие нас вопросы авторитетным специалистам, среди которых: министр геологии СССР, доктор технических наук, профессор

Евгений Александрович Козловский; проректор Ленинградского горного института, доктор технических наук, профессор Борис Борисович Кудряшов; ректор Тюменского индустриального института, доктор технических наук, профессор Виктор Ефимович Копылов, другие ученые и даже... французский исследователь, океанолог Клод Риффо. Взять своеобразные «интервью» у этих ученых, получить ответы на интересующие наших читателей вопросы помогли нам их книги, научные труды, доклады и выступления на совещаниях, публикации в журналах и газетах.

Морское бурение

«О, если бы все труды, заботы... были бы обращены на пользу мирного и ученого мореплавания, не токмо были бы уже открыты давно известные земли в обитаемом свете... но могли бы быть обнаружены неустанным усердием людей тайны дна морского» (М. В. Ломоносов).

«Океан — это самое настоящее Эльдорадо... которым нелегко овладеть» (Клод Риффо. «Будущее — океан»).

Проникнуть под морское дно — мечта прошлого и быть настоящего.

Рис. 33. Этапы развития морских буровых установок.

Морское бурение, хотя оно и имеет весьма короткую историю, измеряемую всего несколькими десятилетиями, тем не менее уже прошло ряд принципиально различающихся этапов: искусственные острова — стационарные, самоподнимающиеся, погружные, полупогружные буровые установки — буровые суда — подводные буровые установки (рис. 33). Процесс развития методов и технических средств для бурения при поисках, разведке и особенно при эксплуатации морских месторождений (в первую очередь месторождений нефти и газа) идет настолько бурно, что самые современные конструкции буровых установок в ближайшем будущем могут стать уже «историческими экспонатами».

Рассмотрим некоторые из этих этапов.

Первые попытки подобраться к морской нефти заключались в простой идее осушения мелководной богатой нефтеносной площади моря и в последующем бурении здесь скважин. Так, в частности, началось бурение на Каспийском море.

«Мы — на Биби-Эйбате, где люди отнимают у моря часть его площади для того, чтобы освободить из-под воды нефтеносную землю. Каменная плотина отрезала у Каспия большой кусок, образовался тихий пруд, среди него дерзко возвышаются клетки

буровых вышек, в клетках возится, поскрипывает железо, просверливая морское дно, мощные насосы выкачивают мутно-зеленую воду пруда в море, взволнованное дерзостью людей» (А. М. Горький. Очерк «По Союзу Советов» в журнале «Наши достижения», 1928 г.).

Впервые подводное бурение с нефтяной вышки, установленной на платформе со свайным основанием, проводилось в 1933 г. на озере Маракайбо в Венесуэле. Затем, в 1936 г. такие же вышки появились и в Мексиканском заливе, где соорудили буровые площадки, соединенные с берегом деревянными эстакадами. Промышленная же эксплуатация подводных нефтяных залежей началась в 1938 г. у побережья штата Луизиана (США). Систематическими поисками подводных нефтяных месторождений занялись значительно позже — в 1954 г., и с тех пор во всем мире пробурено более 10 тысяч морских нефтяных скважин.

Уже давно эксплуатируются нефтяные месторождения на Каспийском море в СССР. При этих словах в памяти читателя встает свайный город Нефтяные Камни... Стальные эстакады, соединяющие буровые вышки с берегом, протянулись здесь на сотни километров (рис. 34).

Рис. 34. Каспий, «Нефтяные Камни».

Необходимо, однако, прежде чем мы подробнее рассмотрим этапы истории морского бурения, сказать несколько слов о тех специфических трудностях, которые связаны с работой в море и осложняют освоение подводных месторождений.

Главные проблемы обусловлены наличием мощного водного слоя на пути к нефтяному месторождению, а также подвижностью этого слоя — волнами и течениями. А буровую необходимо постоянно удерживать на заданном месте, иначе произойдет авария. И точное определение этого места — тоже проблема не из легких. Значительную сложность представляют, осмотр и обслуживание бурового оборудования, особенно если оно установлено на больших глубинах, — знание характеристик дна в глубоководных районах, как правило, приблизительное. Нужны также средства и способы доставки людей для контроля на такие глубины.

Приходится помнить, наконец, что море — это стихия. Оно опрокидывает, уничтожает, разъедает рукотворные сооружения, не дает легко себя победить... Газеты, радио, телевидение сообщали о сметенных штормовыми валами буровых платформах в Северном море и Мексиканском заливе, о затонувших вблизи норвежских берегов буровых судах с оборудованием для морских

нефтепромыслов, о разрушенном волнами гигантском резервуаре для нефти, обломки которого ушли на дно Бискайского залива. Известны и другие такие же драматические истории, связанные с освоением нефтяных богатств морей и океанов. Степень риска из-за неожиданных капризов стихии на море гораздо выше, чем на суше. Да и капитальные вложения должны быть более значительными, хотя прибыль может оказаться ниже среднего уровня для нефтяной промышленности в целом.

Далее. При разведке и эксплуатации морских нефтяных месторождений приходится не только решать задачи, лежащие в области техники, но и думать о том, как предотвратить загрязнение окружающей среды. А это далеко не всегда удается. Так, при случайном взрыве на буровой вышке в проливе Санта-Барбара прорвало трубопроводы и прекрасные пляжи Калифорнии покрылись слоем нефти. После этого были разработаны специальные меры, призванные уменьшить вероятность подобных аварий, но соблюдение этих мер привело к удорожанию разведки и эксплуатации морских месторождений.

И наконец, для того чтобы вести бурение с поверхности моря, необходимо иметь соответствующее буровое оборудование: вышку, двигатели, насосы, трубы, а также запас промывочной жидкости и многое другое. Размещение и монтаж всего этого оборудования — задача крайне нелегкая. Кроме того, необходимо обеспечить стабильное положение буровой установки относительно дна в горизонтальной и вертикальной плоскостях, иначе произойдет авария. На море это сделать неизмеримо сложнее, чем на суше.

Освоение морских месторождений нефти со стальных островов в море, связанных с берегом эстакадами, получило наибольшее распространение в СССР, США и Венесуэле.

Следующим шагом стало создание буровых платформ, которые буксируются в нужную точку и устанавливаются на месте с помощью выдвигных «ног», опирающихся на дно (рис. 35, а). Такие «ноги» делают платформу весьма устойчивой. Этот класс установок назван СПБУ — самоподъемные плавучие буровые установки. Первенца подобных установок в нашей стране назвали «Апшерон».

«Строго говоря, это судно. Но что бы вы сказали, встретив в открытом море судно, стоящее... на четырех ногах? Да еще при этом его днище, облепленное ракушками, находилось бы метрах в десяти над вашей головой?..

На плоскодонном корабельном корпусе смонтированы вышка и необходимые агрегаты. В трюмах все припасы: топливо, компоненты бурового раствора и снаряжение. На палубе бурильные и

обсадные трубы, весь набор инструмента. В рубке — удобные четырехместные каюты и прочие жилые и служебные помещения... По бортам с четырех сторон гигантские стальные колонны, которые можно опускать. И вот по морю вслед за буксирами плывет „Апшерон“. Стоп! Здесь точка, указанная геологами для бурения. Брошены якоря, включены двигатели, опускаются колонны, врезаются, заглубляются в грунт, и встает, поднимается над морем „Апшерон“! Еще час-другой, и можно начинать бурение» (М. Баринов. «Шаги в океан»).

Только за первый год работы с «Апшерона» было пробурено семь скважин, каждая из которых дала государству экономию в 30 тыс. рублей. Скорость сооружения скважин с помощью таких установок в два с половиной раза выше, чем со стационарного морского основания, а стоимость бурения на одну треть меньше.

И все-таки это техника шестидесятых! Хотя еще и не вышедшая в тираж. Подвижные платформы не позволяют проводить бурение на глубинах моря более 100 м. Правда, существуют проекты платформ, которые можно будет устанавливать на глубинах до 150–200 м. По мнению специалистов, это предельные глубины для буровых установок подобного типа.

Рис. 35. Основные типы морских буровых установок для бурения на нефть и газ.

а — самоподъемная плавучая буровая установка, упирающаяся на дно выдвигаемыми опорами (типа «Апшерон»); б — плавучая полупогружная буровая установка, удерживаемая на якорях (типа «Шельф»);

б — буровое судно с динамическим позиционированием (типа «Валентин Шашин»).

Для работы на больших глубинах созданы безопорные полупогруженные плавучие буровые установки — ППБУ, которые удерживаются на заданном месте с помощью глубоководных якорей. Платформа такой установки жестко соединена с находящимися под ней горизонтальными балластными цистернами. При заполнении их водой осадка платформы достигает 20–30 м и центр тяжести установки значительно понижается. Благодаря этому полупогружная платформа очень устойчива и на нее мало влияет волнение моря. Как правило, такие платформы (масса их достигает 20 тыс. тонн!) идут к месту бурения с помощью буксира. Однако в последние годы в Японии начали строить самоходные платформы, гребные электродвигатели которых устанавливаются в

размещенных под водой балластных цистернах (их общее водоизмещение около 1500 тонн — целая подводная лодка!).

Итак, мы подошли к рассмотрению техники восьмидесятых годов — современному периоду бурового освоения морей.

Серию советских полупогружных буровых установок открыл в 1981 г. «Шельф-1». За ним последовали «Шельф-2», «Шельф-3», «Шельф-4»... Восемнадцать отраслей промышленности участвуют в создании новой техники для этих установок, шесть крупнейших заводов страны занимаются их строительством.

Внушительны размеры установки (рис. 35, б): масса — 20 тыс. тонн, «рост» от днища понтонов до макушки буровой вышки—100 м. Экипаж — более 100 человек: специалисты морского и геологоразведочного профиля, инженеры по электронике, автоматике, кибернетике...

«Первое впечатление здесь, на „Шельфе“, — ощущение полной отъединенности от моря. Здесь я на прочной тверди, здесь вижу вышку и какие-то производственные помещения, прямо передо мной жилые блоки, а море, оно где-то далеко внизу. Ощущение высокого крутого берега, утеса над волнами. И такая же надежность. Слышу непрерывный шумовой фон — работает ротор, идет бурение» (М. Баринов. «Шаги в океан»).

«Шельф» стоит на притопленных более чем на 10 м понтонах, закрепленных в свою очередь восемью якорями — по 18 тонн каждый. Установке не страшны ни штормы, ни ураганы. При скорости ветра даже 25 м в секунду отклонение от вертикали составляет лишь полградуса. Эта стабилизация обеспечивается якорными корабельными устройствами, электроникой и автоматической системой регулирования.

Главный цех «Шельфа» — вышка с комплексом буровых механизмов, измерительных приборов, управляющих и регулирующих систем. Стабильная работа бурового инструмента при качке обеспечивается специальными шарнирными и телескопическими устройствами, находящимися у ротора и на устье скважины. Кабина бурильщика, оснащенная пультами, переговорными устройствами, мониторами напоминает место работы инженера на автоматизированном производстве.

«Вспыхивает экран монитора, и я вижу на нем идущую вверх толстую белую трубу. Это погружается на специальной установке с направляющими элементами и мощными светильниками телевизионная камера, а белая труба — райзер — продолжение скважины в жидкой среде моря. Ведь одним из главных условий работы буровиков является полная герметизация. Буровой раствор — кровь скважины — с помощью райзера циркулирует без

потерь и под заданным давлением.

Камера продолжает погружение, и через несколько минут я вижу на экране сложное коническое устройство, метров на пять возвышающееся над сероватой волнистой поверхностью морского дна. Это и есть устье скважины. Оно снабжено мощными задвижками, которые надежно перекрывают скважину в случае внезапного выброса нефти или газа. Тут же имеются захваты. При необходимости они будут держать всю колонну бурильных труб на весу, когда потребуются отойти от точки бурения. На устье еще и целая система акустических датчиков. С их помощью буровики найдут скважину и, вернувшись, произведут стыковку для продолжения работы» (М. Бариноз. «Шаги в океан»).

Сложное техническое обустройство устья скважины на дне моря в ряде случаев не может обойтись без присутствия и непосредственного вмешательства человека. Поэтому на «Шельфах» имеется также глубоководный водолазный комплекс (ГВК): барокамера и водолазный колокол — этот подводный лифт. Работа водолазов ускоряет бурение и приносит большой экономический эффект.

Безъякорная система глубоководного морского и океанического бурения, т. е. проходка скважин с помощью оборудования, установленного на борту специального бурового судна, применялась до последнего времени только для исследовательских целей. Хотя такая буровая и не столь устойчива, как полупогружная платформа, и в значительной степени зависит от погоды и волнения, зато она гораздо мобильнее. Правда, как показывает опыт, затраты на бурение с такого специального судна оказываются выше, в частности, из-за большей численности обслуживающего персонала. Буровому судну еще в большей степени, чем полупогружной платформе, необходима система динамической фиксации положения. Без этого не обойтись при бурении на глубинах моря, превышающих 300-метровую отметку.

В конце весны 1983 г. в арктических морях нашей страны начали нефтяную разведку «плавучие геологи» — буровые суда (рис. 35, в) «Валентин Шашин» и «Виктор Муравленко». Эти суда, эта техника на целую ступень выше, чем «Шельфы». Суда глубоководного бурения буквально начинены электроникой, компьютерами, дисплеями, телемониторами. «Мозг» корабля — это кабинет динамического позиционирования, или коротко, как принято у морских геологов, — ДиПи. Динамическое позиционирование — это маневрирование с очень высокой точностью, а кабинет ДиПи — это по сути дела вычислительный центр с системой из трех ЭВМ: первая работает, вторая контролирует работающую, третья резервная. Стоимость этого «мозга» составляет около 50 %

общей стоимости бурового судна (!).

При бурении скважины судно должно находиться строго в одной точке. А в суровых северных морях ветры, волны, льды — повседневные спутники. И тут вступает в действие ДиПи — перед ЭВМ ставится задача держать судно в определенной точке. Учитывая данные всевозможных приборов о силе ветра, течений, волн, другую необходимую информацию, электронная машина выдает команды на подруливающие устройства в носовой и кормовой частях и на основные винты, которые и удерживают 150-метровую махину судна над заданной для бурения точкой.

А тем временем идет бурение... Вышка 57-метровой высоты с буровым оборудованием смонтирована в центре палубы и является единым целым с корпусом корабля. Эта техника позволяет бурить под толщей воды до 300 м скважины глубиной до 6000 м. Буровой мастер по показаниям приборов анализирует ситуацию и следит за процессом, за тем, что происходит в скважине и на ее устье. В море нет мелочей, на которые можно махнуть рукой, не может быть «береговых» отступлений и поблажек; от стоящего на вахте порой зависит жизнь судна и экипажа...

На буровом судне — две команды: моряков и буровиков, а цель одна — проходка скважины до заданной глубины в заданном месте. Поэтому Министерством газовой промышленности разработан и утвержден важный документ — Положение о буровых судах и штатное расписание единых экипажей буровых судов. Так, к уже привычным понятиям «морская геология», «морской геолог» прибавилось новое — «морской бурильщик», характерными чертами которого наряду со знаниями и умением являются морское мужество и смелость.

Наибольшим техническим достижением в морском бурении является решение задачи поиска устья скважины на дне моря после подъема из нее бурильной колонны на поверхность. Долгое время считалось, что если поднять колонну труб из скважины, то ввести ее вновь в то же устье уже невозможно. Платформа или буровое судно не остаются неподвижно на одном месте над устьем — входом в скважину. На них действуют течения, волны, ветер, плавающие льдины, да и сама многосотметровая гибкая колонна не занимает строго вертикального положения и изгибается под влиянием собственного веса и тех же воздействий. Французский ученый Клод Риффо сложность этой задачи образно формулирует так: «...попасть концом многокилометровой, колонны в устье скважины — это все равно, что в ночное время при ветре со скоростью 5—10 км/час пытаться опустить с вершины Эйфелевой башни соломинку 300-метровой длины в фужер шампанского, стоящий у ее подножия (добавим, что соломинка, по аналогии

с буровой колонной, должна быть составной)».

Рис. 36. Схема поиска устья скважины с помощью гидроакустических приборов при морском бурении.

Однако эта сложнейшая проблема вторичного ввода буровой колонны в скважину была решена. С судна, оборудованного системой динамического позиционирования, нижний конец колонны бурильных труб направляется с помощью гидроакустических приборов в сторону специального металлического конуса, указывающего местоположение устья скважины (рис. 36). При этом на колонне у долота устанавливают гидроакустический приемоизлучатель, а на конусе — гидроакустические буи-ответчики. Но это, естественно, всего лишь начало. Впереди предстоит еще очень большая работа по освоению соответствующих технологических процессов.

Специалисты, инженеры и ученые работают и над проектами будущего, ищут принципиально новые технические решения, которые учитывали бы в максимальной степени специфику подводного бурения и добычи нефти. Так, есть предложение отказаться от традиционных буровых платформ над поверхностью моря и перенести все необходимое оборудование на морское дно. Осуществление такой идеи дает большие преимущества: во-первых, отпадает необходимость в строительстве громоздких буровых площадок (резко удорожающих работы), а во-вторых, любые глубины практически становятся доступными. Специалисты предлагают различные способы обслуживания расположенного на дне оборудования, но в конечном счете имеются только два способа — этими делами занимается либо человек (рис. 37), либо управляемые на расстоянии (или автономные) автоматические устройства — роботы.

Рис. 37. Легкая подводная буровая установка.

Клод Риффо предполагает, что «к 2000-му году подводные нефтепромыслы будут представлять собой разбросанные здесь и там по дну капсулы, стоящие над устьями скважин, к которым периодически будут подплывать специальные аппараты с обслуживающим персоналом». Существуют и другие проекты подводных буровых и нефтепромыслов. Однако в ближайшее время эти проекты вряд ли удастся осуществить. На сегодняшний день подводные буровые установки, расположенные в пределах континен-

тального шельфа, еще уступают по техническим и экономическим показателям установкам, работающим с водной поверхностью. Трудно отказаться от апробированных технических приемов, даже если с ними связаны определенные трудности. Не легко перейти на совершенно другой путь — ведь он полон разных новых непредвиденных осложнений и случайностей, которые таит в себе все новое. Ученые считают, что к середине следующего века мы, вероятно, забудем, как выглядят гигантские платформы. Поверхность морей обретет первозданный вид. Но глубоко под волнами будут неустанно трудиться автоматы, доставляя людям бесценный дар природы — нефть.

А пока что инженеры и ученые совершенствуют уже существующую технику для морского бурения — одного из перспективнейших направлений нашей профессии. Нет возможности описать, даже упомянуть все проекты.

Остроумную идею разрабатывают норвежские ученые. Они предложили превратить айсберг в плавучую платформу для бурения нефтяных скважин в арктических водах. С этой целью блок льда в виде цилиндра диаметром 200 м и высотой 60 м отделяется от ледяного массива и «заковывается» в железобетонную оболочку. Система хорошо держится на плаву. Температура ледяного основания сохраняется постоянной на протяжении длительного времени при минимальном расходе энергии. По подсчетам экономистов «ледяная плавающая буровая установка» обойдется в несколько раз дешевле традиционных нефтяных платформ. На первый взгляд этот проект выглядит малореальным. Но ведь разрабатывает его крупнейший норвежский концерн «Акер» и проект демонстрировался на международной выставке оборудования для добычи нефти на морском шельфе в городе Ставангере (Норвегия)?!

В заключение, как мы уже делали это и раньше, отсылаем читателя за подробностями об этой еще малоизвестной области деятельности человека к очерку М. Баринова «Шаги в океан», к книге известного французского исследователя Клода Риффо «Будущее — океан» и к брошюре «За рудой в глубины океана» (Е. А. Величко, Е. А. Контарь, О. К. Тареева), цитатой из которой мы и заканчиваем этот раздел: «Счастливым сейчас время для всех тех молодых людей, которые захотели бы заняться освоением минеральных ресурсов океана; они находятся в начале пути, и перед ними открываются широчайшие, безграничные перспективы научной и практической деятельности, не менее безграничной и увлекательной, чем в космосе, и не менее опасной. Но без риска нет открытий, а риск так же свойствен молодости, как и любознательность».

Бурение в Антарктиде

«Арктика — слово греческого происхождения. Означает северное созвездие „Большая Медведица“ и применимо к району суши и моря вблизи Северного полюса, где температура самого теплого месяца (июля) плюс 10 °С.

Антарктика — антипод Арктики. От греческих слов *anti* — против и *arktos* — медведь; страна на противоположном конце Земли от созвездия „Большая Медведица“, т. е. на юге. Объяснение слова А. см. Антарктида.

Антарктида — одна из шести частей света, лежит в пределах Южного полярного круга, занимает площадь свыше 14 млн. кв. км... Почти вся поверхность А. погребена под мощным ледяным покровом... Климат весьма суровый... Материк безлюден... Антарктида открыта русской экспедицией Беллингаузена и Лазарева в 1819–1821 гг.» («Словарь географических названий»).

Три четверти всего льда на Земле хранит южный полярный материк — Антарктида. По результатам радиолокационных измерений толщины льда рассчитан объем этого ледникового щита — 24,9 млн. км³. А под этими льдами лежит целый материк. И хотя шестой материк нашей планеты был открыт русскими мореплавателями-учеными 165 лет назад, фактическое освоение Антарктиды началось лишь в нашем XX столетии.

Уже многое знает человек об Антарктиде, но мы пока еще только учимся жить и работать (в том числе — бурить) в этих сложнейших и суровейших на Земле климатических и географических условиях.

Чем же интересен человечеству этот необычный материк? Задаем этот главный вопрос известному полярнику Герою Советского Союза Евгению Ивановичу Толстикову, заместителю председателя Госкомгидромета СССР.

«Зачем людям Антарктика? Зачем вкладывают они столько сил и средств в изучение колоссальной глыбы льда и омывающих ее студёных морей? Зачем терпят лишения и рискуют жизнью?»

Не открыв секретов шестого континента, мы не разгадаем тайны изменений климата и погоды планеты. Не сможем и обеспечить надежной радиосвязью суда во всех районах Мирового океана, самолеты, для которых расстояния не помеха только в том случае, если они слышат Землю. Исследования в Антарктике — путь к познанию происходящего в космосе. Антарктика — это и ее минеральные богатства, ключи к которым со временем найдет человек. Это, наконец, огромные запасы белка в морях Южного океана. Антарктические льды содержат 90 % поверхностной пресной воды планеты. А она становится дефицитом не только в жарких пустынях, но и в наиболее развитых промышленных регио-

нах.

Антарктику нужно изучать для решения проблем сегодняшних и грядущих, проблем, стоящих перед всем человечеством...»

Ответ предельно лаконичен и убедителен.

Итак, во-первых, человеку необходимо познать закономерности циркуляции атмосферы в этом районе, чтобы изучить влияние этой «белой шапки» Земли на формирование климата всей планеты.

Ученые-метеорологи считают, что об атмосфере южнополярного материка они уже знают в настоящее время больше, чем об атмосфере многих других районов зеленого шара. Сегодня на основании оперативной метеоинформации, получаемой на всех советских антарктических станциях, а также с искусственных спутников Земли, составляются прогнозы погоды для промысловых судов, плавающих в южнополярных водах.

Но почему этим исследованиям придается такое значение? Что значит для нас, для человечества наука метеорология, а для каждого человека — погода? Оказывается, еще Михаил Васильевич Ломоносов по-своему образно сформулировал эту научную проблему: «Человеку ничего не оставалось бы требовать от бога, если бы он научился правильно предсказывать погоду». «Проблемой века» считают ученые эту задачу и сейчас. И действительно, все острее встают вопросы прогнозирования погоды и колебаний климата в глобальном масштабе.

От их решения зависят урожаи, наши продовольственная и энергетическая программы, транспортная и другие народнохозяйственные проблемы. Засухи, горящие леса и торфяники, суровые, морозные, но бесснежные зимы, ранние и поздние заморозки, резкие потепления и похолодания, ленинградские и дальневосточные наводнения... Необходимо предсказывать эти и другие погодные явления, рассчитывать их силу и влияние, оценивать их последствия.

Во-вторых, Антарктида интересует человека своими полезными ископаемыми, которыми она богата, по мнению ученых, не менее, чем другие континенты. И поэтому ученые считают, что в перспективе не исключена возможность добычи полезных ископаемых на подледных территориях.

Рис. 38. Антарктическая буровая (станция Дружная).

Вот некоторые из других геологических задач, которые выполняются с помощью бурения: достичь горные породы, скрытые почти под 4-километровым ледяным панцирем (станция Восток);

в шельфовых ледниках осуществить отбор керн пород со дна моря (станция Дружная). На рис. 38 — антарктическая буровая со станции Дружная. На первый взгляд специалиста, — обычная вышка. Что здесь может быть особенного? А особенное — это условия, в которых приходится жить и работать и которые не может отразить никакая, самая документальная фотография.

Характеристика условий станции Восток: расположена за 1500 км от побережья, на вершине ледникового купола высотой 3600 м над уровнем моря; температура ниже минус 70 °С держится шесть месяцев, а «жарким» считается лето при минус 30–25 °С. 21 июля 1983 г. на станции зафиксирована необычайно низкая температура воздуха — минус 89,2 °С; температура поверхности снега была минус 90,4 °С. Прежний минимум Востока — минус 88,3 °С, фигурирующий в школьных учебниках и известный как самая низкая температура на Земле, был перекрыт.

Итак, во-вторых, это — геология. А в-третьих, в-четвертых, в-пятых... Какое воздействие оказывают экстремально суровые природные условия Антарктиды на самочувствие людей, подолгу там работающих? Какой должна быть техника, предназначенная для этих районов? Какую информацию об изменениях климата в прошлом и настоящем таит в себе ледяная летопись Антарктиды? И многое, многое другое.

Мы перечислили далеко не все задачи и не в порядке их важности, а упомянули в основном только те из них, которые требуют для своего решения содружества с буровой наукой, техникой, практикой.

Первая Советская Антарктическая экспедиция (САЭ) под руководством известного полярника М. М. Сомова высадилась здесь в 1956 г. Доставили ее сюда, как и 23 последующие САЭ, морские суда. Больше месяца в одну сторону и столько же обратно — таково время морского пути в Антарктиду. В феврале 1980 г. был налажен воздушный мост Москва — Антарктида, а в ноябре 1981 г. — Ленинград — Антарктида. Таким образом, начиная с 25-й САЭ полярники могут через 30 часов, пролетев 17 с лишним тысяч километров, оказаться на «рабочем месте». Этот второй мост понадобился потому, что в городе на Неве расположен центр полярных исследований — Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт. Здесь же находится и Советская Антарктическая экспедиция, координирующая работу в Антарктиде всех семи постоянных и нескольких сезонных станций, над которыми развеивается флаг нашей Родины.

Какие же исследования ведутся в Антарктиде и как используется в этой работе бурение? Рассмотрим этот вопрос на примере

двух программ: гляциологической и микробиологической.

Гляциологическая программа, которой руководит участник первой САЭ доктор географических наук, Герой Социалистического Труда Евгений Сергеевич Короткевич, — одно из основных направлений научных исследований в Антарктиде. Гляциологи установили, что имеющиеся сегодня в их распоряжении способы реконструкции климата отдаленного прошлого весьма перспективны. Упрощенная схема выглядит следующим образом. Всесторонним анализом ледяного керна определяется возраст льда; учитываются размеры кристаллов, ориентация в них оптических осей, содержание изотопов кислорода, газовый состав воздушных включений и многое другое... в результате воссоздается климат прошлого. Но, пожалуй, самое трудное звено в этой цепи — добыть ледяной керн. Единственный способ проникнуть на большие глубины ледникового покрова — бурение скважин.

Советские ученые с помощью оборудования, разработанного в Ленинградском горном институте имени Г. В. Плеханова, успешно проводят работу, конечная цель которой — оценка абсолютно-го возраста антарктического льда.

Традиционное оборудование (которое мы описывали в этой книге раньше) в условиях Антарктиды не пригодно. Да и современную буровую установку для глубокого бурения, весящую десятки тонн, весьма затруднительно, а то и вообще невозможно доставить в глубь Антарктиды, например на станцию Восток, удаленную на 1500 км от ближайшего берега. Поэтому встал вопрос о разработке новой техники и технологии, которые бы учитывали, что предстоит обеспечить проходку почти 4-километровой толщи льда в районе, где температура минус 60 °С считается нормой, где атмосфера разрежена, как в горах на высоте 4–5 км.

В результате сотрудничества специалистов Ленинградского горного института и Арктического и Антарктического научно-исследовательского института были сконструированы электротермобуровые снаряды. Такой снаряд можно увидеть в лаборатории Горного института. Перед нами — металлическая труба 6-метровой длины с различными устройствами внутри. На одном конце — подводящий электроэнергию кабель, на другом — кольцевой электротермонагреватель. В комплект оборудования входят источник энергопитания и лебедка. Конструкция скважинного снаряда выглядит просто и оригинально, в то же время она максимально учитывает требования гляциологов.

При бурении выплавляемый ледовый керн через кольцо нагревателя плавно входит в керноприемную 3-метровую трубу. Над ней расположен резервуар для воды, образующейся при плавлении льда. Эта вода с помощью вмонтированного внутри бурового

снаряда малогабаритного насоса откачивается по специальным трубкам. Керн длиной 3 м получают примерно за час, затем следует подъем.

После того как скважина приблизилась к километровой глубине, появились новые трудности — дало знать о себе горнее давление: ствол скважины после извлечения из нее термобурового снаряда заплывал и сужался. Были внесены изменения в технологию бурения и в конструкцию бура. И этот барьер был преодолен.

Уже получено немало новых и интересных данных. Так, например, керн из льда, образовавшегося около 15 тыс. лет назад, показал, что в то время на шестом континенте наступило заметное потепление. Именно тогда отступали ледники и в Северном полушарии.

Микробиологические исследования, проводимые учеными Института микробиологии АН СССР и специалистами по бурению Ленинградского горного института, не менее интересны, чем гляциологические.

Десятками, сотнями тысячелетий наслаивавшийся лед шестого материка слой за слоем накапливал информацию о прошлом нашей Земли. Эта информация хранится во льдах Антарктиды не только в виде пузырьков воздуха древней атмосферы, космической и земной пыли, пепла извержений древних вулканов, но и в виде спор бактерий, пыльцы растений, микроорганизмов. Изучая эту информацию, специалисты проникают в прошлое планеты, получают достоверные представления как о ее климате и составе атмосферы, так и о природных биологических явлениях тех далеких времен.

И вот, когда буровики с помощью термобура проникли на глубину более 2000 м, т. е. стал доступен горизонт, сформировавшийся более 100 тыс. лет назад, этим заинтересовались микробиологи. А что если попытаться получить из природного холодильника культуру микрофлоры, пробывшей в анабиозе[8] десятки и сотни тысяч лет, и изучить это явление, имеющее большой научный и практический интерес. И микробиологи поставили перед буровиками новую задачу, сложную, интересную и многообещающую, — получить абсолютно стерильный керн льда с больших глубин.

Эту задачу успешно и в короткие сроки решили специалисты кафедры техники и технологии бурения скважин Ленинградского горного института, возглавляемой доктором технических наук профессором Борисом Борисовичем Кудряшовым, который много лет посвятил теоретическим исследованиям и практическому освоению процесса бурения антарктических льдов. При разработке бурового снаряда и технологии бурения были приняты во

внимание и удовлетворены многие разнообразные по характеру и сложности условия. В результате удалось, с одной стороны, создать производительное по скорости бурения устройство, а с другой — добиться полной гарантии сохранения «первозданности» проб льда.

На первый взгляд схема бурового снаряда для извлечения керна льда проста: металлическая труба, на торце которой расположен кольцевой формы термоэлемент. Бур погружается в лед, вытаскивая из него и вбирая в себя ледовый керн. Такая схема, как мы показали, успешно применяется для отбора гляциологических проб.

А чтобы обеспечить чистоту микробиологических исследований, «гляциологическую» схему пришлось усложнить, приняв ряд профилактических организационных и технологических мер. Во-первых, помещение буровой расположили на удалении от жилых и других строений станции, причем с подветренной стороны от них. Во-вторых, помещение буровой, все оборудование и инструмент систематически подвергали интенсивному ультрафиолетовому облучению, губительному для микроорганизмов. Далее. Перед спуском в скважину буровой снаряд тщательно обрабатывали специальным стерилизующим раствором и пропускали сквозь пламя.

И наконец, собственно микробиологическую пробу берут из центральной части керна образца, для чего в стерильных условиях вытаскивают сердцевину ледяного столбика. Эта вода стекает в колбу, которую тут же запаивают и затем отправляют микробиологам.

Ну, а каковы же результаты микробиологических исследований?

Ученые установили, что на разных глубинах находятся во временном «небытии» и способны оживать представители основных групп микрофлоры: спорообразующие и неспорообразующие бактерии, мицелиальные грибы, дрожжевые и другие микроорганизмы, в том числе открытые впервые и получившие название «нокардиопсис антарктикус». По мере углубления в толщу антарктического льда «ассортимент» микроорганизмов сужается и начинают преобладать более выносливые в экстремальных условиях, в частности спорообразующие бактерии, а дрожжевые организмы, например, ниже 100 м от поверхности льда пока не обнаружены. Установлено также, что большинство микроорганизмов может сохраняться в анабиозе по крайней мере до 12 тыс. лет.

Таким образом, пристальное внимание ученых к микробиологическим экспериментам на ледовом куполе Земли объяснимо. Их результаты связаны с проблемой появления жизни на нашей

планете, с вопросами охраны окружающей среды в глобальном масштабе и длительного сохранения ценных по своим свойствам микроорганизмов. Потребность же в решении задач микробиологии явилась стимулом дальнейшего прогресса в технике и технологии ледового бурения. Так к взаимной пользе состыковались бурение и микробиология.

Официальные международные отношения в Антарктиде между странами регулируются «Договором об Антарктике», подписанным 1 декабря 1959 г. Отношения же между полярниками определяет закон взаимовыручки.

Бельгийские полярники оказались в безвыходной ситуации в результате авиакатастрофы. Из плена Кристальных гор их вызволил советский экипаж ЛИ-2.

При аварии нашего самолета на станции Молодежная на помощь прилетели американцы на «Геркулесе».

Таких примеров можно привести множество, но вспомним еще только один — о последствиях пожара, случившегося на станции Восток в зимовку 27-й экспедиции. Рассказ об этом случае — это особый разговор о буровиках. В ту зимовку пожар уничтожил дизель-электростакцию — энергетическую основу жизни и работы любой антарктической станции. Буровая группа той зимовки — это пять сотрудников Ленинградского горного института. Им, по общему мнению, станция обязана едва ли не жизнью. Буровой движок, дававший хотя и мизер энергии, спас станцию...

Итоги работы в Антарктиде на сегодняшний день подводит Евгений Иванович Толстик: «В сорока научных учреждениях страны обрабатывают и обобщают уникальные материалы, собранные участниками Советских Антарктических экспедиций. Выпущены сотни монографий и научных сборников. Издан первый в мире двухтомный „Атлас Антарктики“, а кроме того, более трех тысяч листов карт на территорию континента и около тысячи морских карт на прилегающие воды. Внутри вчерашних белых пятен нанесено более десяти тысяч новых географических названий».

И действительно, на карте Антарктиды уже стерты многие белые пятна. Но здесь предстоит еще огромная работа, без которой человечеству не получить верного представления о своем доме — Земле. Мы же сделали только попытку показать ту небольшую, но важную роль, которую играют в этой работе исследования с помощью бурения.

Космическое бурение

«Используя дорогие средства доставки на другие планеты автоматического бурового оборудования, чрезвычайно важно раскрыть не только свойства поверхности, но и внутреннее строение планеты. Хотя бурение и не является единственным средством изучения космических тел, оно обеспечивает получение *первичного* геологического материала, так необходимого исследователю» (профессор Е. А. Козловский).

«Бурение скважин вне Земли». Что это? Название научно-фантастического романа? Так назвал свою книгу доктор технических наук профессор Виктор Ефимович Копылов. В этом заглавии нет преувеличения. Книга рассказывает о современных научных исследованиях и технических достижениях; об опыте отечественного автоматического вращательного бурения на Луне и о ручном отборе проб из скважин на Луне, выполненном американскими астронавтами; о возможных способах бурения скважин на поверхности планет, на их спутниках, на астероидах; о наиболее интересных проектах буровых установок для работы на Луне и планетах.

Перелистаем и мы эту книгу, которая первой отразила «рождение нового практического приложения земных разработок в области бурения для целей вскрытия глубинных горизонтов других планет». Это поможет нам увидеть еще с одной, неожиданной стороны нашу профессию и заглянуть в ее возможное будущее.

Вопрос: Как зарождалась практика буровых работ вне Земли, в частности на Луне?

Ответ: Пока практика таких работ имеет небольшую историю: от миниатюрного грунтомера на «Луне-13» и ковша экскаваторного типа на американских «Сервейерах», ручного бурения американскими астронавтами на поверхности Луны по программе «Аполлон» до автоматического бурения советскими станциями серии «Луна». Однако, несмотря на такую небольшую историю, сегодня человек может с гордостью сказать, что его теоретические предпосылки о горно-технических условиях бурения вне Земли оправдались, а созданные технические средства с успехом прошли испытания на ближайшем космическом теле — Луне.

Вопрос: Каковы реальные достигнутые успехи мировой науки и техники по бурению в космосе?

Ответ: До недавнего времени метеориты были единственными внеземными горными породами, доступными изучению. Монополия метеоритов была нарушена в 1969 г. полетами на Луну американских астронавтов и в 1970 г. советских автоматических станций, доставивших на Землю образцы лунного грунта. Образцы лунных пород доставлены на Землю из восьми различных районов Луны! Астронавты «Аполлона-12» привезли с Луны фото-

графию открытого ствола скважины (пройденной грунтоносом) с четким изображением отверстия, свободного от обвалившейся породы. Такая же фотография скважины была получена телевизионными камерами «Луны-20».

По программе «Аполлон», основной целью которой была высадка человека на Луну, предусматривалось применение астронавтом грунтоносов и ручных электробуров. Электробуры, получившие в литературе сокращенное название ALSD — «бур для лунной поверхности по программе „Аполлон“», — и применяли астронавты при бурении скважин глубиной до 3 м. Работа электробура основана на принципе ударно-вращательного бурения.

В транспортном положении электробур находится в корабле в алюминиевом ящике. За исключением технологических новинок, главным образом в части применения новых и легких материалов, в конструктивном отношении такой электробур не имеет каких-либо особых новшеств.

Но первые образцы лунных горных пород — керны диаметром около 20 мм — были получены из-под поверхности Луны при полете «Аполлона-11» с помощью ручных трубчатых грунтоносов, которые забивались в грунт геологическим молотком. Глубина скважин не превышала 15 см.

Астронавты «Аполлона-12» и «Аполлона-14» пользовались улучшенными конструкциями грунтоносов и смогли с меньшими затратами усилий и времени разведать грунт и отобрать две пробы на глубину 35 см и одну пробу — на глубину 70 см. Вдавливание и вытаскивание такого грунтоноса осуществлялось простым нажимом руки с помощью рычажного приспособления.

Экипаж «Аполлона-15» использовал управляемый вручную луноход, на раме которого закреплялся электробур. Пробы горных пород отбирались бурением вдоль трассы движения лунохода по поверхности Луны. Этот луноход можно считать первой самоходной буровой установкой, испытанной человеком на другом космическом теле. Этой установкой был поднят керн уже с глубины 2,4 м. В последующих экспедициях американских астронавтов глубина скважин достигла 3 м.

Вопрос: А как можно охарактеризовать качество работы первых космических буровиков?

Ответ: В качественном отношении результаты бурения скважин были вполне удовлетворительными — выход керна достигал 47–61 %, хотя бурение выполнялось астронавтами — непрофессионалами в области бурения скважин.

Интересны ощущения и впечатления о процессе бурения первого космического буровика Э. Олдрина («Аполлон-11»).

«Технически самой трудной для меня задачей был забор проб лунного грунта, для чего было необходимо заглубить в грунт трубки пробоотборников. Мягкий порошкообразный грунт Луны обладает удивительной сопротивляемостью уже на глубине нескольких дюймов. Это ни в коем случае не означает, что он приобретает твердость каменной породы, однако на глубине 5–6 дюймов начинаешь ощущать его постоянное противодействие. Еще одна удивительная вещь заключается в том, что при всей своей сопротивляемости этот грунт настолько рыхлый, что он не удерживал трубку в вертикальном положении. Я с трудом погружал трубку в грунт, и все же она продолжала качаться из стороны в сторону...Когда я, наконец, взял пробу грунта, по тому, как он прилипал к поверхности трубки, казалось, что грунт имеет влажную консистенцию».

Рис. 39. Компоновка бурового узла станций «Луна-16» и «Луна-20».

1, 2 — положение поворотной штанги: 1 — при бурении, 2 — при загрузке керна в контейнер.

Но продолжим наше заочное интервью с В. Е. Копыловым.

Вопрос: Каковы отечественные достижения в области лунного бурения?

Ответ: В СССР первые космические станции с автоматическим буровым устройством на борту были запущены на Луну в сентябре 1970 г. и в феврале 1972 г. Цель этих запусков состояла в доставке на Землю образцов горных пород Луны с глубины 0,3–0,35 м без участия человека. Посадочная ступень содержала автоматический грунтозаборный механизм, ракету с возвращаемым аппаратом и контейнером для грунта и все необходимые устройства и узлы, обеспечивающие посадку, управление и связь с космическим аппаратом. (Общая компоновка узлов станции показана на рис. 39.)

Поворотная штанга-манипулятор с буровым устройством на конце служила одним из тех автоматических устройств, с помощью которого станок колонкового бурения станции переводился из транспортного положения в рабочее, а после окончания бурения — в первоначальное положение: колонковая труба с образцом горной породы помещалась в возвращаемую на Землю ступень. Конструкторами создана надежная автоматическая буровая установка, позволяющая с помощью колонкового бурения отбирать практически любые по твердости образцы (керны) горных пород Луны.

Все операции по выбору места для скважины, процессу бурения и отбору керна контролировались по телевизионному каналу. По стереоскопическим изображениям на ровном участке была выбрана точка бурения, не содержащая камней с поперечником более 1 см. От сигнала с Земли включились электродвигатели станка и началось бурение скважины. (Буровое устройство показано на рис. 40.)

Работа буровой установки «Луна-16» началась через час после посадки аппарата. Бурение выполнялось при весьма низких температурах лунной ночи — минус 120 °С. Средняя скорость бурения превысила расчетную и составила 6,1 см/мин. Доставленный на Землю образец лунного грунта сохранил расположение слоев горной породы в естественном залегании. Бурение станцией «Луна-20», в отличие от «Луны-16», выполнялось днем при температуре корпуса станка плюс 18 °С. Была пройдена скважина глубиной 34 см со скоростью бурения от 4,6 до 24,0 см/мин. И наконец, летом 1976 г. успешно завершился эксперимент «Луна-24», в результате которого в автоматическом варианте бурения получен керн с глубины 2 м.

Вопрос: В чем значение достижений космического бурения для наших земных забот?

Рис. 40. Автоматическое буровое устройство станций «Луна».

**1 — корпус; 2 — вращатель; 3 — колонковая труба со шнеком;
4 — буровая коронка.**

Ответ: Во-первых, в опыте создания специализированного бурового оборудования. Необычность условий (вакуум, сниженная гравитация и др.) заставили конструкторов выйти за рамки обычных представлений, сложившихся на Земле и сковывающих воображение исследователя и конструктора. Отказ от традиционных путей решения новых задач может оказаться полезным не только для лунного, но и для земного бурения, результативность технологии и совершенство техники которого в ближайшие десятилетия необходимо значительно повысить.

Во-вторых, жесткие ограничения весовых характеристик буровых станков заставили спроектировать хорошо продуманные, легкие и компактные конструкции. Было бы желательно, чтобы и в земных условиях при проектировании передвижных установок, используемых на отдаленных разведочных площадках, для конструкторов существовали не менее жесткие ограничения по массе этих установок.

В-третьих, ряд конструктивных решений буровых установок, предложенных в ходе работы над космическими проектами, применим и при бурении скважин на Земле, в том числе в условиях, когда промывочная жидкость недоступна или дорога (условия пустынь).

И наконец, успешное завершение весьма сложных экспериментов по бурению станциями «Луна-16, -24» показало всему миру не только высокое совершенство отечественной космической автоматики и телемеханики, но и достижения советской буровой техники.

Вопрос: Что наиболее характерно для будущей профессии космонавта-буровика?

О т в е т: Специфические условия исследований в космосе, малочисленность космических экипажей, множество одновременно решаемых задач при остром дефиците рабочего времени, большая физическая и психологическая нагрузка, испытываемая космонавтом, — все это заставляет по-новому подходить к процессу бурения. Естественно, что это наложит существенный отпечаток на профессиональную подготовку, будущих космонавтов-буровиков.

Вопрос: А что можно сказать о проблемах бурения на Марсе и Венере?

Ответ: Поверхности планет земной группы могут стать доступными для автоматических разведчиков уже в ближайшие десятилетия. Эти разведчики будут иметь на борту грунтозаборные устройства, буровые станки и другие установки для исследования свойств и состава горных пород. Чем более изучена планета, тем разнообразнее предлагаемые технические проекты для освоения ее поверхности.

На рис. 41 приведен один из этих проектов — установка, предназначенная главным образом для биологического анализа грунта Марса. Как показали первые исследования, в настоящее время жизни на Марсе нет, но это не исключает, что она процветала в ранние периоды существования планеты. И в этом плане находка ископаемых остатков жизни с помощью автоматического бурения была бы равнозначна открытию самой жизни.

Рис. 41. Один из проектов буровой установки для анализа грунта на Марсе.

1,2 — дистанционные пробоотборники; 3 — контейнеры для хранения грунта; 4 — бур для отбора глубинных проб; 5 — анализирующая камера.

Будущее бурение скважин на Венере осложняется суровыми условиями ее поверхности. Мы знаем, что она твердая и поэтому способна нести тяжелую буровую установку. Однако при плотности атмосферы, превышающей земную в десятки раз, даже небольшие ветры со скоростью 1—12 м/с носят характер урагана и опасны для любых сооружений, в том числе и для буровых установок.

Возможно, освоение Венеры будет существенно отличаться от освоения других планет. О сроках отправки на Венеру экспедиции с участием человека говорить трудно. В первую очередь на Венере побывают автоматические «геологи». Например, опубликованы проекты запуска в плотную атмосферу этой планеты плавающих установок типа аэростатов. Вполне вероятен плавный спуск автоматической станции с буровым станком на поверхность планеты, отбор образцов горных пород в кратчайшее возможное время, ограниченное нагревом станции. После надувания аэростата будет осуществлен подъем контейнера с образцами горных пород на безопасную высоту, где уже без спешки может быть проведен анализ образцов при приемлемых температурах окружающей среды, с последующей передачей данных на орбитальную станцию или на Землю.

Экстремальные условия на Венере рождают немало неожиданных и непростых задач, поэтому ее грунт, по крайней мере в ближайшем будущем, целесообразно исследовать на месте, без доставки его на Землю, так как возвращение аппарата через мощную толщу атмосферного газа Венеры с давлением у ее поверхности около 90 кгс/см² — слишком сложная задача. При высоких давлениях и температурах возможны интенсивные химические реакции, приводящие к явлениям, характер которых трудно предсказать. В целом совокупность интенсивных механических, химических и электрических воздействий на любое буровое устройство будет неблагоприятным. Это заставит конструкторов проектировать совершенно необычную установку.

Насколько же сбылись эти прогнозы?

Пять лет спустя после выхода книги В. Е. Копылова состоялось бурение на Венере после мягкой посадки на эту планету спускаемого аппарата советской автоматической станции «Венера-13».

Из сообщения ТАСС от 2 марта 1982 г.: «Важное место в программе полета отводилось принципиально новой задаче — взятию пробы грунта для определения элементного состава пород Венеры. С этой целью на борту спускаемого аппарата было установлено грунтозаборное устройство, которое произвело бурение, взятие пробы и ее транспортировку для рентгенофлюоресцентного

анализа в герметичный отсек».

Чтобы полнее оценить эту новую победу советской науки и техники в мирном освоении космоса, еще раз напомним те экстремальные условия, тот неблагоприятный для исследований «климат», который господствует на Венере. Так, температура на поверхности планеты в месте посадки составила 457 °С (столько же, сколько в топках паровых котлов!); в такой «жаре» моментально плавится свинец. Давление — 89–90 кгс/см² (это примерно соответствует давлению в океане на километровой глубине). Научные данные передавались на Землю, удаленную от Венеры на 65 млн. км. Системы и научные приборы спускаемого аппарата продержались в этих условиях 127 минут — в четыре раза дольше, чем предполагалось, подтвердив высокую квалификацию специалистов, которые создали станцию и отправили ее к цели.

Бурение продолжалось всего 2 минуты, но нельзя забывать, что именно буровое устройство находилось все время за пределами спускаемого аппарата (в самом пекле!). В этом буровом устройстве невозможно применить смазку и охлаждение; особые требования предъявляются к электродвигателям; неизвестен характер грунта (пыль? гранит?), который предстоит бурить; бурильный инструмент надо опустить к поверхности вне зависимости от положения, в котором окажется спускаемый аппарат (а оно могло быть любым!).

И снова сообщение ТАСС: «Выполнен важный этап комплексных научных исследований в атмосфере и на поверхности планеты Венера. 15 июня 1985 г. автоматическая межпланетная станция „Вега-2“ [9] доставила в атмосферу планеты посадочный аппарат...

Посадочный аппарат совершил мягкую посадку на ночную сторону Венеры в районе равнины Русалки. С помощью установленного на аппарате грунтозаборного устройства на поверхности планеты в условиях температуры окружающей среды 452 °С и давления 86 атмосфер (86 кгс/см²) проведены бурение поверхностного слоя грунта планеты, взятие проб и их анализ с целью определения элементного состава пород в новом районе. С использованием выносного прибора определены физико-механические свойства поверхностного слоя грунта».

Чем же новым дополнила «Вега-2» наши знания о Венере, выполнив бурение на поверхности этой планеты?

В самом деле, предшественницы станций «Вега» — автоматические межпланетные станции «Венера-13 и -14» уже провели основательную рекогносцировку «Утренней звезды». Они сообщили на Землю первые геологические данные о нашей небесной соседке. На базе этих данных учеными были сделаны выводы об

условиях формирования там геологических структур, о процессах эрозии и т. д. Но для более полного понимания эволюции планеты и ее сопоставления с геологической жизнью Земли нужны более тонкие и точные исследования. А это возможно выполнить только с помощью более точных приборов.

Такие задачи и были поручены специальной аппаратуре посадочного комплекса станции «Вега-2»: определить в выбуренных образцах венерианского грунта концентрацию основных породообразующих элементов (магния, железа), ряда более тяжелых редких элементов; провести гамма-спектрометрию, т. е. установить содержание в породе радиоактивных элементов (урана, тория и др.).

Итак, штурм космоса и... бурение вне Земли продолжаются. Интересно,—

Над чем думают ученые и инженеры

Все нововведения и экспериментальные разработки, известные в буровом деле, невозможно не только рассмотреть, но и просто перечислить. Сейчас те или иные усовершенствования уже не в состоянии охватить весь процесс бурения в целом; они затрагивают, как правило, отдельные составляющие этого процесса.

Одна серия разработок относится к поискам принципиально новых методов разрушения горных пород, другая — к усовершенствованию бурового инструмента, третья — к внедрению электронно-вычислительной техники, четвертая — к созданию контрольно-измерительной аппаратуры и т. д. и т. п. Каждый ряд исследований необозрим сейчас и бесконечен в будущем. Поэтому говорить, что бурение через 50 — 100 лет будет таким-то и только таким — очень трудно. Ясно одно: бурение будет и разнообразнее, и производительнее, и совершеннее, чем сейчас.

И все же давайте отметим хотя бы некоторые современные разработки и изобретения в буровом деле. Например, новые способы разрушения пород. Как и чем — кроме долбления и истирания — их можно разрушить? И можно ли отказаться от традиционных долот и кольцевых коронок?

Да, можно, причем не только теоретически, но и практически. В частности, сейчас уже применяется взрывной метод. Он заключается в том, что скважина бомбардируется капсулами-зарядами (заключенными в пластмассовую оболочку), которые подаются на забой потоком промывочной жидкости. Метод пока еще слишком дорог и экономически не оправдывает себя, но скорость бурения при таком способе в несколько раз выше, чем при вращательном.

Известен также метод, основанный на кавитации — образовании пустот в движущейся жидкости. Если опустить на забой скважины полые стеклянные шарики и раздавить их там, то в буровом растворе возникнет огромное давление, энергия которого многократно превысит даже энергию капсул-зарядов.

Проводятся эксперименты и частично применяются такие методы, как гидромониторный (с использованием напора жидкости, подаваемой под сверхвысоким давлением) и электрофизический (основанный на воздействии разряда высокого потенциала на предварительно ионизированный слой). Разрабатываются также термические методы: огнеструйный, электродуговой, атомный, плазменный, электроннолучевой и многие другие.

В США запатентован проект бурового снаряда с миниатюрным атомным реактором, диаметр которого не превышает 400 мм. Снаряд рассчитан на плавление пород при температуре 1250–1500 °С. Стенки скважин после такого плавления покрываются пленкой, подобной застывшему стеклу, и ствол не требует дополнительного крепления металлическими трубами.

К термическим способам относится и лазерное бурение. «Гиперболоид», считавшийся еще в начале нашего века не более чем фантастикой, сейчас уже существует. Правда, мощности лазеров пока что не хватает для расплавления всей массы пород в скважине. Лучом прожигается лишь кольцевая канавка по окружности забоя, а оставшийся столбик породы разрушается механическим способом. Но лазерные породоразрушающие инструменты (наконечники) надо признать вполне перспективными.

О преимуществах термических способов бурения говорить не надо: наконечник у них не имеет непосредственного контакта с горными породами, и потому его изнороустойчивость практически неограниченна. Твердость разрушаемых пород также не играет существенной роли для такого инструмента. Правда, есть у термических способов и существенный недостаток: в таких скважинах невозможно получить информацию о разрезе горных пород (ни керн, ни шлам в естественном виде из них не извлекаются, а стенки целиком оплавлены). Поэтому термические способы могут использоваться для бурения только эксплуатационных, в частности нефтедобывающих, скважин.

Интересны проекты, относящиеся к усовершенствованию способов доставки бурового инструмента на забой скважины, т. е. к максимальному упрощению наиболее трудоемких операций — спуско-подъемных. Специалисты СССР и Франции вместе разработали методику шланго-кабельного бурения. Вместо стальных бурильных труб, которые при подъеме приходится развинчивать на секции — свечи и составлять их внутри вышки, применен бронированный шланг. В процессе бурения под давлением промывочной жидкости шланг приобретает жесткость, достаточную для передачи нагрузки на буровой снаряд, а при подъеме становится настолько гибким и эластичным, что его можно наматывать на барабан.

Успеху работ способствовал созданный в СССР усовершенствованный турбобур, конструкция же прочного гибкого шланга разработана французскими специалистами. Конечно, такому устройству до широкого внедрения в практику еще далеко, но оно перспективно, а значит, за ним и будущее. Надо сказать, что уже сейчас на Каспийском море в объединении «Каспморнефть» действует буровое судно, оснащенное установкой для такого шланго-

кабельного бурения.

В последние годы глубокие и сверхглубокие скважины наряду с основной своей ролью поставщика первичной геологической информации (керн горных пород) становятся теми «информационными окнами» (по определению академика Г. Н. Флёрова), через которые с помощью различных скважинных приборов можно «увидеть» строение и свойства земной коры. Ствол скважины — это своеобразная лаборатория, где проводится множество очень тонких и сложных исследований и измерений. Трудность работы в таких лабораториях заключается в том, что измерительные приборы должны иметь ограниченные размеры и очень высокую термо-, вибро- и баростойкость; кроме того, они должны обеспечивать передачу информации о пересекаемых скважиной геологических разрезах с глубин в несколько километров. Поэтому такие приборы нередко называют «спутниками вниз», запускаемыми (опускаемыми) в «геокосмос» — в земные недра. Особенно сложные задачи стоят перед такими «спутниками» при поисках, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений, когда нужно исследовать свойства горных пород через экраны — металлические обсадные трубы и цементные оболочки, крепящие стенки скважин. Новые прогрессивные методы скважинных исследований — этого союза физики и геологии — должны поднять научную и практическую ценность буровых скважин на еще более высокий уровень.

Обширной и вполне самостоятельной отраслью в буровом деле является телевизионное обслуживание стволов скважин и всего производственного процесса. Мы уже говорили, что основные операции при бурении проводятся вслепую: по косвенным признакам, на слух, на ощупь, по показаниям приборов. Испокон веков бурильщики мечтали иметь всепроницающий глаз, который можно было бы опустить в ствол на любую глубину, заглянуть туда, воочию убедиться в правильности своих догадок и предположений. На первых порах в этих целях использовалась скважинная фотосъемка. Однако она не может удовлетворить всем требованиям: не дает кругового обзора, ориентирование снимков часто случайное, и, что главное, — обработка материалов занимает слишком много времени, в результате такая информация сильно отстает от бурения.

В настоящее время для осмотра стволов создано множество телевизионных устройств специального назначения. С их помощью можно выяснить геологическое строение разреза, характер трещин, каверн и полостей; кроме того, проверить стыки обсадных труб, уточнить характер той или иной аварии, т. е. увидеть все, что потребуется.

Телевидение применяется не только при изучении стволов скважин, но и в других целях, в частности при морском глубоком бурении. Отыскивание устья скважины под многокилометровым слоем воды является одной из самых сложных проблем у океанских буровиков. Даже хорошо заякоренное судно не может постоянно находиться на одном месте, в одной точке, его всегда «водит», особенно при беспокойном море. Поэтому для ввода бурового инструмента в устье скважины нужна сверхъестественная точность. Об одном из способов поиска устья (с помощью акустических датчиков) мы уже рассказывали. Другой связан с телевидением. Телекамера может на площади 200 x 200 м определить положение устья с погрешностью всего десятки сантиметров. При глубине моря до 2 км эту операцию она выполняет за 45 секунд. Такая система уже была испытана на судне «Гломар Челленджер», работавшем по международному проекту глубоководного бурения.

Особенно велика роль телевизионной техники при контрольно-диспетчерском обслуживании нескольких крупных буровых установок, расположенных в десятках-сотнях километров друг от друга. На экранах телевизоров в диспетчерском пункте постоянно фиксируется целый ряд изображений — общий вид каждой буровой и (более крупно) отдельные, наиболее ответственные участки и узлы: устья скважин, роторы станков, панели с приборами и датчиками.

Телевидение активно входит не только в работу, но и в быт и отдых буровиков и геологов. Например, для удаленных районов, где нет телевизионного приема даже с помощью станций системы «Орбита» (а она обеспечивает прием телепрограмм на территории, где проживает 86 % населения нашей страны), советские специалисты разработали систему непосредственного телевизионного вещания «Экран». Основа ее — спутники «Экран» на геоцентрической орбите, а наземное оборудование представляют малогабаритные станции трех типов, также получившие название «Экран».

Одна из этих станций, «Экран-К», которая весит всего 10 кг, предназначена для вахтовых бригад буровиков, для геологических отрядов и партий, трассовиков-дорожников и людей других «бродячих» профессий. У такой станции нет передающей антенны; восемь телевизоров, которые могут быть установлены и на буровой, подключаются к станции с помощью кабеля. Станции не требуют постоянного обслуживания, работают в автоматическом режиме, включаясь и выключаясь по сигналам со спутника или с дистанционного пульта управления. Подключив видеоманитофон, их можно превратить в своего рода местный мини-те-

лецентр.

Телевизионная связь с производственными объектами — это только одна, так сказать, информационная, сторона дела. Сведения получены и зафиксированы, цели ясны и задачи определены. А что дальше? Каковы оптимальные режимы бурения? Как предотвратить или ликвидировать возникшую аварию? Тут на помощь приходит электронно-вычислительная техника. Потребности в ней будут все больше возрастать. Уже сейчас теоретические знания и самые разнообразные практические сведения из опыта буровых работ достигли такого объема, что человеческий мозг не в состоянии удержать их в памяти, а тем более оперативно и правильно осмыслить всю эту информацию.

В ряде промышленно развитых стран созданы и успешно функционируют мощные электронно-вычислительные центры (ЭВЦ), контролирующие и направляющие повседневную работу наиболее крупных буровых установок. Багаж (или, как сейчас говорят, — «банк») знаний ЭВМ в таких центрах велик и разносторонен. В электронную память введены и постоянно пополняются сведения из различных сфер бурового процесса: теоретические основы разрушения пород и режимы бурения, встречаемые геологические разрезы и характер всевозможных осложнений в скважинах, применяемые методы аварийных работ и многое, многое другое.

Оперативная информация, поступающая в вычислительные центры с действующих буровых установок, обрабатывается опытными, высококвалифицированными специалистами и вводится в ЭВМ. После многовариантного анализа ЭВМ выдает оптимальные технологические рекомендации либо указывает на способы разрешения той или иной проблемы. ЭВМ выбирает циклы бурения на самых выгодных режимах с максимальным учетом прошлого опыта. На любое отклонение машина немедленно реагирует практическим советом.

Правда, система связи отдаленной буровой с крупным вычислительным центром еще сложна и громоздка. Зачастую связь приходится осуществлять с помощью искусственных спутников Земли и через обширную систему наземных радио- и телефонных передаточных станций. К примеру, канадские буровики с острова Ричарда (близ Аляски) передают оперативную информацию на материк специальным службам. Суммарная протяженность трассы при этом превышает 4000 км и в приеме-передаче принимают участие шесть-семь промежуточных станций.

Однако огромные затраты по содержанию ЭВЦ и спутниковой системы связи в конечном счете окупаются, причем чем совершеннее и «грамотнее» (а значит, и дороже) аппаратура, тем выше

получаемый экономический эффект. Достаточно сказать, что при работе буровых под оперативным контролем вычислительных центров стоимость каждой скважины сокращается, как минимум, на четверть, а получаемая при этом экономия выражается шести-семизначными цифрами.

Не удивительно, что проходка скважин традиционными способами — без приборов и ЭВМ — рассматривается сейчас как бурение «вслепую», а необходимость компьютеризации обучения будущих специалистов-буровиков — это насущная задача и для нашей профессии.

Представьте: на контрольно-диспетчерском пункте, расположенном в десятках километров от скважины, оператор по телевизионным экранам следит за процессом работы автоматической буровой. Он видит показатели приборов, фиксирует любые изменения и отклонения, при необходимости советуется с ЭВМ, определяет и передает уточненные команды. А люди? Бурильщики на таких установках не будут целыми сменами простаивать у рычагов. Они будут выезжать (либо вылетать) на объект только для профилактических осмотров и для ликвидации отдельных неполадок.

Получается, что чуть ли не завтра бурильщик наденет белый халат и сядет в уютное кресло перед пультом со множеством кнопок. А где-то там на буровой многорукие автоматы опускают в скважину на гибком шланге-кабеле лазерный или плазменный буровой наконечник. Все параметры заблаговременно рассчитаны, бурение идет, при желании можно включить «автопилот»...

Вероятно, когда-нибудь так оно и будет, но, пожалуй, еще не скоро. А бурильщику до уютного кресла еще далеко. Это место пока что занимает диспетчер-оператор, который видит на экранах не роботов-манипуляторов, а все тех же незаменимых бурильщиков в брезентовых робах, в защитных касках. Пока что все рукоятки и рычаги управления остаются в руках у бурильщика.

Необходимо учитывать и еще одно важное обстоятельство: темпы развития науки и техники в различных отраслях промышленности далеко не одинаковы. Одни отрасли прогрессируют чуть ли не скачкообразно — то и дело новое открытие, изобретение; другие развиваются плавно и незаметно — на те или иные усовершенствования уходят годы.

В буровом деле наиболее передовыми и прогрессивными отраслями являются сверхглубокое и нефтяное (в первую очередь океаническое) бурение. Именно для этих видов бурения уже созданы вычислительные центры и радио-телевизионно-спутниковые системы связи, для них разрабатываются новые способы проходки

и предлагаются ультрасовременные конструкции буровых снарядов. Именно здесь в первую очередь будут смонтированы автоматические установки и буровик сядет в кресло за пультом.

Каждая установка глубинного бурения — это очень солидное промышленное предприятие, однако общее количество таких предприятий не так уж и велико, а суммарная численность персонала, обслуживающего подобные установки, ничтожно мала в сравнении с огромной армией остальных бурильщиков.

Что же касается прочих видов буровых работ, в том числе и наиболее распространенного поисково-разведочного бурения, то и они тоже развиваются — успешно и неуклонно, хотя и более медленными темпами. В геологоразведочной отрасли нашей страны, где реализуется наибольший объем бурения,[10] создание и внедрение системы оптимизации и автоматизации при бурении скважин и управлении буровыми работами являются одним из основных направлений научно-технического прогресса. Уже действуют системы автоматизированного управления процессом бурения на базе отечественных микроЭВМ, телеконтроля и робототехники.

Два примера.

Комплекс диспетчерского телеконтроля в ряде геологоразведочных партий обеспечивает оперативный контроль за ходом буровых работ, выполняемых на различных участках. Комплекс демонстрировался на выставке «ГЕОЭКСПО-84».

Получивший название «Узбекистан-2»[11] робот-бурильщик является автоматической системой оперативного управления роторным и турбинным бурением на оптимальных режимах. Робот автоматически выбирает наиболее эффективную нагрузку на буровое долото и затем поддерживает ее в течение им же установленного оптимального времени работы этого долота па забое. Одновременно в автоматическом режиме ведется сбор технологической информации о процессе бурения.

Сейчас еще трудно себе представить, а тем более увидеть бурильщика, который, заступая на вахту, надевает белоснежный халат. Но уже возможно! И как раз на установке «Узбекистан-2», которую журналисты по аналогии с понятием «автопилот» оперативно назвали «автобурильщиком». Его можно увидеть на одном из месторождений Средней Азии, где ведется разведка новых кладовых топлива.

После того как закопчены подготовительные к бурению операции (спущена в скважину бурильная колонна и включено вращение ротора), которые бурильщик выполняет непосредственно у бурового станка, он переодевается из рабочей спецовки в белый халат и занимает место за пультом в кабине, расположенной вне

буровой вышки. Процесс бурения ведет автомат, а бурильщик, сидя за пультом, внимательно наблюдает за показаниями приборов и световыми сигналами. Рукоятка же тормоза, которую раньше практически не выпускал из рук бурильщик, здесь крепко зажата «автоматической рукой» — специальным устройством, которое регулирует подачу бурового инструмента на забой.

Но вот на пульте зажигается табло «Внимание». Система анализирует геолого-техническую ситуацию в скважине и через полминуты выдает решение — «Подъем». Причина — износ долота, установленный на основе объективных научных данных, а не субъективных ощущениях и интуиции бурильщика.

Максимальная скорость бурения, снижение стоимости проходки скважины, освобождение «автобурильщиком» бурильщика-человека от напряженного труда — вот главные преимущества работы установки «Узбекистан-2» по сравнению с традиционными методами бурения. По сообщениям газет, промышленность приступила к серийному выпуску этой системы.

Непрерывно работают над совершенствованием буровой техники и технологии геологоразведочного бурения скважин специалисты бурового дела; среди них ученые, инженеры, конструкторы, мастера. Все меньше и меньше остается тяжелого ручного труда на буровых. Эти операции передаются оригинальным устройствам и механизмам, полуавтоматам и автоматам.

Специальному конструкторскому бюро по автоматизации бурения, находящемуся в Ленинграде, удалось автоматизировать самую тяжелую и трудоемкую операцию при бурении — спуск и подъем бурильной колонны с одновременной ее сборкой (разборкой) из отдельных бурильных труб и свечей (рис. 42). Механизм заменяет верхового рабочего, который направляет бурильную трубу при спуско-подъемных операциях, находясь на площадке, расположенной в верхней части буровой вышки или мачты. Здесь, наверху, особенно трудно было работать: и снег, и дождь, и ветер...

Рис. 42. Автоматизированная буровая установка для бурения на нефть и газ.

А что представляет собой буровая установка ближайшего будущего для бурения на твердые полезные ископаемые? Для примера возьмем новые установки типа УКБ-АГ, которыми в предстоящие годы намечено переоснастить геологоразведочные партии и экспедиции Министерства геологии СССР. Буквы в названии расшифровываются как установка колонкового бурения автомати-

зированной и гидрофицированная. Установки создают конструкторы, технологи и дизайнеры Всесоюзного научно-исследовательского института методики и техники разведки и Специального конструкторского бюро Мингео СССР. Установки уже существуют в чертежах и в виде опытных образцов. В них много оригинальных технических решений. Это видно уже по внешнему облику: нет привычных для глаза геологоразведчика контуров вышки (или мачты) — этой сложной в монтаже и перевозке части буровой установки. Ее функции заменил безвышечный подъем бурового инструмента из скважин с помощью гидравлической системы.

Вот перечень (далеко не полный!) преимуществ и новшеств, заложенных в этой установке:

- автоматизированная подача инструмента на забой скважины;

- механизированные и частично автоматизированные операции перекрепления ведущей бурильной трубы, свинчивания и развинчивания резьбовых соединений бурильной колонны;

- выполнение в автоматическом режиме всех спуско-подъемных операций бурильной колонны при вертикальном и наклонном бурении;

- более эффективное использование и передача на забой заложенной в установке мощности гидродвигателя;

- более рациональный выбор частоты вращения разрушающего породу инструмента;

- автоматический выбор наиболее эффективных значений технологических параметров процесса бурения и ведение этого процесса в оптимальном режиме;

- существенное улучшение производственных и бытовых условий работы бурильщиков;...и многое другое.

А пока в рядовом поисково-разведочном бурении с его малыми глубинами скважин, мобильностью установок и относительно низкой стоимостью производственного процесса еще не назрела острая необходимость в автоматизации управления, внедрении ЭВМ, телевизионном обслуживании и прочих заманчивых, но дорогостоящих новшествах. Так что поисково-разведочное бурение, как самое оперативное, еще на длительное время (видимо, не на один десяток лет) сохранится в целом в ныне существующей форме. Будет, разумеется, совершенствоваться оборудование, будут вводиться различные механизмы, так или иначе облегчающие труд бурильщиков.

Но сами бурильщики по-прежнему будут объединяться в маленькие, дружные коллективы, будут жить в поселках и выез-

жать на работу «в поле», будут трудиться там в уютном тепляке (который очень быстро становится родным домом). И искусство бурильщика, его интуиция, опыт, творчество еще не скоро будут заменены электронными роботами, не знающими сомнений, не умеющими ошибаться. Пока что решающее слово остается за мастером-профессионалом.

Стать же настоящим мастером-профессионалом, специалистом высшей квалификации — нелегко. Для нашей профессии необходимы прежде всего любовь к ней, переходящая в призвание, золотые руки и светлая голова. И тогда эту «профессию» вы сможете «объявить своим делом» — так с латинского языка на русский переводится смысл этого слова.

В заключение расскажем, —

Где и как можно получить эту специальность

Как сейчас стать буровиком? Как приобрести столь удивительную, разностороннюю и перспективную специальность?

Конечно, проще всего — поступить в специализированное ПТУ. Такие ПТУ есть сейчас во многих крупных городах. Надо просто зайти в ближайшую геологическую экспедицию или в объединение и узнать там адрес училища, условия приема, сроки и прочие подробности. Например, в Ленинграде при производственном геологическом объединении «Севзапгеология» действует ПТУ, готовящее специалистов геологического профиля, в частности и бурильщиков.

Но есть и второй, несколько более длинный, но более плодотворный путь; так сказать, — «путь познания с азов». Для начала надо выехать в одну из поисково-разведочных геологических партий (местонахождение их можно узнать в тех же экспедициях либо объединениях) и поступить там на работу помощником бурильщика — помбуром. Для этой должности специальной подготовки не требуется, достаточно небольшой стажировки на месте. Проработав там несколько месяцев, вы уясните для себя многое: специфику оборудования и самого бурового процесса, условия труда и жизни, а главное, сможете понять, — устраивает ли вас эта профессия, нравится ли она вам. В таких геологических партиях периодически (не реже чем раз в год) объявляется набор на курсы бурильщиков. Вы заявляете руководству партии о своем желании, и вас направляют на эти 4-месячные курсы с отрывом от производства; при этом вам сохраняют среднюю зарплату на весь срок обучения.

Но вот вы закончили ПТУ либо курсы бурильщиков и начинаете работать. Обязательно надо отработать по крайней мере два-три года — закрепить знания, приобрести навыки, накопить опыт. А дальше? Для большинства из вас квалификация бурильщика — не вершина, а лишь ступень к дальнейшему познанию, к последующей деятельности.

Проработав какое-то время у станка, вы наверняка захотите участвовать в бурении более активно, ответственно и, главное, самостоятельно. Возможно, у вас появится желание попробовать свои силы на глубинных установках, оснащенных самым современным оборудованием. Тут уж нужна специальная подготовка и без высшего образования никак не обойтись. Что ж, для поступления в институт у вас всегда «зеленая улица» — есть стаж и опыт работы, есть неоспоримое преимущество перед абитуриентами

из школьников, есть и соответствующие льготы. Учиться вы можете очно, заочно либо вечером. На ваше усмотрение.

Все горные, геологоразведочные и большинство политехнических вузов страны готовят инженеров по технике разведки (буровиков) широкого профиля.

В частности, в Ленинградском горном и Московском геологоразведочном институтах отделение «техника разведки» (РТ) выпускает специалистов по поисково-разведочному бурению на твердые полезные ископаемые. Нефтяные факультеты в ряде других вузов страны готовят специалистов по глубокому бурению на нефть и газ.

После окончания института вы сможете вернуться на производство и заняться на практике техникой бурения и технологией проходки скважин, а впоследствии — возглавить буровой участок либо целую партию. По окончании нефтяного факультета вас направят на ту или иную глубинную установку; будете осваивать там современные способы проходки и внедрять новое оборудование (собственно, готовить «кресло и белый халат» для бурильщика будущего). Со временем, приобретя достаточный опыт, вы сможете поступить в конструкторское бюро или научно-исследовательский институт и заняться там теоретическими либо практическими разработками по усовершенствованию процесса бурения или по модернизации оборудования. Возможности во всех этих делах у вас необозримые.

В любом случае, пройдя весь путь от помбура и бурильщика через институт к инженеру-руководителю или инженеру-исследователю, вы становитесь по-настоящему грамотным и потому особо ценным специалистом.

В добрый путь!

Что мы читали и что рекомендуем вам читать о бурении и о геологоразведчиках

Аганбегян А. Г. Арктика — экономике. — Знание — сила, 1981, № 8, с. 3–5.

Александров Г. С. Научно-технические достижения СССР на Международной выставке «ГЕОЭКСПО-84» в Москве. М., ВИЭМС, 1984. 30 с.

Арсентьев А. И., Падуков В. А. Беседы о горной науке. М., Наука, 1981. 160 с.

Баранов М. Шаги в океан. — Новый мир, 1982, № 10, с. 184–206.

Брейз Жак. Покорители недр планеты. — За рубежом, 1985, № 20, с. 20–21.

Величко Е. А., Контарь Е. А., Тареева О. К. За рудой в глубины океана. М., Недра, 1980. 96 с.

Гаврилов В. Л. Как устроены и чем богаты наши недра. М., Недра, 1981. 192 с.

Дерягин Б. В., Федосеев Д. В. Алмазы делают химики. М., Педагогика, 1980. 128 с.

Друянов В. А. Недра — цех под землей. М., Знание, 1980. 128 с.

Дубах Г. В., Табер Р. В. 1001 вопрос об океане и 1001 ответ. Пер. с англ. Л., Гидрометеиздат, 1977. 188 с.

Житомирский С. Буровая на Луне. — Техника — молодежи, 1968, № 2, с. 36–37.

Козловский Е. А. Геологи открывают богатства недр. М., Недра, 1980. 127 с.

Козловский Е. А. Впервые в мире: Пробурена скважина глубиной 10 500 м. — Известия, 1980, 8 окт.

Козловский Е. А. Изучение глубинного строения земных недр — состояние и перспективы. — Разведка и охрана недр, 1984, № 7, с. 12–18, № 8, с. 17–21.

Кольская сверхглубокая. М., Недра, 1984. 490 с. (Министерство геологии СССР).

Копылов В. Е. Бурение скважин вне Земли. М., Недра, 1977. 100 с.

Копылов В. Е. Бурение?.. Интересно! М., Недра, 1981. 160 с.

Лисицын А. А. Металлы из недр океана. — Знание — сила, 1981, № 8, с. 8–9.

Малахов А. А. Каменная радуга. Новеллы и повести. Свердловск, Средне-Уральское книжное издательство, 1977. 288 с.

Малчнов А. Меч для Кольского щита. — Вокруг света, 1982, № 1, с. 1–4.

Марамзин А. В., Блинов Г. А. Алмазное бурение на твердые полезные ископаемые. Л., Недра, 1977. 248 с.

Милановский Е. Е. Геологическая карта. — Природа 1984 № 2, с. 40—50.

Мишкевич Г. И. Его величество Алмаз. Л., Машиностроение 1972. 152 с.

Олейников А. Н. В недра планеты. Л., Недра, 1979. 175 с. (Сер. «Кем быть?»).

Перевозчиков А. Бросок к недрам. — Техника — молодежи 1984, № 1, с. 41–45.

Ребрик Б. М. У колыбели геологии и горного дела М Недра, 1984. 128 с.

Резанов И. А. Сверхглубокое бурение. М., Наука, 1981. 160 с.

Риффо Клод. Будущее — океан. Л., Гидрометеиздат, 1978 272 с.

Толстихин О. Н. Земля — в руках людей. М., Недра, 1981. 160 с.

Хотинский Б. Г., Топорский В. Б., Махولين О. А. Нефть вчера и сегодня. Л., Недра, 1977. 175 с.

Примечания

1

Мерзлота, конечно, не «вечная», и правильное научное название таких горных пород — многолетнемерзлые породы.

2

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. М., Наука, 1980.

3

Камчатка — уникальный район: здесь 160 вулканов, из них 28 действующих.

4

Чтобы перевести футы в метры, надо числовое значение умножить на 0,3; 1 фут = 0,3048 м (точно!).

5

УКБ — установка колонкового бурения.

6

Основная заслуга в развитии алмазного бурения принадлежит специалистам Всесоюзного научно-исследовательского института методики и техники разведки (ВИТР, Ленинград).

7

Авария в скважине — это непредвиденное прекращение бурения, вызванное нарушением нормального состояния скважины или находящегося в ней бурового инструмента,

8

Анабиоз — явление биологического приспособления организмов к неблагоприятным условиям существования, когда процессы жизнедеятельности замедляются или прекращаются вовсе, так что даже видимые признаки жизни исчезают. Анабиоз широко распространен среди микроорганизмов, беспозвоночных, насекомых.

9

Напомним, что станции «Вега» проследовали по маршруту Земля — Венера — комета Галлея (отсюда и их название).

10

В Министерстве геологии СССР ежегодно осуществляется бурение около 300 тыс. скважин — около 25 млн. м.

11

Информационно-управляющая система бурения роторным и турбинным способами «Узбекистан-2» создана содружеством специалистов, ученых, конструкторов, производственников Министерства геологии Узбекской ССР и Всесоюзного научно-исследовательского института экономики минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС, Москва); комплекс алгоритмов составлен на основе принципов оптимизации процесса геологоразведочного бурения, разработанных профессором Е. А. Козловским.