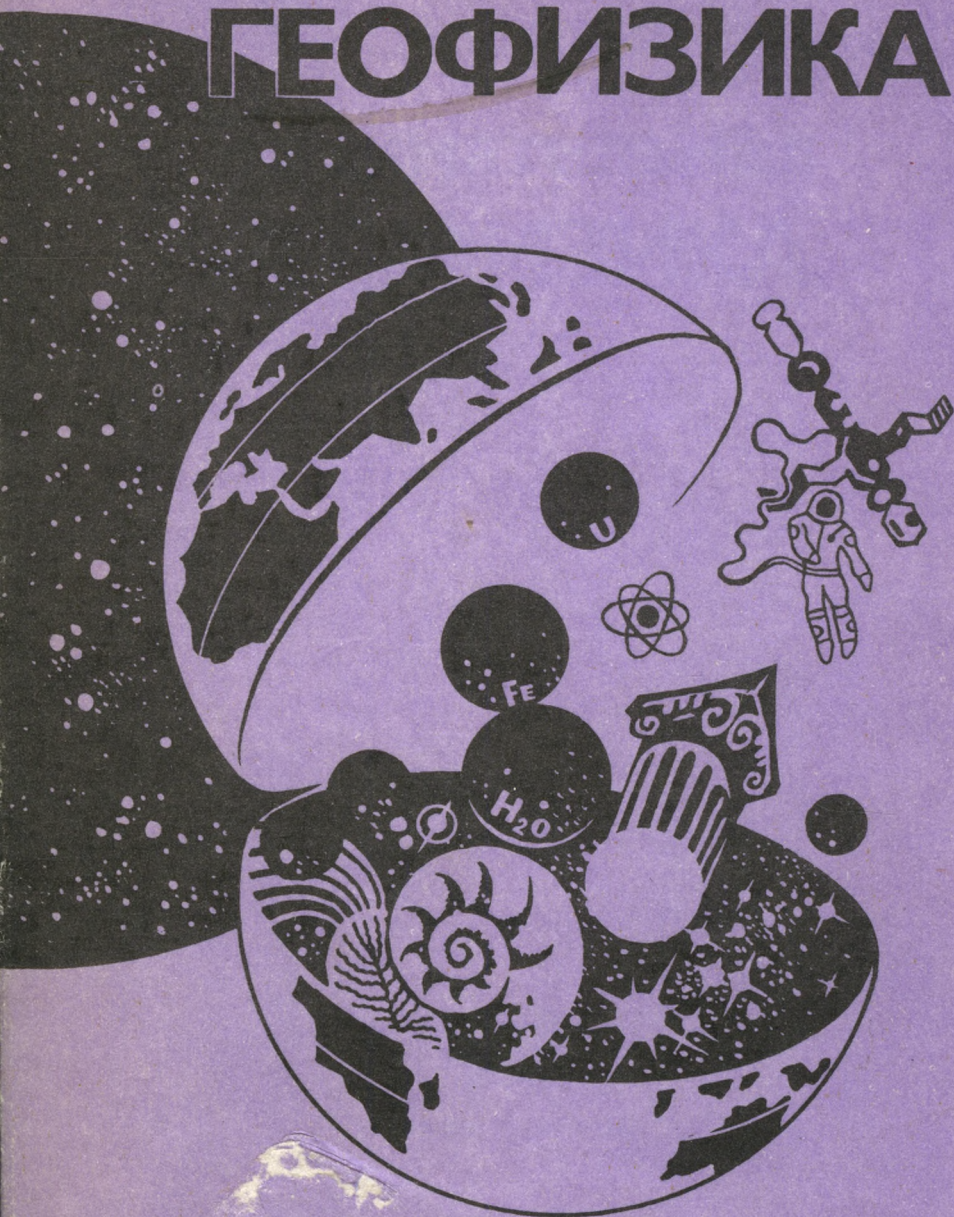


Г.С. ФРАНТОВ Ю.С. ГЛЕБОВСКИЙ

# Занимательная ГЕОФИЗИКА





Г. С. ФРАНТОВ  
Ю. С. ГЛЕБОВСКИЙ

# Занимательная ГЕОФИЗИКА



МОСКВА "НЕДРА" 1987



ББК 526+551.42

Ф83

УДК 550.8 (023)

**Франтов Г.С., Глебовский Ю.С.**

Ф 83 Занимательная геофизика. — М.: Недра, 1987, — 128 с., 35 к.

Живо и увлекательно рассказано об одной из наук о Земле — геофизике, основанной на изучении электрических, магнитных, радиоактивных, упругих и других свойств горных пород и имеющей важное значение для изучения строения Земли, поисков и разведки полезных ископаемых, решения научных и производственных задач. Показано, что геофизика проникла сегодня практически во все сферы деятельности человека — от изучения космического пространства до инженерной геологии, археологии, поисков утерянных сокровищ.

Для широкого круга читателей и профессиональной ориентации молодежи.

Табл. 4, ил. 18, список лит. — 14 назв.

Рецензент: *А.И. Холин*, д-р геол.-минер. наук (Московский институт нефти и газа им. И.М. Губкина)

Ф  $\frac{1903010000-057}{043(01)-87}$  25-86

ББК 526+551.42

## НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЕ ИЗДАНИЕ

Григорий Сергеевич Франтов  
Юрий Сергеевич Глебовский

## ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ГЕОФИЗИКА

Редактор издательства *И.П. Иночкина*  
Оформление художника *Ю.Г. Черепанова*  
Художественный редактор *В.В. Шутько*  
Технический редактор *Н.С. Анашкина*  
Корректоры *Н.А. Громова, К.И. Савенкова*  
Оператор *И.В. Волкова*  
ИБ № 4529

Подписано в печать 26.11.86. Т-13046. Формат 60х90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 2. Набор выполнен на наборно-пишущей машине. Гарнитура "Пресс-роман". Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,0. Усл. кр.-отт. 8,37. Уч.-изд. л. 9,66. Тираж 102700 экз. 2-й завод (50 000—102700) экз. Заказ 116 /8593—3. Цена 35 коп.

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра"  
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

© Издательство "Недра", 1987



Геофизика — детище XX в.  
Геология, физика, математика —  
основы геофизики  
Физические свойства недр  
раскрывают секреты природы  
Геофизика содействует охране недр

Для изготовления автомобилей, кораблей, самолетов, приборов, различных металлических конструкций, строительства зданий и дорог, выращивания сельскохозяйственных культур из недр Земли ежегодно добывают миллионы тонн полезных ископаемых. Энергетика, химическая промышленность, космическая техника, электроника — все отрасли народного хозяйства нуждаются в разнообразных видах минерального сырья. Поиски месторождений полезных ископаемых — это огромный труд многих людей различных специальностей. Первооткрывателями месторождений обычно являются геологи и геофизики.

Геологи, чтобы заглянуть в недра, широко используют естественные выходы различных горных пород в ущельях, обрывах, оврагах, горах, сложенных гранитами, известняками, глинами, песчаниками и другими образованиями. Если естественных обнажений нет, создают искусственные — копают каналы и ямы. По стенкам их видны вскрываемые породы.

Чтобы увеличить глубину исследований, бурят скважины и вынимают из них кусочки породы, так называемый керн. Области распространения различных горных пород наносят на специальные планы. Так получают геологическую карту, поясняющую строение земных недр и позволяющую искать месторождения. Людям надо знать, что находится в недрах Земли, но добиться этого нелегко.

Наша планета формировалась в течение нескольких миллиардов лет в условиях разнообразных физико-химических процессов. До сих пор недра, несмотря на усилия геологов и геофизиков, хранят в секрете как многие этапы истории своего развития, так и особенности глубинного строения. Проходят годы напряженного труда, прежде чем на карту удается нанести контуры рудных тел и нефтяных залежей, после чего начинается разработка месторождения. А это — множество буровых скважин, горных выработок, химических проб . . . И все для того, чтобы заглянуть в глубь Земли. Сложно, не правда ли?

Есть возможность ускорить и облегчить процесс поисков подземных кладовых. Геолог не видит месторождений, находящихся под землей. В его распоряжении имеются в основном данные бурения, которое очень дорого и позволяет изучить последовательность залегания горных пород

лишь в одном месте, там, где пробурена скважина. Как же увидеть, что находится под землей? В этом геологам помогает техническое "дальновидение" сегодняшнего дня — различные геофизические методы разведки. Врач не может увидеть скелет человека невооруженным глазом, но, применяя рентгеновские лучи, он его видит. То, что в недрах скрыто от глаз, "видят" сложные геофизические приборы. Может показаться, что геология и физика далеки друг от друга. Но это не так. Именно физика помогла геологам найти большое число месторождений меди, железа, нефти, угля, воды, соли, строительных материалов и других полезных ископаемых.

Многих из тех, кто знакомится с книгами по геофизике, поражает одно обстоятельство. В них рассказывается о процессах и явлениях, которые наблюдаются геофизиками не в физической лаборатории, а в природных условиях, где различные явления часто происходят одновременно и затейливо взаимодействуют друг с другом. Здесь встречаются и загадки, которые нужно отгадывать.

Оказалось, что валуны и горы, скопления нужных человеку минералов, трещины (разломы) земной коры, различные геологические слои, на первый взгляд немые, проявляют себя физическими полями и процессами. Землю окружают магнитные, электрические, радиоактивные, тепловые, акустические, гравитационные поля, которые, если их изучить и правильно истолковать, расскажут о строении земных недр. История естественных наук говорит о том, что изучение минерала магнетита позволило создать теорию магнетизма; янтарь рассказал людям об электричестве, а урановая смолка — о радиоактивности, сульфидные минералы — об интересных электрических свойствах горных пород и т. д. В природе существуют и такие явления, о которых сегодня мы еще ничего не знаем, но с ними можно столкнуться при изучении неживой природы, что, конечно, очень интересно. В этих сложных природных загадках, таинственном океане неизвестного, окружающем нас, — своеобразная научно-техническая поэзия и своя романтика.

Геофизика — молодая наука, изучающая физические свойства Земли и процессы, происходящие в ней. Геофизики в своей работе используют приборы, отмечающие различие в магнитных, электрических и других свойствах горных пород и руд, сочетания знаний геологии и физики с точным математическим расчетом. Но самые сложные математические уравнения пока еще не описали полностью распределения физических полей Земли и происходящие в ней процессы.

Чтобы стать геофизиком, нужно не только хорошо знать геологию, физику и математику, но и быть самоотверженным, влюбленным в свою профессию, постоянно стремящимся познать неизведанное. Необходима убежденность в пользе своего дела для того, чтобы работать, например, в шахте, в тайге, кишашей гнусом, во льдах Антарктиды, терпеть качку на корабле, болтанку в самолете, жару и жажду в пустыне. Причем в этих сложных условиях все время нужно работать — вести наблюдения, ремонтировать аппаратуру, обрабатывать результаты. Зато Вы становитесь исследователем, получаете важные результаты, приносите пользу своим трудом. Кроме того, Вы складываете полученные факты в копилку челове-



ческих знаний, видите вечные и незабываемые по красоте картины природы, становитесь первопроходцем и первооткрывателем. Если почва накопленных фактов будет богатой, на ней со временем вырастут новые обобщения, теории, закономерности и открытия. Физика и романтика в геофизике сливаются в единый сплав, приводящий в действие и мысли, и чувства. Сегодня можно уверенно говорить, что геофизика — это поэзия земных недр. О ней и пойдет разговор в книге.

В 20-е годы нашего столетия в связи с индустриализацией народного хозяйства, созданием новых промышленных районов и реконструкцией старых, развитием сельского хозяйства, подъемом всех отраслей экономики нашей страны потребовались полезные ископаемые в большом и все увеличивающемся количестве. Искать новые месторождения нужно было быстро и экономично. На помощь пришла геофизика, ускоряющая все стадии геологических работ. Она позволяет сокращать расходы на бурение, при аэросъемке — в десятки раз по сравнению с затратами на наземные работы и т. д. Сокращение затрат получается по многим причинам. Во-первых, в неизученных районах по различным значениям физических полей геофизики могут выявить геологические объекты и быстро составить предварительную геологическую карту. С ее помощью геологи получают представление о том, где в районе имеются участки, перспективные для поисков месторождений, и там концентрировать работы. Кроме того, обеспечивается возможность проводить поиски в любых районах и средах. Все это делает геофизику незаменимой при геологических исследованиях. Скважина глубиной в сотни метров стоит десятки тысяч рублей, а глубиной в несколько километров — сотни тысяч. Бурят их долгие месяцы, а иногда и годы. Просвечивая недра, например, электрическими сигналами, можно вместо пяти — семи скважин пробурить одну. Используя действие физических полей на чувствительные элементы геофизических приборов, горные породы можно распознавать на расстоянии, поэтому геофизические методы иногда называют дистанционными.

Не только поиски полезных ископаемых являются областью применения геофизики. Инженерная геология, археология, военное дело и многие другие сферы человеческой деятельности не обходятся без геофизики. Изучение физических свойств недр и обусловленных ими физических полей будет необходимо людям всегда. Постоянно развиваются и новые области применения геофизики. Одна из жизненно важных проблем, стоящих перед человечеством, — охрана окружающей среды. Геофизика способствует охране недр, поскольку без нарушений среды горнобуровыми работами помогает найти в земле тот или иной объект. Геофизические приборы позволяют наблюдать физические поля, связанные с природными процессами, следовательно, могут помочь при решении экологических задач.

Для решения геологических задач геофизиками используются практически все известные физические явления, связанные с естественными и искусственно создаваемыми в Земле электромагнитными полями, гравитационным полем Земли, радиоактивностью горных пород, упругими волнами, тепловыми полями. Зародившись в XIX в., геофизика динамично развивается в XX в., проникая со своими приборами всюду.



## МАГНИТ ИЩЕТ СОКРОВИЩА НЕДР И РАЗГАДЫВАЕТ ЗАГАДКИ

Полным-полна чудес природа  
А началось все с простого компаса  
Маяковский — магниторазведчиком  
Ковер-самолет и волшебная палочка  
Три революции в магниторазведке  
Каков фундамент этой башни?  
Как это делается?  
Что может магниторазведка?

В магнитных явлениях еще много тайн, много непонятого, и вместе с тем, как это ни удивительно, магниторазведка помогает открывать тайны строения Земли. Это утверждение совершенно точно отражает факты. Ведь магниторазведка основана на изучении магнетизма Земли, однако само явление магнетизма и многие свойства магнитного поля изучены еще недостаточно. Очень многое еще совершенно неясно и, видимо, будет установлено только следующими поколениями исследователей.

Так, например, мы еще не знаем с полной уверенностью, как возникло магнитное поле Земли и почему оно практически отсутствует на некоторых других планетах. Мы твердо установили, что земное магнитное поле очень сильно изменялось с момента образования нашей планеты, причем северный и южный полюсы многократно менялись местами (эти явления называются инверсиями), но причины инверсий точно не известны; есть лишь гипотезы. Существует несколько гипотез и о происхождении гигантских, так называемых материковых магнитных аномалий и удивительных отрицательных аномалий над железорудными месторождениями Ангара-Илимского и некоторых других районов (обычно аномалии над такими месторождениями положительные); какое из существующих предположений верно, пока еще не доказано. Уже делаются удачные попытки предсказывать землетрясения по записям магнитометров, установленных в сейсмически опасных районах: незадолго до начала землетрясений магнитометры отмечают небольшие характерные изменения магнитного поля (так называемые магнитные вариации). Однако о механизме этой связи землетрясений с магнитными явлениями мы лишь догадываемся. И уж совсем неясно, каков механизм воздействия магнитных вариаций на живые организмы, хотя можно считать доказанным, что вариации сказываются и на росте растений, и на здоровье человека, и на состоянии его психики. Статистика показала, что с изменениями магнитного поля во времени четко связаны обострения сердечно-сосудистых и некоторых инфекционных

заболеваний, глаукомы, эпилепсии. Факты свидетельствуют, что огромные полчища страшного сельскохозяйственного вредителя — саранчи — появляются в определенные периоды так называемого одиннадцатилетнего цикла изменений земного магнетизма.

Эти пока непонятные воздействия магнитного поля на биосферу представляют большой интерес не только для медиков и биологов, но и для геологов, изучающих биогенные горные породы, поскольку некоторые из мельчайших существ, из карбонатных оболочек которых состоят известняки (в том числе всем известный мел), могли вымирать во время инверсий магнитных полюсов, что должно было сказаться на мощности (толщине) слоев и составе осадочных горных пород. Тайны, тайны, тайны. . . . О них написано уже немало книг и статей. И очень возможно, что разгадка этих тайн гораздо важнее для человечества, чем мы сейчас считаем. Высказывалось же некоторыми исследователями предположение, что с перемещением магнитных полюсов Земли связана гибель гигантских ящеров мезозойской эры. Ученые уже задаются вопросом, как повлияет на само человечество следующая инверсия, которую ожидают не в столь уже отдаленном будущем — через несколько тысяч лет.

Перечень подобных, непознанных до конца, явлений мог бы быть продолжен, но и сказанного достаточно, чтобы понять, что магнитные явления пока еще во многом загадочны. В этой области возможны интересные открытия. Гипотез же существует немало, но от гипотезы до строгой теории дистанция огромна. Ученые спорят, идеи сражаются друг с другом, накапливаются новые факты.

Все эти споры не смущают врачей; они все шире разрабатывают и успешно внедряют методы магнитной терапии, т. е. лечение некоторых болезней воздействием магнитов, например лечат радикулиты с помощью намагниченных пластинок (магнитофоров). Широко используется магнитное поле и в технике (динамомашин, электродвигатели, для уменьшения накипи в паровых котлах и др.). Для магниторазведчиков же магнитное поле (проявление магнитных сил в пространстве) является надежным средством изучения недр Земли.

С помощью специальных приборов (магнитометров) из года в год в различных уголках Земли выполняются магнитные съемки разной детальности, в результате их корректируются геологические карты, отыскиваются месторождения полезных ископаемых, в том числе весьма слабомагнитных. Решаются и другие интереснейшие задачи, о которых мы еще скажем. Съемки выполняются на поверхности Земли, с самолетов, с кораблей и спутников. Устройство современных магнитометров отражает новейшие достижения физики и технологии. Точность магнитных измерений удивительна — совсем недавно, лет 10 назад, мы даже не мечтали о таких точностях; к этому вопросу мы еще вернемся.

А началось все с простого компаса. . . . Да, магниторазведка началась с компасов, а точнее — с сильномагнитной железной руды — магнетита. Дело в том, что первые компасы представляли собой куски магнетита, подвешенные так, чтобы они могли поворачиваться и устанавливаться по направлению магнитного меридиана; да и первыми объектами поисков



были магнетитовые месторождения, магнитные аномалии над которыми, часто очень интенсивные, могли выявляться самыми простыми средствами. Появились же первые компасы очень давно. По данным археологов, они были известны уже в Древнем Египте и Древнем Китае. Так, первые сведения о компасах найдены в летописях, написанных почти 4000 лет назад. Есть данные, что простейшие компасы применялись в Южной Америке в древних государствах инков, ацтеков и майя.

В Европе компасы известны с XII в. и сыграли огромную роль в эпоху великих географических открытий\*. Это были более надежные устройства, со стальными стрелками и усовершенствованным подвесом. Без них не состоялись бы ни путешествия Колумба, ни Магеллана. Хотя моряки еще в глубокой древности умели ориентироваться по Солнцу и звездам, это не помогало, когда тучи закрывали небо. Таким образом, вполне уместно сказать, что компас открыл европейцам немало стран. Уже в этот период великих географических открытий в результате сличения астрономических определений стран света и показаний магнитных компасов было установлено, что магнитная стрелка указывает неточно на географический Север и это отклонение в разных точках Земли неодинаково. Так были открыты несовпадение географических и магнитных полюсов и крупные аномалии магнитного склонения. Вначале это путало и даже пугало моряков, о чем свидетельствует, например, описание знаменитых путешествий Христофора Колумба. Считалось, что северный конец стрелки компаса притягивает Полярная звезда, а отклонение горизонтально подвешенной стрелки от этого направления (это и есть магнитное склонение) воспринималось как угроза каких-то таинственных сил.

Отмеченные Колумбом "странности" в поведении компасов заставили ученых той далекой эпохи заняться изучением магнетизма — это было насущно необходимо для мореплавателей. Уже тогда изготавливались магниты самой различной формы, а в конце XV в. английский врач В. Гильберт сделал даже модель Земли в виде намагниченного шара и написал свой знаменитый трактат "О магните, магнитных телах и о большом магните Земли"\*\*. Утверждение В. Гильберта о том, что Земля является намагниченным телом, было гениальным открытием. Говоря о цели своей работы, он писал, что собирается "... при помощи наглядных опытов с магнитами ... впервые проникнуть во внутренние части Земли". Поразительная для его времени мысль! Ведь это было сказано почти 400 лет назад (1600 г.).

В 1701 г. Э. Галлей (Англия) построил первую карту магнитного склонения. Приблизительно в это же время измерения склонения в разных точках земного шара, а также повторные и длительные стационарные

\* Магниты были известны здесь гораздо раньше — еще в Древней Греции и Риме. О них рассуждали и Фалес, и Эмпедокл, и Платон, а Тит Лукреций Кар (99–55 гг. до н. э.) писал о них в стихах.

\*\* Под таким названием эта книга издана в переводе на русский язык в 1956 г. Подлинное наименование трактата — "Новая физиология магнита, магнитных тел и большого земного магнита, доказанная многими аргументами и опытами".

наблюдения с магнитными стрелками показали, что магнитное поле меняется не только в пространстве, но и во времени; так было открыто переменное магнитное поле Земли. В XVIII—XIX вв. изучением магнитных явлений и магнитными измерениями занимались выдающиеся ученые и путешественники многих стран мира, например великий немецкий математик К. Гаусс, русский ученый Н.М. Симонов, предвосхитивший некоторые идеи К. Гаусса, М.В. Ломоносов, а позднее и Д.И. Менделеев. М.В. Ломоносов занимался улучшением компасов; под его руководством был, в частности, создан самопишущий компас. Он же предложил организовать в России магнитные обсерватории для стационарного изучения магнитного поля. Д.И. Менделеев был инициатором первых магнитных съемок для геологических целей в нашей стране, в первую очередь на Урале.

Кто первый и когда именно установил, что с помощью магнитного компаса можно находить железные руды, мы не знаем и, вероятно, никогда не узнаем. Не знаем же мы, кто изобрел колесо, хотя это, несомненно, было гениальным изобретением. Первые описанные в литературе опыты поисков руд с помощью магниторазведки относятся к XVII в. и проводились в Швеции. Начиная с 1760 г. такие же работы выполнялись в США. В России применение магниторазведки было начало на Урале в районах месторождений Магнитная, Благодать, Высокая и в Бакальском районе. Мы не будем здесь описывать историю магниторазведки в дореволюционной России; отметим лишь, что уникальная Курская магнитная аномалия (КМА) была открыта еще в 1778—1779 гг. академиком И.Б. Иноземцевым и что все дореволюционные съемки выполнялись грубыми, иногда громоздкими приборами с магнитными стрелками.

Сразу же после Великой Октябрьской социалистической революции по инициативе В.И. Ленина была создана Особая комиссия по Курской магнитной аномалии (ОККМА). Это является свидетельством поразительной способности предвидения, свойственной Владимиру Ильичу. Ведь ныне во всем мире известно, что Курские месторождения имеют уникальные запасы железа, в совокупности оцениваемые триллионами тонн. А тогда шла гражданская война, не было самого необходимого, работы проводились в зоне боевых действий, буквально под обстрелом бело-варвардейцев. Какое мужество требовалось для выполнения этих работ! Несколько сотрудников ОККМА погибли, а руководители и организаторы съемок сталкивались и с прямым саботажем, и с недоверием. Ведь первая руда была добыта на КМА только в 1923 г., вначале же было лишь научное предвидение того, что магнитные аномалии связаны здесь с железной рудой.

Работами ОККМА руководили замечательные ученые П.П. Лазарев, И.М. Губкин, А.Д. Архангельский. Академик А.Н. Крылов помог экспедиции получить компактные и легкие, удобные в работе отечественные магнитометры, которые магнитологи окрестили "котелками". Работы ОККМА не только привели к открытию Курских месторождений, но и дали мощный толчок развитию магниторазведки в Советской России.

Не случайно В.В. Маяковский воспел участников Курской эпопеи в стихах\*, которые знают и часто цитируют все магниторазведчики:

Двери в славу —  
двери узкие,  
Но как бы ни были они узки,  
навсегда войдете  
вы,  
кто в Курске  
добывал  
железные куски.

По окончании гражданской войны объем и эффективность магниторазведочных работ резко возросли, и в Петроградском горном институте по инициативе проф. В.И. Баумана была начата подготовка инженеров-геофизиков (до революции они не выпускались ни одним высшим учебным заведением России). Этот исключительно одаренный человек внес огромный вклад не только в подготовку кадров геофизиков, но и в технику и методику магнитной разведки.

Трудно, а практически и невозможно перечислить советских специалистов, которые существенно способствовали развитию магниторазведки в последующие годы, но нельзя не назвать Александра Андреевича Логачева, человека, с именем которого связана подлинная революция в магниторазведке.

Впрочем, сначала нужно сказать о первой революции в магниторазведке. Она произошла тогда, когда немецкий ученый Адам Шмидт разработал высокоточные магнитные весы (1910 г.). С появлением этого прибора, который в нашей стране именовался магнитометром М-2, стало доступным изучение магнитных аномалий, связанных не только с железными рудами, но и со слабомagnetными породами. Тем не менее более простые приборы еще выпускались в нашей стране до 40-х гг. Не следует пренебрегать ими и сейчас, — даже с самой простой аппаратурой возможно получение весьма важных результатов. Так, по отклонениям стрелки обычной топографической буссоли удается зафиксировать и железорудные месторождения, и даже менее магнитные объекты, например дайки (жилы) диабазов, что иногда бывает крайне необходимо. Еще интереснее тот факт, что крупное Соколовско-Сарбайское железорудное месторождение было открыто не с помощью специальных приборов и съемок, а летчиком М. Сургутановым, который обратил внимание на то, что в одной из точек его маршрута стрелка авиационного компаса отклоняется от обычного направления. Он сообщил об этом геологам и указал соответствующее место на карте. Теперь там добывают железную руду, а первооткрыватель получил Ленинскую премию. Нам кажется, что этот факт и интересен, и поучителен.

Наземные магнитные съемки требуют больших затрат времени и средств, а в ряде случаев крайне трудны для исполнителей, например в

---

\* "Рабочим Курска, добывшим первую руду, временный памятник работы Владимира Маяковского".



пустынях, в горах, в очень удаленных и заболоченных районах. Поэтому не удивительно, что специалисты давно задумывались над тем, как облегчить и ускорить изучение магнитного поля. Вторая революция в магнито-разведке и произошла с появлением аэромагнитной съемки.

Когда-то, сотни лет назад, народ придумал сказку о волшебной палочке, которая позволяла ее счастливому владельцу обнаруживать спрятанные сокровища. Геофизические приборы можно рассматривать как своеобразную реализацию этой сказки; ведь они помогают отыскивать сокровища, спрятанные природой. Давным давно появились и сказки о ковер-самолете. Это тоже была мечта — мечта о возможности полетов человека над землей. А.А. Логачев, который изобрел первый аэромагнитометр и первым применил его в 1936 г. в районе Старой Руссы, на многие годы опередив американцев, по существу объединил волшебную палочку и ковер-самолет. С этого времени началась совершенно новая эпоха в магнито-разведке. Теперь аэромагниторазведкой изучен уже весь Советский Союз. Аэромагниторазведка вошла в арсенал геофизиков всех стран и дает замечательные результаты. С ее помощью сделано много геологических открытий. Первая магнитная съемка в движении, выполненная с самолета, предопределила возникновение и гидромагнитной съемки, при которой специальный магнитометр буксируется за кораблем. Она обусловила появление аэроэлектроразведки и аэрогамма-съемки. Теперь в ряде случаев выполняются комплексные аэрогеофизические исследования, они дают богатейшую геологическую информацию.

Первые аэромагнитометры представляли собой в сущности маленькие динамомашинки. Основной частью такого прибора была катушка из многих витков тонкого провода, в которой при вращении в земном магнитном поле возникает электрический ток; измерение этого тока позволяло установить напряженность магнитного поля в каждой точке маршрута самолета.

Естественно, что с течением времени наземные и аэромагнитометры совершенствовались. Требовалась все большая точность, так как это расширяло возможности метода — круг решаемых геологических задач — и повышалось надежность их решения. Поэтому на смену оптико-механическим магнитометрам с магнитными стрелками и индукционным аэромагнитометрам с вращающейся катушкой пришли новые приборы. Так, в 60-х гг. появились протонные магнитометры; в них чувствительный элемент (датчик) представлял собой сосуд с жидкостью (водой, керосином, спиртом), содержащей протоны. С помощью специальной обмотки, в которую подавался ток, содержимое сосуда подвергалось воздействию сильного магнитного поля. При этом протоны ориентировались в одном направлении, а после отключения тока начинали прецессировать (вращаться) вокруг направления магнитного вектора, причем частота этой процессии (ее нетрудно измерить) пропорциональна магнитному полю, в котором находится датчик. Приборы, основанные на этом принципе, оказались очень точными и стабильными. Но еще более точными и к тому же наиболее быстродействующими оказались магнитометры, в которых используется сложное явление "оптической накачки". Обычно их называют кван-

товыми магнитометрами. Мы не будем описывать, как действует этот прибор, отметим лишь, что в данном случае магнитное поле определяется уже не с помощью явлений, связанных с поведением протонов в магнитном поле, а с процессами в электронной оболочке атомов некоторых веществ — изотопов щелочных металлов или гелия. Точность обычных квантовых магнитометров в 1000 раз выше точности тех "котелков", которыми выполнялись съемки на КМА в начале 20-х гг. Самая последняя модель отечественного квантового прибора для измерения переменного магнитного поля Земли еще в 50 раз точнее! Вот почему сейчас можно говорить о третьей революции в магниторазведке, которой способствовали исследования Г.С. Васюточкина, А.Н. Козлова, В.С. Циреля, В.П. Пака и многих других советских геофизиков.

На чем же основано применение магниторазведки и как выполняются магнитные съемки? Ответ на эти вопросы скучноват, но из песни слов не выкинешь.

Во времена В. Гильберта на земном шаре было выполнено совсем немного измерений магнитного поля. Сейчас, когда в окружающем Землю пространстве пролегли маршруты спутников и самолетов, а на океанах — кораблей с магнитометрами на борту, когда в различных районах Земли на больших площадях проведены пешеходные и автомобильные наземные магнитные съемки, мы уже точно знаем, что догадка В. Гильберта справедлива: главная часть магнитного поля Земли имеет такой вид, как будто земной шар одновременно намагничен или в его центре расположен мощный двухполюсной магнит — так называемый диполь (магнитное поле намагниченного шара аналогично полю диполя, наблюдаемого в некотором удалении от последнего). Однако на фоне этого однородного магнитного поля установлены аномалии различной интенсивности и разных размеров. Теперь мы подразделяем их на три класса. Это прежде всего огромные аномалии, площади которых соизмерима с площадью материков (но не всегда совпадает с ними); они так и называются материковыми. Источники их, по мнению большинства современных ученых, находятся на глубине, равной приблизительно  $1/3$  радиуса Земли. Одна из таких аномалий расположена на территории Советского Союза и называется Восточно-Сибирской, поскольку центр ее расположен между р. Енисеем и Леной; она захватывает весь Евразийский материк. Второй класс — аномалии средних размеров — от 50 до 1000 км в поперечнике; их называют региональными. Они связаны с районами (регионами), где в земной коре на каком-то этапе ее геологической истории произошли крупные перестройки, которые захватили большие площади и привели к изменению намагниченности пород. Третий класс — локальные, или местные, аномалии, иногда совсем небольшие и отражающие мелкие магнитные неоднородности той же земной коры (отдельные интрузии, зоны разломов, рудные тела и т. д.). В практической работе для решения геологических задач магниторазведчики изучают и региональные аномалии, но особое внимание уделяется локальным аномалиям. Изучая магнитное поле, мы именно по локальным аномалиям различного размера и интенсивности проводим границы между горными породами, выявляем разрывы (разломы) и

складки горных пород, а также полезные ископаемые (рис. 1).

Магнитный метод изучения земных недр практически сводится к тому, что магниторазведчики измеряют интенсивность магнитного поля или на поверхности земли, или над нею, или в буровых скважинах. Затем по полученным данным они строят карты и графики (диаграммы) распределения магнитного поля по площади участка съемки и по отдельным линиям наблюдений. В завершение работы эти карты и графики анализируются и выясняется строение земной коры, в том числе наличие полезных ископаемых. В таком изложении все выглядит очень просто. Пусть, однако, читатель не думает, что выполнение магниторазведочных работ действительно простое дело.

Сложности определяются уже тем, что измеренное в какой-либо точке магнитное поле представляет собой сумму полей однородного намагничения, материковых, региональных и локальных аномалий, а также переменного магнитного поля Земли (магнитных вариаций). Отсюда следует, что для изучения региональных и локальных аномалий из наблюдаемого поля нужно исключить и поле однородного намагничения, и материковые аномалии, и магнитные вариации, а это совсем не просто. Если эту операцию удалось точно выполнить, что возникает вторая трудность, связанная с тем, что по региональным и локальным аномалиям не так-то легко определить, чем они вызваны.

Горные породы, создающие эти аномалии, намагничены по-разному. Наименее магнитны осадочные породы — известняки, песчаники, глины и др., а месторождения соли — диамагнитного материала — создают отрицательные аномалии. Из изверженных пород наименьшую намагнитченность имеют кислые разновидности, наиболее распространенным представителем которых являются граниты. Среднемагнитны изверженные породы основного состава, например базальты, габбро (рис. 2). Наиболее сильно намагничены ультраосновные породы (перидотиты, пироксениты) и две разновидности железных руд — магнетит и пирротин. К сожалению, магнитные свойства однотипных пород изменяются в широких пределах, а у различных по составу пород бывают намагничены с такой же интенсивностью, как основные комплексы, и т. д. Кроме того, амплитуды аномалий зависят от формы, размеров и глубины залегания аномалиеобразующих тел. Поэтому по одной лишь интенсивности аномалий определить

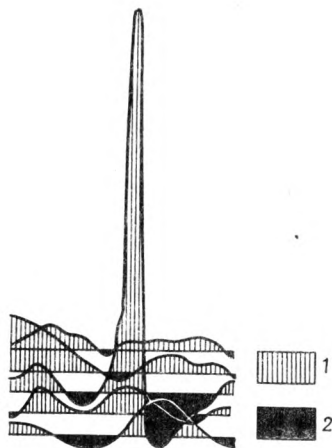


Рис. 1. Графики магнитного поля вдоль маршрутов съемки.

Самый интенсивный пик соответствует залежи богатой железной руды — магнетита. Значения поля: 1 — положительные, 2 — отрицательные



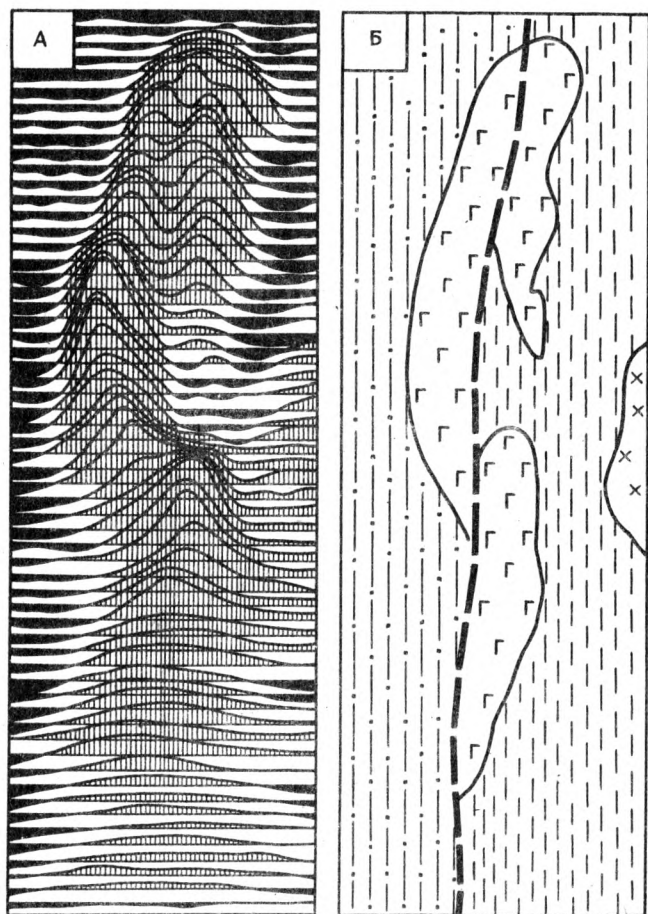


Рис. 2. Магнитные аномалии над основными интрузиями в зоне разлома.

А — графики магнитного поля; Б — геологическая схема (жирный пунктир — разлом, вдоль него три интрузии)

состав геологических тел, которые их вызывают, обычно невозможно. Приходится использовать сложные расчеты, данные других геофизических методов и результаты бурения.

Академик А.Д. Архангельский образно сравнил магниторазведку с рентгеноскопией Земли. Он имел в виду, что карты магнитного поля отражают строение земных глубин так же, как рентгеновский снимок отражает внутреннее строение человеческого тела. Это верно. Однако положение магниторазведчика более сложно, чем врача-рентгенолога. Во-первых, он имеет дело с очень мощной толщей намагниченных пород, мощность которой достигает приблизительно 15 км; очевидно, что

внутри этой толщи друг над другом может быть несколько по-разному намагниченных тел. Во-вторых, на результаты измерений влияют не только магнитные массы, залегающие под точкой измерений, но и соседние тела, поскольку магнитные аномалии шире тех объектов, которыми они вызываются. Если продолжить сравнение магниторазведки и рентгеноскопии, то влияние переменного магнитного поля равносильно тому, как если бы рентгеновский снимок рассматривался не на фоне равномерно освещенного, а на фоне пятнистого экрана, причем с движущимися, непостоянными во времени пятнами света и тени . . . Однако и это еще не все — на результаты магнитных измерений влияет немало других источников погрешностей, в том числе инерционность аппаратуры, рельеф дневной поверхности земли, ошибки определения координат точек измерения и высот аэромагнитных маршрутов, влияние электрических сетей и магнитных масс съемочного самолета (так называемая девиация) и т. п.

Из сказанного ясно, что одной из важнейших задач, стоящих перед магниторазведчиками, является избавление от различных помех, снижающих точность магнитных измерений, исключение влияния весьма многочисленных факторов, мешающих выделению полезной геологической информации.

В известном рассказе Карела Чапека "Как делается фильм" есть фраза: "Таким образом, хочешь не хочешь, приходится начинать со сценария . . .".\* Любые геофизические съемки, в том числе магнитные и гравиметрические, тоже начинаются со сценария — проекта. Составление его — ответственная, часто очень трудная и интересная работа, особенно для нестандартных условий и задач, которые требуют применения нетривиальных приемов съемки. Проектирование обычно поручается самым опытным специалистам.

После утверждения проекта выполняются организационно-подготовительные мероприятия и тщательно проверяется вся основная и вспомогательная аппаратура. На этом первый этап работ заканчивается.

Следующий этап — полевые работы, которые в малоизученных районах начинаются с экспериментальных исследований, что дает возможность уточнить намеченную проектом методику съемки. Так, при выполнении аэромагниторазведки проводят рекогносцировочные облеты участка, аэрофотосъемку и уточняют оптимальную высоту и ориентировку полетов. Устанавливаются магнитовариационные станции. На топографических картах вычерчивают проектные маршруты, а вслед за этим начинается и сама съемка.

При выполнении наземных съемок сами геофизики (или топографы) прокладывают на местности маршруты наблюдений и начинается съемка. При использовании пешеходных магнитометров оператор идет вдоль маршрута и на каждой точке выполняет измерения магнитного поля;

---

\* Чапек К. Рассказы, очерки, пьесы. -- М.: Художественная литература, 1954, с. 139.

результаты записываются в журналы. У некоторых магнитометров результаты фиксируются автоматически на специальной ленте.

При выполнении аэромагнитных работ самолет взлетает, набирает заранее выбранную высоту, после чего по команде пилота геофизик выпускает на длинном кабеле легкую обтекаемую гондолу, по виду напоминающую торпеду, внутри которой находится чувствительный датчик прибора. Это освобождает результаты измерений от влияния магнитных масс самолета. При выходе к началу съемочного маршрута геофизик включает регистратор аэромагнитометра; на нем автоматически фиксируется не только магнитное поле вдоль маршрута, но и высота полета, а также время. Оператор следит за работой прибора, а штурман или специальный бортоператор выполняет аэрофотосъемку. Это позволяет затем точно нанести график магнитного поля на топографическую карту.

Для более точной плановой привязки применяют специальные радиотехнические средства, так называемые радиогеодезические системы. В самом общем виде работу этих устройств можно представить себе так: две-три наземные радиостанции посылают строго фиксированные сигналы, образующие своеобразную невидимую сетку координат на участке съемки; на самолете же имеется компактный прибор, который принимает, анализирует эти радиосигналы от наземных станций, определяет и записывает координаты самолета.

Окончательная обработка данных съемки и построение отчетных карт в настоящее время выполняются обычно с помощью электронно-вычислительных машин (ЭВМ), для чего во многих магнитометрах запись результатов измерений осуществляется в цифровой форме на магнитную ленту или с помощью перфоратора; магнитные или перфоленты позволяют ввести данные съемки на вход ЭВМ. Широко используют ЭВМ и интерпретаторы, когда рассчитывают глубину, магнитные свойства и элементы залегания геологических тел, вызывающих магнитные аномалии.

В распоряжении интерпретаторов имеется большой арсенал средств, разработанных многими поколениями магниторазведчиков. Заметим, что советские специалисты внесли исключительно ценный вклад в решение этого вопроса — В.И. Бауман, И.М. Бахурин, Н.В. Розе, А.А. Логачев, Д.С. Миков в прошлом, а в последние 20 лет Т.Н. Симоненко, В.Н. Страхов, Б.Д. Миков, Л.В. Булина, Г.А. Трошков, А.А. Грознова и многие другие существенно продвинули вперед методику качественной и количественной интерпретации.

Под качественной интерпретацией подразумевают прежде всего работу с магнитными картами. Глядя на магнитные карты, часто даже на глаз можно определять конуры и наклон (угол падения) геологических тел, получать приближенные представления о составе пород, слагающих эти тела, проводить границы участков, отличающихся геологическим строением. При этом очень помогают метод аналогий, анализа формы отдельных графиков магнитного поля и статистические характеристики его особенностей. Достаточно сказать, что уже изрезанность или плавность графиков магнитного поля говорят о многом. Лишь по завершении качественной интерпретации приступают к расчетам, позволяющим коли-

ественно охарактеризовать источники аномалий. Глубина верхней кромки объектов, вызывающих аномалии, определяется с точностью до 10—20 %. Для нижней кромки расчеты менее точны и в ряде случаев невозможны. Помимо расчетов по магнитным аномалиям выполняется моделирование объектов поисков, исследуется возможное влияние помех, привлекаются данные других геолого-геофизических методов, результаты геологического дешифрирования аэроснимков, которые иногда дают очень ценные сведения.

По завершении интерпретации исполнители работ составляют отчет, в котором описывают методы проведения и результаты съемки, приводят карты и графики магнитного поля.

Такова в целом схема выполнения наземных и аэромагнитных съемок — основных модификаций магнитного метода разведки.

Обычные или слегка модифицированные варианты магниторазведки используются не только в геологических работах, но и при археологических поисках, изучении фундаментов плотин, железных дорог и других сооружений. Есть случаи применения магнитных съемок в криминалистике, при поисках кладов. Площадными и маршрутными аэромагнитными съемками в Антарктиде выявляются погребенные под материковым льдом горные хребты и изучается строение ее каменного фундамента. Это очень важно, поскольку огромный шестой материк труднодоступен для наземных исследований, а аэромагниторазведка, первый опыт применения которой в Антарктиде посчастливилось проводить автору этих строк, дает результаты быстро и без больших затрат.

Особым видом магниторазведки является скважинная магниторазведка. Сущность ее заключается в том, что в буровую скважину на кабеле опускают специальные приборы, которые определяют магнитные свойства пересеченных скважиной пород или фиксируют изменения магнитного поля по длине скважины. Первое дает возможность без отбора образцов пород (что требует и времени и больших затрат) судить о том, какие именно горные породы пересечены, измерения же магнитного поля позволяют определять положение рудных тел, расположенных в стороне от скважины.

Шахтно-рудничная магниторазведка помогает правильно ориентировать горные выработки в сторону рудных тел и приближенно определять процентное содержание железа не только в забое рудника, но и в добытой руде, направляемой на металлургические заводы.

Одним из интереснейших применений магнитных методов является особая их модификация — палеомагнитные исследования. Они основаны на том, что горные породы не только намагничиваются под влиянием современного магнитного поля, но и обладают так называемой остаточной намагниченностью, отражающей состояние магнитного поля в тот период, когда эти породы возникли. Подобно тому как палеонтологи по отпечаткам древних живых существ определяют возраст земных слоев, палеомагнитологи тоже могут их датировать по остаточному намагничению, в том числе и в тех случаях, когда палеонтологи бессильны — при отсутствии в геологических отложениях всяких следов органической жизни. Для это-



го отбирают ориентированные по странам света каменные образцы. Затем с помощью специальных приборов устанавливают направление вектора остаточного намагничивания, которое указывает расположение магнитного полюса в период образования того слоя, к которому относится образец. Положение же магнитного полюса, который сейчас движется со скоростью примерно 5 км/год, и распределение инверсий магнитного поля в различные геологические эпохи известны. Это дает возможность судить о разрастании породы, что очень важно и для составления геологических карт, и для поисковых целей. Важное применение палеомагнитные исследования в настоящее время нашли в морской геологии.

При изучении результатов гидромагнитных съемок океанов установлено строго симметричное расположение сходных магнитных аномалий по отношению к срединным океаническим хребтам. Было высказано предположение, что эти симметричные аномалии отражают магнитные инверсии и разрастание дна океанов, а следовательно, и движение континентов. О движении материков еще в начале века писал геолог А. Вегенер, приводя в пользу своей гипотезы множество доказательств; однако это предположение большинством геологов было отвергнуто и почти забыто. Требовались новые аргументы. И вот, когда сопоставление аномалий вокруг океанических хребтов с палеомагнитной шкалой инверсий полюсов позволило датировать образование разных участков океанического дна, такое доказательство было получено. Стало ясно, что самые молодые породы расположены у океанического хребта, что океаны разрастаются, а континенты движутся. Оказалось возможным определить и скорость разрастания. Теперь на этом основывается так называемая глобальная теория плит и в корне меняются представления о геологической истории Земли.

Уже сейчас магниторазведка является весьма эффективным и самым дешевым средством изучения земных недр. Пророческими оказались слова польского поэта Адама Мицкевича (1798—1866 гг.):

Как наша прожила б планета,  
Как люди жили бы на ней  
Без теплоты, магнита, света  
И электрических лучей?

Творческая работа следующих поколений магниторазведчиков принесет еще немало подобных интереснейших открытий.

## КАК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ ПРОСВЕЧИВАЮТ ЗЕМЛЮ

Как ведут себя радиоволны под землей

О жуке Каллипогоне Реликтусе  
и вызванной поляризации  
Антуан Сент-Экзюпери  
и аэроэлектроразведка  
Хорошо проводящий электричество  
слой на большой глубине



“Электроразведка — королева рудных месторождений” — говорят геофизики. Чем же обусловлена такая высокая оценка?

Электрические методы разведки основаны на изучении электрических свойств геологических объектов, очень многие из которых по удельному электрическому сопротивлению отличаются от вмещающих пород. Это обстоятельство, а также наличие недорогой и простой аппаратуры для измерения удельного сопротивления обеспечили первые успехи электроразведки. Напомним, что удельное сопротивление горной породы численно равно сопротивлению  $1 \text{ см}^3$  вещества, которое оно оказывает электрическому току, направленному перпендикулярно к одной из граней кубика породы. В электроразведке обычно пользуются единицей измерения удельного сопротивления, называемой ом-метром ( $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ),  $1 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .

Первая отечественная работа “О применении электричества к исследованию рудных залежей”, в которой была оценена перспектива использования электроразведки, была написана инженером Е.И. Рагозиным в 1903 г. Французский ученый К.Ш. Шлюмберже в 1910 г. разработал метод измерения удельных сопротивлений при прохождении через землю постоянного тока, получивший позднее широкое распространение.

Вскоре после изобретения радио А.С. Поповым возникла мысль о применении радиоволн и для поисков месторождений полезных ископаемых. В 20-х гг. эта идея была реализована в методе радиоволнового просвечивания недр учеником А.С. Попова проф. А.А. Петровским, Б.Н. Достоваловым и др.

Период индустриализации нашей страны был связан с резким ростом объемов геологоразведочных работ. В частности, расширилось применение электроразведки. Объектами исследования этим методом, кроме месторождений меди и цветных металлов, стали месторождения угля, золота, редких металлов, строительных материалов и других полезных ископаемых. В 1928–1929 гг. электроразведка начинает применяться при поисках нефти- и газоносных структур.

В развитие методов электроразведки большой вклад внесли отечественные ученые В.А. Фок, В.Р. Бурсиан, В.Н. Дахнов, А.И. Заборовский, А.И. Тихонов и многие другие.

Методы электроразведки — это направленные на решение геологических задач способы, основанные на изучении и анализе характеристик электромагнитных полей на земной поверхности, в скважинах, атмосфере и море, а также на изучении электрических свойств горных пород и руд. В электроразведке можно выделить две группы методов. Одна из них носит название электроразведки постоянным током и связана с изучением удельного сопротивления среды при протекании постоянного тока. Вторая — основана на изучении распределения в среде переменного тока и связанных с ним электромагнитных полей, получила название электроразведки переменным током или электромагнитных методов геофизической разведки.

Основными техническими средствами для производства электроразведочных работ являются измерительные и генераторные устройства, а также вспомогательное оборудование: электроды, провода, источники питания. В методах электроразведки, использующих постоянный ток, применяют электроды-заземлители. Через два электрода ток от батарей проходит через землю. Эти электроды называются питающими и обозначаются буквами *A* и *B*. С помощью двух других электродов *M* и *N*, называемых измерительными, измеряют напряжение в земле, возникающее при прохождении электрического тока. Зная напряжение в цепи питающих электродов, с помощью закона Ома можно вычислить удельное электрическое сопротивление горных пород. Чем больше расстояние между электродами, тем на большую глубину в землю проходит ток. А раз на поверхности земли будет измерен ток, достигший большой глубины, он принесет информацию об удельном сопротивлении пород на этой глубине. Значит, без бурения скважин и подъема керна можно определить удельное сопротивление горных пород на глубине с помощью простых электроразведочных приборов.

Изучение изменений удельного сопротивления на разных глубинах получило название электрического зондирования. Его отличают от электрического профилирования, при котором электродами *AB* и *MN*, перемещаемыми по профилю на поверхности земли, исследуют удельное сопротивление пород на одной глубине.

Электрическое зондирование позволяет до начала буровых работ получить сведения об имеющихся на участке горных породах с разным удельным сопротивлением. В первых учебниках по электроразведке зондирование так и называли электробурением. Примеры зондирования и профилирования приведены в разделах о поисках воды и археологических работах.

Использование электроразведки постоянным током в ряде случаев наталкивалось на серьезные препятствия. По закону Ома для измерения среднего удельного сопротивления горных пород необходимо пропустить через них электрический ток. Для этого нужно иметь электроды-заземлители, через которые ток стекает в землю. Вот эти электроды-заземлите-

ли и осложняют все дело. В скалах, на каменистых сопках, на болотах и в других труднодоступных и труднопроходимых местах заземляться очень сложно, поэтому методы электроразведки, использующие заземлители, в таких районах практически не применяются. На территории нашей страны очень много таких мест. Это большие площади в Карелии, на Кольском полуострове, в Красноярском крае, Забайкалье, Якутии, на Дальнем Востоке, в Приморье. Для преодоления указанных затруднений учеными нашей страны созданы электроразведочные приборы без электродов, основанные на использовании радиоволн.

Кроме передачи информации, радиоволны можно использовать и для решения геолого-поисковых задач. С помощью радиоприемников можно провести простые геофизические опыты. Для этого нужно помнить, что величина принимаемого радиосигнала зависит от того, над какими горными породами находится приемник. Владельцы транзисторов, сидящие в вагоне, наблюдают, что когда поезд проходит около стальных ферм железнодорожного моста, слышимость изменяется. Около окна вагона звук, доносимый радиоволнами, слышен лучше, чем у его металлической стенки. Если вместо наушников к выходу радиоприемника подключить измерительный прибор — вольтметр, то можно измерить амплитуду радиоволны. Радиоволны отражаются от поверхности руды низкого удельного сопротивления так же, как от металлической стенки вагона. Если металл находится в земле и мы его не видим, то радиоволны изменением своей величины "расскажут" нам о его присутствии, о том, что на исследуемом участке предполагается наличие рудного тела. Если измерить амплитуду радиоволны в разных точках профиля, то в пункте над рудным телом будет увеличение амплитуды — пик, называемый аномалией. Результаты измерений в тех точках профиля, по которым перемещался наблюдатель с прибором и где определялись амплитуды, строятся в виде графика значений амплитуды для разных точек наблюдений. Для наблюдений сделан специальный прибор, состоящий из переносного генератора, который соединен с генераторной рамкой, создающей электромагнитное поле в диапазоне частот от 125 Гц до 2 МГц, и переносного приемника-микровольтметра с приемной рамкой (катушкой с проводом). Один оператор несет портативный генератор, другой — с измерительным устройством идет на расстоянии нескольких десятков метров от первого оператора и производит измерения без каких-либо заземлений. С ними идет наблюдатель, который записывает показания прибора. В однородной среде на графиках не наблюдается никаких пиков — электромагнитное поле не искажается. В неоднородной среде, там, где есть электропроводящие тела, например сульфидные или другие руды, напряженность электромагнитного поля изменяется: над рудными телами на графике появляются аномалии. Так ведут поиски рудных тел методом, получившим название дипольного электромагнитного профилирования в его наземном варианте. Он существенно экономичнее аналогичного метода электроразведки, использующего электроды-заземлители.

Множество профилей исходят отряды геофизиков. Работы проводились на малоизвестных и неизученных участках. Как правило, это были

участки труднопроходимой тайги, где с приборами без заземлений существенно облегчалась съемка. По результатам работ было построено большое число графиков, на которых отдельными пиками-аномалиями отмечаются тектонические нарушения и рудные тела. Тектонические нарушения — это своеобразные трещины в земной коре, где обычно концентрируются рудные месторождения. Геологи для выяснения положения тектонических нарушений проводят дорогостоящие буровые работы — бурят несколько скважин. Однако рудное тело может оказаться между скважинами. Как его обнаружить? С помощью радиоволн можно выполнить радио-локацию недр Земли: в одну скважину спустить портативную радиостанцию — генератор радиосигналов, а в другую — приемник их. Если между скважинами нет рудных тел, то приемник будет принимать радиосигналы, которые зафиксирует измерительное устройство. Если между скважинами имеется рудное тело низкого удельного сопротивления, то радиосигнал отразится от его поверхности и до приемника не дойдет. Между скважинами будет так называемая "радиотень", которая фиксируется приемником. Она свидетельствует о наличии рудного тела в межскважинном пространстве.

Существуют минералы, свойства которых сложны, и искать их поэтому трудно. К их числу относятся оловянные руды. Олово — металл, которым все пользуются, но свойства которого еще далеко не изучены. Вот что пишет об олове акад. А.Е. Ферсман в своей чудесной книге "Занимательная геохимия": "Олово встречается в природе главным образом в виде окиси олова, образующей красивые твердые, как кремль, кристаллы с квадратным сечением — минерала касситерита. Ничтожные примеси железа придают минералу черно-бурый цвет, очень для него типичный. В природе минерал этот первоначально образуется в трещиноватых гранитах, пропитанных парами фтористой кислоты". Люди, так или иначе соприкасающиеся с оловом, не всегда задумываются над тем, как его ищут.

"Каллипогон Реликтус — очень редкий жук и очень древний", — так начинают свою сказку о поисках олова Юрий Лившиц и Сергей Мещеряков ("Ленинские Искры", 1962, № 54). Авторы сказки — геологи и могут обнаружить олово только тогда, когда найдут на земле хотя бы небольшой обломок "оловянного камня" — касситерита. Тогда будут искать источник олова — жилу, от которой отломился этот кусочек. Или нужно, как в сказке, найти жука Каллипогона Реликтуса. Его прапрадеды видели мамонтов и саблезубых тигров. Он живет на земле очень давно — десятки миллионов лет, и иногда его находят около месторождений касситерита, где его хитиновый панцирь пропитывается оловом. Ну, а если такого жука из сказки нет? Что тогда?

Найти касситерит — минерал, содержащий олово, очень трудно и геофизикам. Он плохо проводит постоянный электрический ток, слабомагнитен и почти не отличается по своим известным физическим свойствам от вмещающих его пород.

Совсем недавно, в 1967 г., геофизикам удалось установить, что касситерит обладает своеобразным удельным сопротивлением. Оно изменяется в зависимости от частоты тока, создающего электрическое поле. Если из-



мерять удельное сопротивление касситерита на частотах 0,1 и 10 Гц (низкочастотный диапазон), то удельное сопротивление изменится на 5 %, например от 315 до 300 Ом·м. Изменения удельного сопротивления получили название частотной дисперсии, которая обусловлена сложными физико-химическими свойствами касситерита. Это свойство легло в основу разработки метода поисков руд, содержащих касситерит. При проведении работ этим методом через землю пропускают переменный ток разных частот. Если в земле есть руда с оловом, то показания измерительного прибора изменяются при разных частотах. Метод был успешно опробован в Приморье. Он получил название метода вызванной поляризации на переменном токе и позднее стал применяться на других месторождениях.

Что касается жука, то он, конечно, не может конкурировать с новым прибором. Однако нужно подумать бионикам — может быть у жуков или растений есть свои биологические "приборы" для поисков олова?

С электроразведочными приборами, установленными на борту самолета или вертолета, можно подняться в воздух. Наша страна — 1/6 всей суши Земли. Огромность территории нашей страны — 22 млн. км<sup>2</sup> — особенно ощущаешь, когда летишь на сверхскоростных современных пассажирских самолетах. Проходят долгие часы при таких перелетах, совершаемых со скоростью 800—900 км/ч. А внизу, подернутая синеватой дымкой, видна Земля: ее леса, болота, пустыни, горы, ущелья, таящие в себе сокровища недр. Здесь на помощь приходят геофизические методы, использующие авиацию.

В 30-х гг. на самолетах установили приемные антенны, которые стали улавливать электромагнитные волны для радиосвязи. Затем пришло время для установки аппаратуры, изучающей геологические объекты: аэрофотокамер, аэромагнитометров. Кроме самолетов для установки геофизических приборов стали использовать и вертолеты. Ведь большие просторы нашей Родины при быстром темпе промышленного развития нуждаются в интенсивном освоении. И вот здесь на помощь геологу приходит аэроэлектроразведка, которая позволяет за короткие сроки обследовать большие площади, зачастую в труднодоступных районах.

Принцип одного из методов аэроэлектроразведки — метода длинного кабеля — следующий. На исследуемой площади раскладывается электрический кабель длиной до двух-трех десятков километров. Концы кабеля заземляются металлическими штырями. С помощью передвижной электростанции в замкнутой цепи пропускается ток. Вокруг кабеля возникает сильное электромагнитное поле. В однородной среде электромагнитные волны распространяются равномерно на большую глубину. Но если поблизости находится рудное тело, то весь поток электромагнитных волн концентрируется в нем. Как увидеть распределение невидимых простым глазом электромагнитных волн, да еще идущих с большой глубины? В этом помогает электроника. С комплектом измерительной аппаратуры вертолет поднимается вверх и по направлению, перпендикулярному к проложенному кабелю, облетает площадь по маршрутам, параллельным друг другу: вперед, разворот и назад. Маршруты расположены, например, через 200 м (рис. 3).

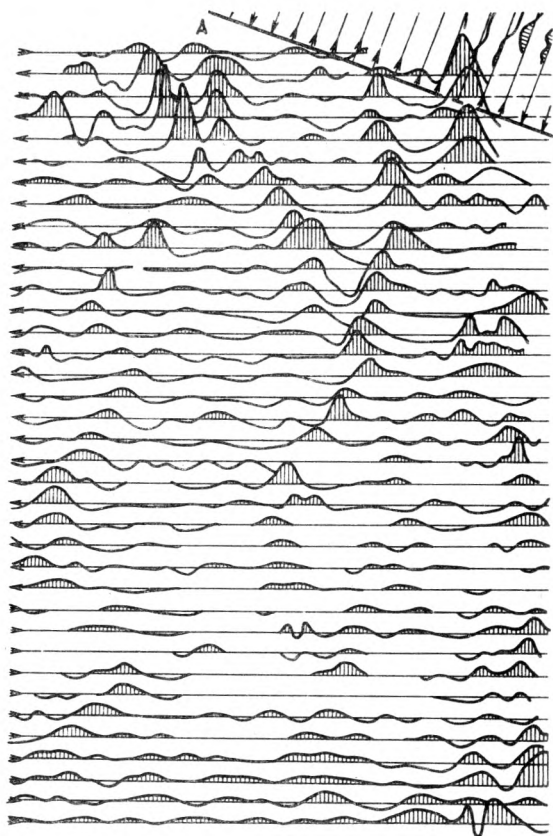
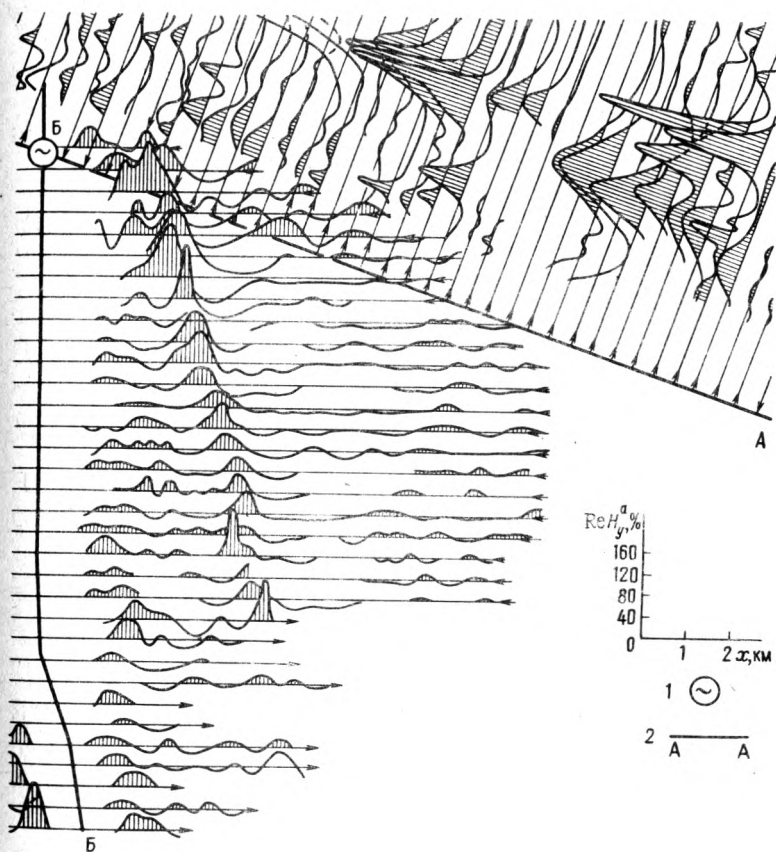


Рис. 3. Графики аэроэлектроразведочной съемки по методу длинного кабеля.  
 1 — генераторная группа;  
 2 — кабель;  $ReH_y^a$  — действительная магнитная составляющая электромагнитного поля

С помощью аппаратуры изучают распределение электромагнитного поля на исследуемом участке. Точнее, изучают магнитную составляющую электромагнитного поля, зависящую от удельного электрического сопротивления горных пород. Приборы регистрируют изменения магнитной составляющей и записывают их на диаграммную ленту. Полученные по всем маршрутам вертолета графики сопоставляют, отмечают аномальные значения электромагнитного поля и переносят их на карту. Пики на графиках (см. рис. 3) обусловлены тектоническими нарушениями, в которых находятся рудные тела. Нужно отметить, что создание аэроэлектроразведки — приборов, теории и методики работ — сложная техническая задача, решенная советскими учеными. В создании аэроэлектроразведки приняли участие специалисты по расчетам электромагнитных полей, радиофизики, геофизики и геологи. В 1957 г. был проведен первый в нашей стране аэроэлектроразведочный полет.

Получаемые таким способом данные подсказывают геологам, где лучше всего бурить скважины для того, чтобы встретить рудное тело.



Аэроэлектроразведка при изучении труднодоступных, например таежных, территорий намного эффективнее наземных методов. Отряду геофизиков, передвигающемуся пешком, для обследования площади в  $100 \text{ км}^2$  в трудных условиях тайги понадобится несколько месяцев. Аэроэлектроразведчиками площадь в  $1000 \text{ км}^2$  может быть обследована за 2–3 недели. Нетрудно представить, какую площадь можно заснять с вертолета за сезон летних работ.

Метод длинного кабеля — наиболее детальный метод: при небольшой скорости (примерно  $100 \text{ км/ч}$ ) и высоте до  $100 \text{ м}$  полета вертолета полученные результаты почти не отличаются по достоверности от результатов наземного электрического профилирования на постоянном токе. Все пласты горных пород, отличающиеся один от другого удельным сопротивлением, фиксируются в виде графиков. Геологи получают в свое распоряжение материал для построения геологической карты по всей исследуемой площади, включая участки с болотами или скалами, куда трудно добраться человеку, но где без затруднений пролетает вертолет. Вместе с

тем прокладка кабеля в тайге иногда бывает сложной задачей, что затрудняет применение метода.

В методе дипольного электромагнитного профилирования не нужны заземления и его удобно использовать в аэроэлектроразведке. Для проведения работ на одном самолете устанавливают источник и приемник электромагнитных волн — генераторную и приемную рамки. Самолет летит по профилям, а измерительная аппаратура регистрирует распределение поля. Применение дипольной аэростановки еще больше повышает скорость исследования заболоченных, мерзлотных или залесенных территорий.

"Самолет научил нас двигаться по прямой. Едва оторвавшись от земли, мы покидаем дороги, что поворачивают к водоемам и хлевам или выются от города к городу. Отныне мы свободны от милого рабства, не зависим больше от родников и берем курс на дальние цели", — писал А. Сент-Экзюпери в книге "Планета людей". Аэроэлектроразведочная съемка — один из примеров таких дальних целей.

Человек создал не только самолеты, но и спутники, на которых установлена самая разнообразная аппаратура. Сегодня специалисты обсуждают возможности спутниковой электроразведки. Завтра электроразведочные датчики-антенны будут установлены на космических кораблях и с их помощью будут изучать удельное сопротивление Земли из космоса, чтобы построить карты электрических свойств не отдельных участков, а всей планеты.

Большие глубины также доступны электроразведке. Кольский полуостров по праву можно назвать гигантским опытным участком, полигоном, на котором проверяются гипотезы о глубинном строении Земли. Одной из загадок земных недр, привлекающей внимание ученых, является способность горных пород на глубинах в десятки километров хорошо проводить электрический ток.

В 1968 г. под руководством проф. А.С. Семенова на Кольском полуострове были начаты работы по изучению геологических образований, обладающих электронной проводимостью. Здесь высокоуглеродистые и содержащие сульфиды породы связаны с графитизированными гнейсами и сланцами. Удалось участок за участком проследить контуры необычного слоя и обнаружить тонкие кружева токопроводящих каналов, пронизывающих горные породы. Оказывается, что эти кружева определяют характер распределения электромагнитного поля в кристаллическом фундаменте земной коры. Установленная особенность электропроводности земной коры наиболее ярко проявилась на результатах глубинного зондирования с применением мощного источника, основанного на использовании магнитогидродинамического эффекта. Современный магнитогидродинамический генератор создан коллективом ученых, которым руководит вице-президент АН СССР Е.П. Велихов. Слои пород низкого удельного сопротивления на глубине 60–70 км были обнаружены в результате глубинного зондирования. Данные зондирования могут быть использованы для получения сведений о геологии и тектонике пород, скрытых от непосредственного наблюдения, об истории их образования. Вопросов в этой

работе еще немало и предстоит многое сделать, чтобы получить на них ответы, которые, в свою очередь, породят новые проблемы.

Загадочный мир электромагнитного поля Земли, его источники в ионосфере и в Земле, электрические свойства Земли ждут продолжения исследований.

В электроразведке имеется возможность подбора изучаемых характеристик электромагнитного поля таким образом, чтобы выявлять самые разнообразные геологические объекты, которые проявляются разными физическими свойствами. Этим и объясняется ее "королевская" роль — большие и малые глубины, пласты горных пород, различающиеся не только по удельному сопротивлению, но и по диэлектрической проницаемости (например, кварцевые жилы), а также электрохимическим свойствам, подвластны электроразведке.

Здесь приведены отдельные примеры применения электроразведки. Но мы еще вернемся к ней в рассказах об археологических объектах, поисках воды и изучении физических свойств горных пород. Находящийся на стыке электро- и сейсморазведки метод, использующий пьезоэлектрические свойства, рассмотрен в разделе "Месторождения могут звучать".





## НАША ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ ВСЕ ВРЕМЯ ПРОСЛУШИВАЕТСЯ ГЕОФИЗИКАМИ

Землетрясение — фонарь,  
освещающий недра  
Невероятно, но удельное электрическое  
сопротивление недр меняется!  
Гроза — источник энергии  
электрического или магнитного типа?  
Каждый может участвовать  
в наблюдениях за неживой природой

Один из героев романа А.Н. Толстого "Гиперболоид инженера Гарина" — горный инженер Манцев писал: "В настоящее время ... земной шар представляет следующую картину. Верхний его покров состоит из застывших гранитов и диоритов толщиной от пяти до двадцати пяти километров. Эта корка снаружи покрыта морскими отложениями и слоями погибшей растительности (уголь) и погибших животных (нефть). Кора лежит на второй оболочке земного шара — из расплавленных металлов, — на Оливиновом поясе ..." Это описание учитывало научные данные своего времени. Сегодня мы знаем про нашу планету больше, чем вчера, но вопросов остается еще очень много.

Наша планета Земля, которая так красиво выглядит из космоса, действительно, расслаивается как луковица на оболочки: атмосферу, гидросферу, литосферу, или земную кору, промежуточную сферу, или мантию, и, наконец, ядро Земли. Атмосферу (от поверхности Земли до высоты 100 км) люди изучают, запуская воздушные шары и ракеты; гидросферу — бороздя океан на кораблях, спускаясь в батискафах на дно морей; литосферу — в значительной степени с помощью бурения. При радиусе Земли 6356 км пока мы достигли глубины 12 км самой глубокой в мире Кольской скважиной. Хотя это и большой успех нашей техники, давшей важные сведения, но многое еще предстоит сделать, чтобы раскрыть тайны строения оболочек Земли. И все же представление о свойствах более глубоко расположенных оболочек Земли можно получить практически только по геофизическим данным. Изучение строения Земли ведется с помощью специальных геофизических станций. Они расположены за Полярным кругом на крошечных островах, на равнинах, в горах, в пустынях, в районах, где бывают землетрясения или сверкают полярные сияния, — одним словом, везде. На станциях стоят очень чувствительные современные приборы. Они защищены от колебаний температуры, воздействий света, посторонних сотрясаний почвы — закрыты различного рода экранами и колпаками, размещены в специальных помещениях на особых подставках. Здесь соблюдаются специфические необходимые требования для проведения точных наблюдений.

С приборами работают геофизики. Часто они годами живут в сложных климатических условиях, в небольших коллективах, в маленьких поселках, собирая по крупицам сведения о физических процессах, происходящих на планете. Люди узнают строение Земли ценой больших усилий.

С землетрясениями человек столкнулся еще в древние времена. Поверхность Земли кажется нам неподвижной. Но на самом деле она все время совершает колебания. Одни колебания слабые, для человека практически незаметные, их можно обнаружить лишь с помощью чувствительных приборов, другие — настолько сильные, что человек чувствует подземные толчки, а иногда слышит гул.

В природе страждущей  
Бывают часто броженья странные; нередко землю  
Беременную спазмами, терзают  
В ее утробе замкнутые ветры,  
Которые, стремясь к освобождению,  
Прабабку нашу землю так трясут,  
Что рушатся замшелые твердыни  
И колокольни<sup>1</sup>,

— так писал У. Шекспир в драме "Генрих IV".

Эти колебания распространяются во все стороны от подземного источника — очага колебаний подобно волнам в воде. Только вместо частиц воды здесь перемещаются частицы горных пород. Толчки бывают настолько сильными, что не только ощущаются человеком, но и являются причиной разрушений на поверхности Земли. Колебания земной поверхности под влиянием природных сил носят название землетрясений. При сильном землетрясении упругие колебания почвы охватывают большое пространство. При этом около очага землетрясений появляются трещины в земле, разрушаются постройки.

Животные устроены так, что чувствуют изменения поля упругих колебаний и связанных с ним процессов за длительное время до начала землетрясения. Это позволяет им уйти из опасной зоны. А человеку уже в глубокой древности пришлось изобретать специальные приборы, фиксирующие землетрясения, которые помогают выявлять колебания почвы и отмечать землетрясения на некотором удалении от места, где оно происходит.

Наши далекие предки придумывали самые разнообразные и, конечно, не соответствующие действительности объяснения причин землетрясений. Японское предание гласит, что Землю держат киты и когда киты двигаются, земля содрагается. Буддийские ламы считали, что Землю держит золотая лягушка и когда она шевелится, Земля трясется. У древних греков богом землетрясений был бог моря Посейдон. Считалось, что он вызывает морские волны, которые сотрясают Землю. Ранние представления, по-видимому, как-то использовались в конструкциях старинных приборов. Но еще Лукреций говорил: "Природа все делает самопроизвольно, без вмешательства богов".

Старинные летописи позволили узнать, что самый древний известный нам сейсмоскоп Чжан Хена был создан во втором столетии нашей эры. Он выглядел следующим образом. Основным элементом, чувствующим

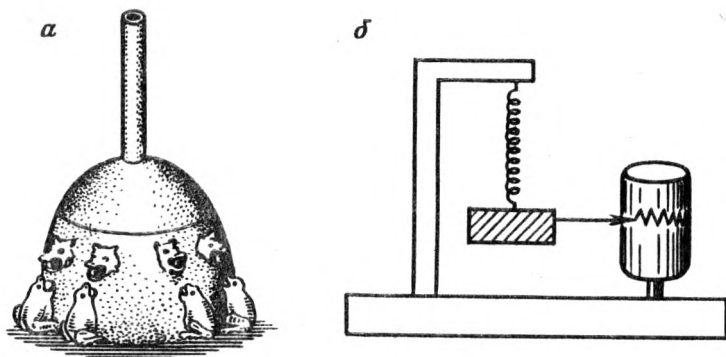


Рис. 4. Сейсмографы разных времен.

*а* — сейсмоскоп, построенный в начале нашей эры Чжан Хеном, *б* — вертикальный сейсмограф с инертной массой

колебания почвы, был массивный металлический цилиндр, который опирался на восемь рычагов. При колебании почвы цилиндр опрокидывался, нажимая при этом на рычаг. Рычаги и цилиндр размещались внутри металлического сосуда, в стенки которого вделано восемь чашек, расположенных на равном расстоянии друг от друга, в каждой из которых лежало по металлическому шарiku. В шарик упирался один из восьми рычагов. Если цилиндр нажимал на рычаг, последний выталкивал из чашки шарик, который падал в подставленную около наружной стенки сосуда тарелочку. Чашки, в которых лежали шарики, были выполнены в виде голов зверей, а тарелочки — в виде лягушек. Направление, по которому падали шарики, совпадало с направлением, в котором происходило землетрясение (рис. 4, *а*). Близок по идее к сейсмоскопу Чжан Хена сейсмоскоп итальянского ученого Николо Кассиатори (1848 г.). Эти приборы позволяли определить качественные характеристики землетрясений: направление на землетрясение и момент колебаний почвы под прибором.

Впоследствии был предложен целый ряд конструкций приборов такого рода. Так были изобретены сейсмографы — приборы, которые в отличие от сейсмоскопов позволяли не только чувствовать толчки, но и записывать различные величины, характеризующие процесс колебаний почвы на диаграммной ленте. В конструкциях сейсмографов широко используется инерционная масса. Сейсмограф, регистрирующий вертикальные толчки почвы (рис. 4, *б*), устроен следующим образом. На землю устанавливается массивный корпус сейсмографа со стойкой для подвешивания инертной массы. При толчках почвы корпус прибора быстро перемещается вверх или вниз, инертная масса не успевает следовать за колебаниями корпуса и, сохраняя свое положение, сместится вниз или вверх относительно корпуса, в результате чего пружина, на которой она подвешена, вытянется или сожмется. Если к грузу приделать перо, оно будет чертить кривую, характеризующую процесс сейсмических колебаний почвы.

Запись этой кривой можно получить, протягивая под пером диаграммную ленту с постоянной и известной скоростью. Тогда при толчках груза вверх и вниз будет записана сейсмограмма. На сейсмограмме будет видна максимальная амплитуда колебаний и время, в течение которого происходит колебание. Такой сейсмограф реагирует только на вертикальные толчки почвы. Существуют также сейсмографы, регистрирующие горизонтальные толчки.

Анализ ряда явлений, происходящих при землетрясениях, сделал гениальный русский ученый М.В. Ломоносов. Так, в своей книге "Слово о рождении металлов от трясения Земли" (1757 г.) он описывает землетрясения, отмечая, что не только разрушенные города свидетельствуют о происшедших землетрясениях, но и "... все лицо земное исполнено явственными сего доказательствами. Где токмо не увидишь с расселинами горы; тут оставшиеся следы земного трясения быть не сомневаться..."

Основы современной сейсмологии были заложены в начале XX в. акад. Б.Б. Голицыным. Он писал, что "можно уподобить всякое землетрясение фонарю, который зажигается на короткое время и освещает внутренность земли, позволяя тем самым рассмотреть то, что там происходит". Им же были разработаны принципиально новые конструкции сейсмографов. Современные сейсмографы могут отмечать колебания почвы амплитудой до 0,0001 мм, что составляет примерно 1/500 диаметра человеческого волоса.

В 1897 г. в индийском штате Асаам во время крупного землетрясения почва колебалась с частотой до 200 раз в 1 мин, по поверхности земли бежали волны, амплитуда которых достигала 0,3 м, а расстояние между их гребнями — 9 м. Во время землетрясения в Японии в 1894 г. было установлено, что амплитуды колебаний частичек грунта достигали 10 см в вертикальном направлении и 35 см в горизонтальном.

Причина землетрясений — смещения крупных блоков земной коры. Внутри Земли происходит перераспределение вещества, которое вызывает резкие нарушения равновесия слоев, что ведет к перемещению блоков горных пород. Перемещения блоков вызывают точки, которые достигают земной поверхности и обуславливают ее движение. Наука, изучающая землетрясения, носит название сейсмологии (сейсмо — по-гречески движение).

Известно, что источники большинства землетрясений находятся на глубинах от 1 до 30 км. Однако есть такие, которые находятся на больших глубинах, достигающих сотен километров. Глубинные источники землетрясений до сего времени остаются загадкой для науки. Это связано со свойствами оболочек Земли. Считается, что под литосферой находится оболочка, отличительным свойством которой является вязкое состояние, вызванное плавлением части породообразующих минералов. Поэтому, казалось бы, здесь нет условий для образования источника упругих колебаний — очага землетрясений. Однако именно под литосферой на глубине 100 км и более образуются источники ряда землетрясений. Развиваются теории, которые объясняют это противоречие, но вопрос о том, как в вязкой среде образуются упругие колебания, остается пока открытым.

В СССР землетрясения чаще всего бывают в южных республиках. Так, Ашхабадское землетрясение произошло в ночь с 5 на 6 октября 1948 г. Наиболее сильные толчки наблюдались в 25 км к юго-востоку от Ашхабада. На поверхности земли появился ряд трещин. Вдоль этих трещин произошло перемещение блоков горных пород. В результате землетрясения город, за исключением нескольких сейсмостойких зданий, был разрушен. Перед землетрясением в Ташкенте (1976 г.) наблюдалось своеобразное электрическое явление — свечение наподобие полярного сияния, беспокойно вели себя животные, без видимых причин лаяли собаки.

Землетрясения нельзя считать очень редким явлением. Геологами А.П. Орловым и И.В. Мушкетовым собраны сведения о 2574 землетрясениях за период с 596 г. до н. э. по 1888 г. н. э. В среднем на один год приходится по одному землетрясению. Эти подсчеты неточны, так как мы на располагаем достаточными сведениями о землетрясениях в отдаленные времена. Более тщательное изучение землетрясений за обозримый исторический период только для Кавказа выявило около 3000 землетрясений. Поэтому очень важно уметь прогнозировать хотя бы крупные землетрясения. И в этом случае большую помощь оказывают геофизические станции. В Средней Азии созданы полигоны для поисков предвестников землетрясений. Наиболее крупные полигоны расположены в районе городов Алма-Ата и Душанбе. Алма-атинский геофизический полигон находится в предгорной зоне в пределах сейсмоактивного района и имеет протяженность около 200 км при ширине 100 км. Такая площадь полигона соизмерима с областью сильного землетрясения. На территории полигона работает несколько сейсмических станций. Здесь проводится комплекс работ: сейсмологические наблюдения, скважинные исследования, аэромагнитная съемка, электроразведка, грави- и магнитометрические наблюдения, изучение физических свойств горных пород, наблюдения за химическим составом вод и содержанием в них радона, фтора и гелия. Изучение разнообразных физико-химических характеристик позволяет прогнозировать землетрясения. Аномалии, наблюдаемые на графиках электрических, магнитных или других характеристик, скачок в концентрации радона, изменение напряженности магнитного поля Земли и т. д. могут дать информацию об изменении структуры блоков Земли, об их перемещениях, о связанных с этими глубинными процессами изменениями свойств горных пород, вод и газов, что используется при прогнозе землетрясений.

В давние времена люди, потрясенные увиденными землетрясениями, считали, что катастрофы происходят от движений драконов, китов или великанов, поддерживающих Землю. Сегодня люди обращают внимание на то, что иногда таким "великаном" становится человек. Например, при строительстве плотин или городов человек переворачивает такие массы горных пород, что влияние его деятельности становится в ряде случаев соизмеримым с результатами геологических явлений. Так, при разработке месторождений калийных солей или подземных вод появляются большие подземные полости и возникает опасность просадки поверхности —



появления на ней трещин. В этих случаях также необходимы длительные периодические наблюдения во избежание нежелательных явлений, вызванных масштабным вторжением человека в неживую природу.

В горах Памира расположен г. Гарм, где создан полигон по прогнозированию землетрясений. Из года в год на этом полигоне производили электрическое зондирование — изучение удельного электрического сопротивления глубинных толщ Земли. Из проведенных наблюдений вырисовывается закономерность — удельное электрическое сопротивление горных пород изменяется перед землетрясением. Эту закономерность установил геофизик С.М. Барсуков. Она зарегистрирована в качестве открытия в 1975 г. На основании этой закономерности можно предсказать начало землетрясения.

Нужно отметить, что сегодня с помощью геофизических наблюдений на полигонах прогнозируют начало извержений вулканов. Процесс подготовки извержения проявляет себя изменениями характеристик наблюдаемых физических полей. С помощью геофизики был сделан прогноз о начале извержения Толбанинского вулкана на Камчатке.

Геофизические наблюдения могут иметь и военное значение. При атомном подводном взрыве на коралловом атолле Бикини, произведенном в 1947 г., звук, распространяющийся под водой, был четко зарегистрирован акустическими подводными приборами на Бермудских островах в Атлантическом океане, находящихся на расстоянии 20 тыс. км. Это расстояние звук прошел за 4 ч.

Атомный взрыв в атмосфере обнаруживается сравнительно легко, подземный атомный взрыв установить сложнее. Значительная часть энергии подземного атомного взрыва расходуется на создание упругих волн в земле. Записи упругих волн от землетрясений и от подземного атомного взрыва похожи. Для выявления взрыва требуются специальные технические приемы.

В нашей стране в 30-х гг. проведены опыты по регистрации мощных взрывов, произведенных для изучения строения земной коры. Эти работы возглавил акад. М.А. Садовский — один из основоположников физики взрывов. Он определил степень опасности и последствия для различных сооружений, которым угрожают возникшие при взрывах колебания, изучил их энергетические характеристики, скорости, особенности распространения.

Сейсмологи собирают сведения очевидцев землетрясений. Ведь число сейсмических станций ограничено и Ваши наблюдения могут дополнить данные, полученные специалистами.

Во время землетрясения в Румынии в 1979 г. упругие волны распространялись до ряда городов СССР, в том числе и до весьма удаленных от района землетрясений городов Ленинград и Москва. Многие наблюдали дребезжание посуды, даже наклон стен и светильников. Такие наблюдения интересны для описания землетрясения. Рекомендуется записывать, когда произошло землетрясение (год, месяц, число, час, минуты); где его наблюдали (республика, область, город, поселок). При выяснении характера его проявления (гул под землей, толчки или колебания почвы)

нужно записать, не было ли трещин в земле или обвалов, а также трещин в стенах здания или их разрушения. Внутри помещения нужно отметить дребезжание стеклянной посуды, покачивание лампочек, падение мебели и т. д.

Расскажем еще об одном открытии — о сложном источнике электромагнитного поля. Геофизики изучают и грозовые явления. Молнии все время привлекают их внимание. Электромагнитные поля молний являются основой ряда методов электроразведки. Для них не нужно батарей — источников тока, текущего в Земле. Профессор А.С. Семенов часто наблюдал молнии в грозу, когда лил проливной дождь. Длинные шнуры электрических разрядов рисовали на небе затейливые узоры. Описывая эти наблюдения, А.С. Семенов отмечает, что он видел различные по интенсивности и знаку грозовые разряды. "Каждый вид молнии сопровождается характерным для него импульсом тока. Например, наиболее резкие импульсы тока наблюдаются при вертикальных молниях (разряд на землю), значительно меньшие — при горизонтальных (разряд в пределах облаков)". (Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., Недра, 1980.)

Дальнейшие наблюдения и анализ многочисленных данных показали, что эти два источника действуют одновременно, а не по очереди. Этот фактор оказался достаточно важным. Примерно так был установлен новый тип источника, состоящий из одновременно действующих электрического и магнитного диполей. Оказывается, что он встречается в неживой и, по-видимому, в живой природе. Однако в каждом конкретном случае его надо суметь обнаружить. Один из авторов и его коллеги обнаружили сложный источник электромагнитной энергии в грозовых разрядах. Но это далеко не все. Можно отметить, что сейчас начинают изучать электрические разряды, происходящие в недрах Земли, — и там можно встретить сложный источник электромагнитного поля.

Еще одна загадка для геофизики — шаровая молния. Ее природа исследуется с помощью различных наблюдений, в числе которых большое место занимают и случайные встречи с ней людей самых разных специальностей. Люди, которые видели шаровую молнию, должны описать то, что они заметили. Литература о шаровых молниях полна сведений о разнообразных ее проявлениях. Так, в августе 1976 г. в Ленинграде на Васильевском острове во время грозы из облака на мостовую упал красный шар, имеющий диаметр около 50 см. Он покатился, подпрыгивая, по дороге. Но его жизнь продолжалась всего 5–6 с — с легким хлопком шар исчез.

Далеко не каждому ученому, изучающему эту загадку природы, удастся видеть шаровую молнию. Поэтому исследователей интересуют наблюдения за шаровыми молниями, описанные не только специалистами, но каждым, кому удастся увидеть это интересное явление природы. Если Вы увидите шаровую молнию, не приближайтесь к ней, не старайтесь ее потрогать — только смотрите и запоминайте. А потом все, что Вы увидите или ощутите, запишите, пожалуйста. Эти сведения нужно передавать в организации Академии Наук СССР или союзных республик или в ближайший геофизический институт.

Таблица 1. Характеристика шаровых молний по 45 наблюдениям  
(по М.Т. Дмитриеву, 1971 г.)

Характеристика	Число наблюдавшихся случаев	Доля от общего числа наблюдений, %
Наблюдалась в теплое время года	37	80
Проявляла свойства автономности	33	75
Наблюдалась при грозе	31	70
Наблюдалась при дожде (вместе с грозами)	36	80
Возникла при ударе линейной молнии	8	20
Наблюдалась в городских условиях	17	40
Быстро опускалась на землю	7	15
Резко взмывала вверх	4	10
Двигалась горизонтально	38	85
Свободно плавала в воздухе	29	65
Вращалась	4	10
Отскакивала от поверхностей	12	30
Прочно оседала	5	10
Притягивалась к проводникам	16	35
Время жизни 1–2 мин	32	70
Размеры 10–30 см	34	75
Скорость движения меньше 2 м/с	30	70
Излучение молнии пульсировало	9	20
Молния исчезла незаметно	13	30
Молния взорвалась	24	55
Была источником звука	28	60
Влияла на радиосвязь	6	15
Произвела разрушения	23	50
Поражала людей или животных	13	30

Ученые обрабатывают имеющуюся информацию, стараясь получить обобщенные сведения о шаровой молнии. Таблица 1 построена по данным многих разрозненных единичных наблюдений. Так были определены средние характеристики шаровой молнии, позволяющие получить представление об этом явлении природы.

Немагнитное судно "Заря", не содержащее намагничивающихся деталей, предназначено для проведения высокоточных магнитных наблюдений на территории морей и океанов. По результатам наблюдений строят магнитные карты, которые используются в различных областях народного хозяйства. Они же помогают прогнозировать экологическое равновесие.

Сверхглубокие скважины, сеть геофизических станций, самолеты и корабли с геофизическими приборами, спутники и космические лаборатории — это сложнейшая техническая система позволит нам понять строение Земли и в будущем углублять и расширять наши представления об ее устройстве. Физические исследования ведутся и при изучении других планет. Галилео Галилей в 1610 г. писал, что он считает Землю в высшей степени совершенной именно ввиду происходящих на ней перемен, то же самое относится и к Луне, Юпитеру и другим небесным светилам.

Советский ученый Н.А. Козырев, наблюдая спектры газов Луны, отметил изменения в них, аналогичные изменениям спектров земных землетрясений. На этом основании он высказал гипотезу о том, что Луна не является "мертвой" планетой и что на ней идут сейсмические процессы. У американской экспедиции "Аполлон" (1969 г.) в числе важнейших задач исследований была установка сейсмографов на Луне. Эти сейсмографы позволили изучить сейсмичность Луны и ее строение, подтвердить высказанную советским ученым гипотезу о сейсмичности Луны. В числе первых астронавтов, посещающих другие планеты, всегда будут специалисты, изучающие недра.

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОГУТ ЗВУЧАТЬ



Взрыв и удар — источники сейсмических колебаний

Неоднородность Земли

по упругим свойствам

Волны на воде и в земле

Сюрпризы упругой модели среды

Сейсморазведка ищет самые различные  
полезные ископаемые — нефть, кварц,  
руду, соль

Что такое вибросейс?

Пьезоэлектрический эффект

наблюдается в природе

Казалось бы, что все стало ясно, но...

У Бернарда Шоу есть такой афоризм: "Наука всегда оказывается неправа. Она никогда не решает вопроса, не поставив при этом десятка новых". Это высказывание как нельзя лучше характеризует процесс, происходящий в сейсморазведке.

Развитие сейсмологии обусловило создание и развитие ее прикладного ответвления — сейсморазведки. После достижения успехов в изучении естественных сотрясений почвы были предприняты попытки с помощью сейсморазведки изучить природу колебаний почвы под воздействием искусственных взрывов, этих маленьких "фонариков", освещающих недра.

В начале XX в. были созданы портативные приборы — сейсмографы, которые дали возможность проводить полевые исследования колебаний горных пород от искусственных землетрясений, вызванных взрывами (подробнее о конструкции сейсмографов рассказано в разделе "Наша планета Земля все время прослушивается геофизиками"). Геологами были сделаны первые шаги в изучении горных пород с целью поисков месторождений полезных ископаемых по характеру колебаний поверхности земли, вызванных искусственно возбужденными упругими волнами.

В 1917 г. в США американский геофизик Л. Минтроп предложил переносную сейсморазведочную аппаратуру для изучения колебаний почвы, возникающих при взрывах. С помощью этой аппаратуры был открыт ряд нефтяных месторождений. В 20-х гг. сейсморазведочная аппаратура начала широко применяться при поисках нефтяных месторождений, но работы Л. Минтропа держались фирмой в секрете.

Независимо от исследований Л. Минтропа в это же время в СССР проводились опыты в области сейсмической разведки. В 1922 г. инженером В.С. Воюцким был предложен новый способ разведки, получивший название метода отраженных волн. Академик П.П. Лазарев и профессор А.И. Заборовский заложили основы теории сейсморазведки. С тех пор в СССР



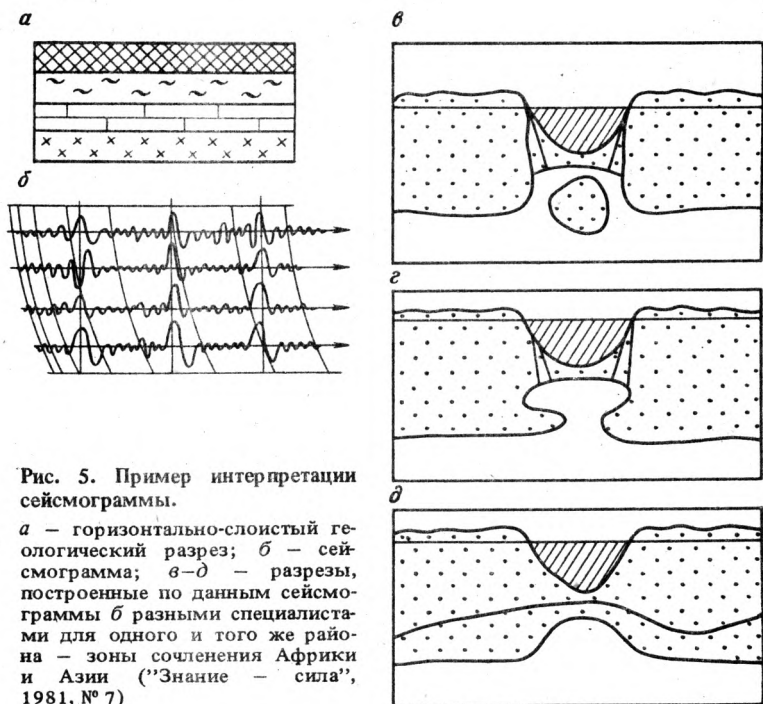


Рис. 5. Пример интерпретации сейсмограммы.

*а* — горизонтально-слоистый геологический разрез; *б* — сейсмограмма; *в-д* — разрезы, построенные по данным сейсмограммы *б* разными специалистами для одного и того же района — зоны сочленения Африки и Азии ("Знание — сила", 1981, № 7).

широко применяются сейсморазведочные работы — вначале при поисках нефтяных, а сейчас и рудных месторождений. В настоящее время сейсморазведка используется и для различных инженерных изысканий. Большой вклад в развитие отечественной сейсморазведки внесли акад. Г.А. Гамбурцев и его ученики.

Уравнения математической физики описывают связь между упругими свойствами среды и наблюдаемыми характеристиками волн, например амплитудами колебаний частичек среды. При решении теоретических задач сейсморазведки строится сейсмическая модель геологической среды. В сейсморазведке считается, что Земля состоит из слоев, имеющих плоские и параллельные друг другу границы (рис. 5, *а*). Такой слой обладает своими упругими свойствами и от каждой его границы происходит отражение волн, которые, дойдя до поверхности земли, возбуждают сейсмодатчик и регистрируются на фотошленке, фотобумаге или магнитной ленте-сейсмограмме (рис. 5, *б*). Пользуясь записями на сейсмограммах, инженеры-геофизики проводят интерпретацию, выделяя из кажущегося хаоса волны, связанные с конкретными геологическими слоями.

Горизонтально-слоистая модель Земли успешно используется при поисках нефтяных месторождений. Геологические структуры, связанные с наличием нефти и газа, часто имеют плоскопараллельные или приближающиеся к ним границы. Примеры таких вариантов разрезов показаны на

рис. 5. Один из них (см. рис. 5, д) близок к случаю плоских геологических границ. А другие (см. рис. 5, в и з) имеют границы, существенно отличающиеся от плоских. Особенно сильно геологические разрезы отличаются от горизонтально-слоистых в районах рудных месторождений меди, никеля, серебра, золота, вольфрама, молибдена и других металлов. Иными словами, в природе существуют и геологические структуры, отличающиеся от горизонтально залегающих плоских слоев. В этом случае теория пока не может полностью учесть все действующие факторы, связанные с искривлением границ раздела. В сейсморазведку не пришел еще ученый, который просуммировал бы накопленные практикой факты в форме математических уравнений, дающих гениальный прогноз и позволяющих описать все особенности упругих свойств геологических разрезов.

Распространение колебаний почвы несколько напоминает распространение волны на поверхности воды, когда в воду брошен камень. Если колебания частиц горных пород происходят перпендикулярно к линии, вдоль которой распространяется волна, она называется поперечной. Если колебания частиц и распространение волны происходят в одном горизонтальном направлении, то волна называется продольной. Частицы воды, участвующие в образовании поверхностной волны, перемещаются не только вверх и вниз по прямолинейному пути, а совершают более сложные круговые или эллиптические движения. Смещение частиц горных пород при взрыве происходит преимущественно в направлении радиусов, исходящих из центра — точки взрыва. В этих радиальных направлениях распространяется упругая волна и в этих же направлениях происходит смещение частиц горных пород. Следовательно, взрыв приводит к распространению в среде продольной волны. Применяя оптические построения, можно охарактеризовать распространение волны лучом. Сейсмический луч характеризует направление распространения упругой волны. Он подчиняется законам геометрической сейсмики. При соприкосновении сейсмической волны с границей двух сред, имеющих разные упругие свойства, она частично проникает из одной среды в другую, а частично отражается.

В сейсморазведке изучают отраженные и преломленные продольные волны, которые образуются при действии волны от излучателя на встреченные по пути распространения препятствия. Это явление очень сходно с процессом образования эха, которое объясняется отражением звуковой волны от препятствия и возвращением отраженной волны к источнику звука. Упругие колебания, частота которых располагается в диапазоне от 16 до 20000 Гц, называются звуковыми, поскольку вызывают специфическое ощущение звука. Измеряя время прохождения звуковой волны от источника до препятствия и обратно и зная скорость распространения волны в воздухе, можно определить расстояние до отражающей поверхности. Вот простой пример. Скорость звуковой волны в воздухе 330 м/с. Если мы слышим эхо через 1 с, то путь волны равен 330 м, а расстояние до отражающего препятствия — 165 м. Этот принцип лежит в основе эхолотов летучих мышей и дельфинов, и он же служит человеку.

Распространяясь в воде, упругие волны также отражаются от невидимых препятствий — дна и геологических слоев с различными упругими



Рис. 6. Вид эхограммы

свойствами. Геологические объекты, до которых дошла упругая волна, как бы сами начинают "звучать", проявляя себя отраженными волнами. Это свойство реализуется в конструкции эхолота, который использует ультразвуковые колебания (с частотой выше 20000 Гц). Эхолот устанавливают на корабле. Он состоит из измерительного устройства с самописцем, источника и приемника ультразвуковых колебаний. Источник располагают в воде и включают периодически на небольшое время.

Посмотрим, как человек через непрозрачные и мощные толщи воды "видит" то, что находится на дне. Сигналы, прощупывающие (зондирующие, как говорят геофизики) дно, посылаются так часто, что судно проплывает всего десятки метров между двумя звуковыми сигналами. Излучаемый источником сигнал отражается от дна и приходит к приемнику в течение всего времени, пока судно плывет вдоль линии наблюдения. Поступление каждого сигнала отмечается в виде штриха на ленте самописца. Штрихи, в свою очередь, образуют эхогрammu — рисунок, на котором показан рельеф дна (рис. 6). Происходит локация дна, по принципу похожая на локацию объектов, производимую в воде дельфином, а на суше — летучей мышью — на работу "живого" геофизического прибора. Эти животные обладают своеобразным "звуковым видением" предметов, основанным на тех же принципах отражения и рассеяния звуковых волн.

Мы уже говорили о скорости распространения упругих волн. В горных породах она различна: для нефти 6—7; для каменной соли 4,5—5,5; для глины 1,8—2,4; для известняка 3,2—5,5 км/с и т. д. Упругие волны, распространяясь в толще горных пород, отражаются от границ с различными упругими свойствами и достигают поверхности земли. Зная время образования волны в источнике и время прихода ее в различные пункты поверхности земли, можно вычислить скорость распространения волны и расстояние до отражающей границы. С помощью сейсмостанции (рис. 7) можно измерить скорости распространения упругих колебаний через горные породы, находящиеся в естественном залегании. Значения скоростей распространения волн связывают с теми или иными горными породами.

Из бионики известно, что рыбы ощущают упругие колебания своими чувствительными органами, например боковой линией и пузырем. Эле-

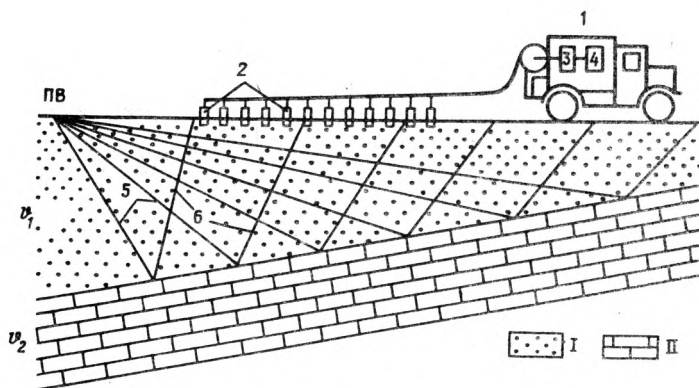


Рис. 7. Схема проведения сейсмической разведки.

ПВ — пункт взрыва; 1 — сейсмостанция; 2 — сейсмоприемники; 3 — усилители; 4 — осциллограф; 5 — лучи прямой волны; 6 — лучи отраженной волны, I — пески; II — известняки (по В.К. Хмелевскому)

ментом, преобразующим упругие колебания в электрические, в сейсмостанциях является сейсмоприемник (рис. 8), обладающий очень высокой чувствительностью к колебаниям почвы. Сейсмоприемники реагируют на колебания почвы с амплитудами до нескольких микрометров. В их конструкцию входит преобразователь механических колебаний в электрические, содержащий магниты, катушки и инертную массу. Когда поверхность земли колеблется, вместе с ней совершает колебания сейсмоприемник. При этом инертная масса сейсмоприемника не успевает следовать за колебаниями земли. Между инертной массой и корпусом сейсмоприемника возникают относительные смещения. Поскольку к инертной массе прикреплена катушка с проводом, а к корпусу — магнит, силовые линии магнита будут пересекать провода катушки в такт с колебаниями почвы. При этом на концах проводов катушки наводятся электрические напряжения, величина которых зависит от амплитуды колебаний поверхности земли. Эти напряжения невелики, поэтому их усиливают и далее записывают с помощью регистратора на сейсмограмме. Наиболее широко для записи сейсмических колебаний используется магнитная пленка. Сейсмоприемник, усилитель и регистратор составляют канал сейсмостанции. Число кана-

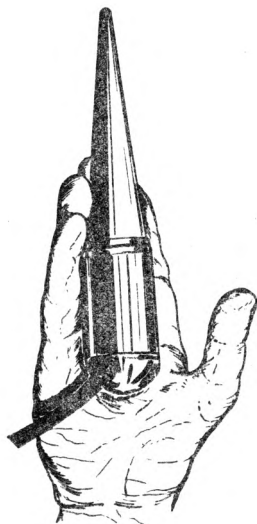


Рис. 8. Портативный сейсмоприемник

лов в сейсмостанции, применяемых при решении геологических задач, достигает 240.

Как и при работе с эхолотом на воде, на суше с помощью сейсмостанции можно получить отражение упругих волн от месторождений нефти и соли, песчаников, глин и других горных пород. Схема работы сейсмостанции показана на рис. 7.

С помощью сейсморазведки выявляют структуры, благоприятные для образования ловушек, содержащих нефть или газ. Такие ловушки характеризуются своеобразными перегибами горизонтов, выявленными по сейсмограммам. В ряде случаев перегибы на сейсмограммах обусловлены тем, что месторождения нефти и газа приурочены к структурам в виде куполов. Нефть и газ собираются в верхней части купола, а выше него лежат непроницаемые горные породы, скрывающие местонахождения нефти и газа, и определить их можно с помощью сейсморазведки. Поэтому считается, что каждая вторая структура, перспективная для поиска месторождений нефти или газа, обнаружена геофизиками.

Стоимость работы одной сейсмической партии за 3 года равна стоимости одной скважины глубиной 3 км. Поэтому опережающее применение сейсморазведки для предварительного выявления структур, перспективных на нефть или газ с целью передачи этих структур для последующего бурения, дает большую экономическую выгоду. С целью повышения эффективности поиска используются также результаты электро-, магнито- и гравиразведочных съемок.

Отраженный сигнал не всегда отчетлив, часто бывает размыт. Высоко-частотные сейсмические шумы, или микросейсмы, имеют очень небольшую амплитуду колебаний (не более тысячной доли микрометра). Приборы регистрируют их даже при отсутствии всяких причин для сотрясения почвы. Это постоянный "голос" недр. Природа шума долгое время была тайной. Тридцать с лишним лет назад на этот шум, как на источник информации, указал акад. Г.А. Гамбурцев.

Ученые пришли к выводу, что источник сейсмических шумов — постоянно происходящие на больших глубинах перемещения огромных масс вещества, сопровождаемые выделением значительной энергии. На своем "языке" шумы как бы рассказывают о постоянно изменяющемся внутреннем состоянии Земли. В шуме обобщается энергия всех подземных толчков в окружающее пространство. Шум, идущий из глубин, — следствие устойчиво повторяющихся воздействий на планету ее внутренних потрясений. На сейсмические волны, вызванные землетрясением, оказались наложены собственные колебания, свойственные нашей планете; шумя, Земля сама рассказывает о себе, нужно только научиться интерпретировать шумы.

Ученые разработали комплекс приборов высокой чувствительности, которые позволяют фиксировать слабые колебания грунта в доли микрометра. Сейсмологи А.Н. Рыкунов, В.В. Цыплаков, О.Б. Хаврошкин сделали, таким образом, открытие, которое может быть перспективным для развития сейсморазведки.

Сейсморазведка тесно связана с вопросами экологии. Звуковые виб-



раторы не должны нарушать жизнь обитателей моря, сила звука, как определили ученые, не должна быть выше установленных норм. Люди борются даже за сокращение мирных взрывов, чтобы сохранить окружающую нас природу для последующих поколений. В сейсморазведке в качестве источника упругих волн часто используется взрыв, нарушающий окружающую среду. Есть даже такая специальность "взрывник". Это человек, работающий с взрывчаткой, подготавливающий взрыв. Особенно красочно сейсморазведочный взрыв показан в кинофильме "Богатству недр — рациональное использование" (Леннаучфильм, 1982 г.). Люди укладывают пакеты с взрывчаткой в яму. А недалеко сидят птицы. У них своя жизнь. И вот рука взрывника щелкает тумблером. Взрыв. С тревожным криком взлетают птицы. Надо видеть эти искусно снятые кадры режиссера Ф.И. Якубсона, чтобы глубже понять трагедию даже мирного взрыва.

Люди создали безвзрывную сейсморазведку — вибросейс. Здесь взрыва нет, его заменяет удар металлической болванки о землю. Используемый источник без взрыва не нарушает состояние окружающей среды. Источник работает непрерывно, возбуждая в горных породах упругие волны, имеющие форму, приближающуюся к синусоиде. Частота волн плавно изменяется. Поскольку не нужно делать взрыва, то такой метод можно применять в населенных районах, что расширяет возможности сейсморазведки.

Источником упругой волны являются также вибраторы, устанавливаемые на машинах или тракторах. Сам удар возникает при вращении специально сделанного груза. Для современной сейсморазведки вообще характерен переход к невзрывным способам возбуждения упругих колебаний.

Преимущества сейсморазведки с вибрационным способом возбуждения упругих колебаний состоят в возможности генерирования их с заданным частотным спектром. Управляя частотой упругих колебаний, можно подобрать ее так, чтобы изучать небольшие глубины, например до 1,5—2 км, и именно на этих глубинах часто находят месторождения рудных полезных ископаемых. В СССР создатель вибросейсмического метода д-р геолого-минералогических наук Ю.П. Лукашин разработал специальную аппаратуру ВСК — вибросейсмический комплекс, широко применяемый в практике производственных работ.

Еще о свойствах окружающих нас горных пород. Из физики известно, что пьезоэлектрические кристаллы изменяют свои электрические свойства при механическом изменении длины. В 1880 г. братья Кюри установили, что если сдавливать кристалл кварца, то на его поверхности образуется электричество. Это физическое положение стали применять к горным породам. Впервые пьезоэлектрический эффект на образцах горных пород был обнаружен Н.П. Воляровичем и Э.И. Пархоменко в 1954 г. В горных породах под воздействием упругих колебаний, которые возбуждаются взрывами или ударами, появляются своеобразные электрические эффекты. Они связаны с электризацией (поляризацией) пород, а также с изменением их удельной электропроводности, магнитной и диэлектрической

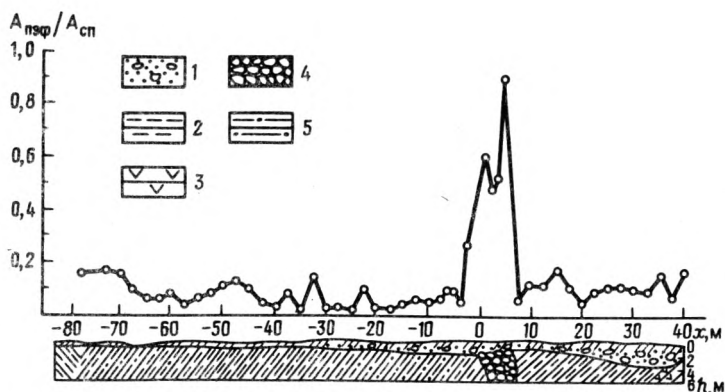


Рис. 9. График изменения отношений амплитуд пьезоэлектрического (пьезоэффект) и сейсмического полей.

1 — доломит; 2 — кварцево-серицитовые сланцы; 3 — зеленые сланцы; 4 — жильный кварц; 5 — кварциты (по Н.М. Нейштадту)

проницаемости. В зависимости от наблюдаемого эффекта можно выявить как сейсмомангнитные, так и сейсмoeлектрические его проявления.

Свойства пород, изученные в лаборатории на образцах, становятся основой для создания будущего метода поисков. Для пьезоактивных горных пород характерно упорядоченное расположение минералов-пьезоэлектриков. Для изучения пьезоэлектрических свойств непосредственно из обнажения вырезают кубик горной породы так, чтобы его ребра были параллельны падению и простиранию природной жилы, — это позволит потом точно привязать результат измерения к геологическому разрезу. Образец подвергают действию упругих колебаний, создаваемых специальным источником — вибратором. Возникающую при этом пьезоэлектрическую поляризацию изучают, измеряя электрический сигнал, снимаемый с образца с помощью электродов, например в виде щупов. Так, для одного из месторождений хрусталеносных пегматитов на образце полупрозрачного кварца получено среднее значение пьезомодуля 17 ед. СИ, для пегматита без кварца — 0,1 ед. СИ, полевого шпата — около нуля. Однако эффект этот обратим. Например, если образец поместить в переменное электрическое поле, то можно измерить интенсивность упругих колебаний на гранях образца. Это — обратный пьезоэффект.

Успешное изучение образцов позволило провести полевой эксперимент на кварцевых жилах. С кварцами и содержащими их пегматитами часто совмещены месторождения золота, олова, вольфрама, молибдена и горного хрусталя. На рис. 9 показан график отношения амплитуды пьезоэффекта к амплитуде сейсмического поля упругих волн. График получен на одном из месторождений кварца. Кварцевые жилы залегают среди мраморов и сланцев и сверху закрыты рыхлыми отложениями — наносами мощностью до 6 м. Такие работы проведены в различных райо-

нах страны. При проведении полевых работ делают взрыв и наблюдают характеристики электрического поля, которые получаются при пьезоэлектрическом преобразовании упругой энергии, произведенном расположенной в земле кварцевой жилой. Причем если регистрировать только амплитуду сейсмического поля упругой волны, то жила не выделяется. Поскольку удельное сопротивление вмещающих пород и жилы одинаково, предпосылки для применения электроразведки нет. Так действуют закономерности физики "камней", расположенных вокруг нас, в данном случае кварцевой жилы. Удалось определить возможности совместного использования сейсмических и пьезоэлектрических явлений. Так, где наблюдаются пьезоэлектрические явления, на графиках, аналогичных рис. 10, видно превышение амплитуды пьезоэлектрического поля над амплитудой сейсмического поля.

В результате применения пьезоэлектрического метода при поисках хрусталеносных пегматитов на одном из месторождений на площади в 3 км<sup>2</sup> выявлено около 100 рудных тел. От применения пьезоэлектрического метода получен эффект в 3 млн. руб. за счет сокращения объема горных и буровых работ. За использование сейсмоэлектрических и пьезоэлектрических явлений в разведочной геофизике группе геофизиков во главе с Н.М. Нейштадтом и М.П. Воляровичем в 1973 г. присуждена Государственная премия. Изучение пьезоэлектрических свойств горных пород и руд продолжается. Сейсмоэлектрический эффект связывает сейсмо- и электроразведку. По образцам выявлен сейсмомангнитный эффект, который может применяться более широко, существует и сейсмоэлектрохимический эффект. Наверное, должен быть и общий, суммирующий ряд действий одновременно. Ведь физики ищут общие взаимосвязи между физическими полями. А в природе эти общие взаимосвязи есть, их нужно только научиться наблюдать, изучать и понимать. Но вот при исследовании Кольской сверхглубокой скважины не были встречены границы различных слоев, которые намечались интерпретаторами. Это еще одна загадка теории — оказывается, что реальные среды реагируют на упругие волны более сложно, чем представляется в соответствии с разработанной теорией.

На рис. 5 показана сейсмограмма. После обработки ее разными приемами на электронной вычислительной машине получено три варианта разреза (см. рис. 5, в—д). Теория допускает неоднозначность толкования исследовательских данных. Теоретики создают модели сейсмической среды. Но сама реальная Земля отличается от этих моделей, чем и объясняется полученная неоднозначность решений. Составление реальной модели упругой Земли, выявление ее новых упругих свойств и закономерностей перемещения масс позволит в перспективе создать и более точный "сейсмический" портрет богини Земли Геи. Это дело будущего. Но уже сегодня теоретики добились больших успехов. Так, группа ученых, руководимых проф. Г.И. Петрашенем, в 1982 г. была удостоена Государственной премии за многолетний цикл работ, в которых решались задачи о распространении упругих волн в сложных, приближающихся к реальным моделям, средах с упругими свойствами.

Рудные месторождения по своей геометрической форме часто близки к таким фигурам, как сферы, цилиндры, диски и вертикальные пластины. Создание теории, учитывающей строение сложных сейсмических разрезов, содержащих такие фигуры, — одна из актуальных задач сегодняшней сейсморазведки. В зависимости от соотношения длины упругой волны и размера объекта мы можем или "увидеть" скрытый в земле объект, или нет. Вот что говорит по поводу актуальных проблем сейсморазведки д-р физ.-мат. наук Н.А. Караев: "Детальность наших знаний о Земле растет, но еще быстрее возрастает число вопросов, на которые все труднее находить ответы. А с чем сравнивать сейсмический "портрет"? Ведь именно он — основа наших знаний о глубинном строении Земли". Для сейсморазведки это почти то же, что сказал Бернард Шоу о науке вообще.



## СИЛА ТЯЖЕСТИ РАССКАЗЫВАЕТ О ГЛУБИНАХ ЗЕМЛИ

Обыденная и непонятная гравитация  
Человечество может все  
Вездесущие маятники и весы  
Детективная история

В данной главе мы рассказываем о гравиметрии — об изучении силы тяжести Земли для решения геологических задач (гравитас — по латыни тяжесть). Это очень эффективный и во многом похожий на магниторазведку вид геофизических исследований.

Мы еще вернемся к вопросу о сходстве указанных методов, тем более что оно позволяет нам сократить рассказ о гравиметрии, а пока отметим, что поле силы тяжести подобно магнитному во многих отношениях не познано; при изучении его физики столкнулись с многими "тайнами", которые предстоит разгадать.

"Ну, это уж слишком! — может сказать кто-либо из читателей. — Автор говорит это для красного слова. Уж что-что, а силу тяжести мы знаем отлично — со школьных лет помним простой и ясный закон притяжения масс И. Ньютона, знаем о том, что гравитационные силы во многом определяют всю окружающую нас Вселенную, в том числе и пути планет нашей Солнечной системы. Более того, мы постоянно видим влияние гравитации на все окружающее нас. Это она — "благословенная" сила тяжести — ориентирует по вертикали и деревья, и цветы, и отвес, и самих нас — людей, управляет движением капель дождя, стоком речной воды и образованием различных осадков, удерживает на Земле атмосферу и воду, не дает нам улететь в пространство под влиянием центробежной силы, связанной с вращением Земли. Это она — "проклятая" сила тяжести — создает опасные лавины, камнепады, управляет движением грозных селевых потоков, мешает спортсменам делать невиданные прыжки, мешает взлету самолетов и ракет и отнимает у человечества огромные энергоресурсы на преодоление сил притяжения Земли. Все эти лифты, лебедки, подъемные краны и многие другие механизмы работают для преодоления силы тяжести. В то же время она частично и восполняет нам энергию; ведь без нее вода не вращала бы турбины гидроэлектростанций".

Все это верно, дорогой читатель. Мы хорошо знаем силу тяжести и понятно почему: она непохожа на магнитное поле, присутствие которого мы не чувствуем. Силу тяжести мы постоянно ощущаем, а иногда и очень болезненно, если какой-либо предмет падает на нас с высоты (какое сча-



тье, что геофизики придумали иные способы измерения гравитационного поля). Однако если отбросить шутки и попробовать ответить на некоторые коренные вопросы, то сразу возникают затруднения и наши житейские представления о силе тяжести уже не могут нам помочь. Вот некоторые из таких "проклятых" вопросов: 1) как возникает гравитационное поле, во всех ли уголках вселенной оно существует, имеются ли в природе отрицательные массы? 2) как оно распространяется — в виде гравитационных волн или особых частиц (гравитонов)\*, мгновенно или с определенной скоростью? 3) как зависит гравитация от среды? 4) возможно ли экранирование гравитационного поля?

Классическая теория Ньютона не дает ответа на эти и многие другие вопросы. Отвечает на них релятивистская физика, а точнее, общая теория относительности (ОТО) А. Эйнштейна, которая определяет поле гравитационного притяжения как функцию геометрии пространства — времени. К сожалению, "пространство" данной главы не позволяет нам разъяснить эту формулировку и другие положения ОТО, касающиеся гравитации. Отметим лишь, что экспериментальная проверка общей теории относительности как раз по ее "гравитационному разделу" оказалась весьма затруднительной. Исследователи столкнулись здесь с очень тонкими явлениями и высоким уровнем помех, мешающих получению надежных результатов.

Упомянутые тайны гравитации не имеют прямого отношения к гравиразведке и мы кратко рассказали о них лишь для того, чтобы показать сложность этого явления и относящихся к нему теоретических построений, а также тонкость тех экспериментальных работ, которые ведут ученые для изучения гравитационного поля. Действительно, "человечество может все", как сказал Р. Роллан об успехах науки.

Эту до конца не познанную силу тяжести геофизики и геодезисты уже многие годы используют для изучения Земли — ее строения и формы — и в этом нет ничего странного. В обычной-то нашей жизни всегда ли мы всесторонне знаем то, чем пользуемся? Разве мы всегда знаем состав лекарств, которые принимаем, лаков и красок и многого другого, что находит применение в быту. Они исправно служат нам и этого достаточно. Так и гравитационное поле.

Для использования измерений силы тяжести при изучении Земли разработаны и теория гравиметрии, и методика работ, соответствующая аппаратура, причем эта аппаратура очень точная. Измерения ведутся сейчас с точностью до стомиллионной доли среднего значения ускорения свободного падения на Земле. Эта удивительная точность достигается не в лабораторных, а в полевых условиях. Как тут не вспомнить приведенные выше слова Р. Роллана!

Первые измерения выполнялись с помощью специальных маятников. Маятники — замечательные приборы, существующие во множестве вари-

---

\* Вероятная масса гравитона составляет  $10^{-65}$  г. Нетрудно представить себе, как сложно экспериментально обнаружить такие частицы.

антов. Мы применяем их, например, в часовых механизмах и для доказательства вращения Земли (маятники Фуко), а гравиметристы используют ту их особенность, что периоды колебания маятников зависят от ускорения свободного падения  $g$ , что было установлено Х. Гюйгенсом еще в XVII в. Период колебания маятников  $T$  — это то время, которое затрачивается маятником на полное колебание — от нейтрального положения в сторону, затем в противоположное положение и до начальной точки. Если точно измерить  $T$  и знать длину маятника, то можно установить величину  $g$ . Практически все, конечно, не так просто, поскольку на маятник действуют внешние факторы, например температура, а точно определить длину маятника и период его колебания крайне трудно. Но ведь "человечество может все". Поэтому точные маятники были созданы, в том числе и такие, которые позволяют вести измерения не только на суше, но и на кораблях и подводных лодках, т. е. на подвижном, качающемся и вибрирующем судне. Конечно, эти приборы весьма мало похожи на маятники часов.

Маятниковые измерения не применяются для геологических целей, так как наблюдения с ними на каждой точке занимают несколько часов, однако ранее выполненные наблюдения до сих пор сохраняют свое значение для астрономо-геодезических исследований, а некоторые из них — и как главные опорные пункты гравиметрических съемок.

Следующий шаг в развитии технических средств гравиметрии был сделан талантливым венгерским геофизиком Р. Этвешем. Он предложил измерить градиенты силы тяжести и создал для этих целей особый прибор — гравитационный вариометр. Для геологических исследований измерения градиентов в ряде ситуаций давали некоторые преимущества. Однако крупным недостатком этих приборов также была и остается, несмотря на ряд последующих усовершенствований, малая производительность — на одно измерение затрачивается слишком много времени. Поэтому на первом этапе гравиметрических наблюдений детальные съемки площадей были дороги, а в больших объемах просто невозможны.

Революция наступила с появлением гравиметров, современные варианты которых имеют малую массу и габариты, причем позволяют выполнять наблюдения за считанные минуты. При разработке гравиметров изобретатели использовали самые разнообразные принципы измерений, но на практике применяются в основном приборы, по принципу действия напоминающие пружинные весы. В самом деле, ведь даже обычные пружинные весы могут служить для измерения силы тяжести. Они не годятся для этой цели на Земле, где изменения силы тяжести очень малы, но грубо зафиксировать ее изменения на различных небесных телах ими можно было бы. Подвесив на них какой-либо груз, мы увидели бы, что на Юпитере или на поверхности Солнца пружина заметно растягивается и вес нашего груза по шкале оказался бы иным, чем на Земле. На нашей же планете ускорение свободного падения меняется от 983 Гал ( $9,83 \text{ м/с}^2$ ) на полюсе до 978 Гал ( $9,78 \text{ м/с}^2$ ) на экваторе, в пределах же одного геологического района не более чем на 500 мГал ( $0,005 \text{ м/с}^2$ ). Поэтому для гравиметрических целей пришлось создавать особо точные весы, в которых

используются специальные, например кварцевые, пружины, помещенные в вакуум, защищенные от влияний температуры и различных других источников погрешности.

Интересно, что один из вариантов гравиметров был разработан еще М.В. Ломоносовым, однако массовое применение гравиметров началось лишь в 30-е гг. нашего столетия. Первые точные широкодиапазонные и получившие массовое распространение в нашей стране гравиметры СН-3 были созданы замечательным советским геофизиком С.А. Поддубным, который возглавил коллектив талантливых гравиметристов и механиков. В создании приборов этого типа участвовали многие крупные ученые — В.В. Федынский, Н.Н. Самсонов, К.Е. Веселов, М.М. Молоденский, П.И. Лукавченко, А.М. Лозинская и многие другие. В основу же многих конструкций были положены принципы вертикального сейсмографа, разработанные русским академиком Б.Б. Голицыным — основоположником сейсмологии.

Сейчас в нашем распоряжении имеются гравиметры разного типа, в том числе и специальные — для скважинной, шахтной, морской гравиметрии и даже для аэрогравиметрических измерений. А между тем измерение ускорения свободного падения на движущемся или качающемся носителе очень сложно. Ведь самолет или корабль, на котором установлен гравиметрический прибор, все время подвергается ускорениям иного происхождения, и от их влияния нужно освободиться.

Следует сказать, что разработка и изготовление таких точных приборов, как кварцевые гравиметры, — дело исключительно сложное. Для этого необходимо иметь высочайшую подготовку в области теории, технологии, материаловедения, нужно манипулировать тончайшими нитями, покрытиями, сложной оптикой, вакуумными изделиями. Здесь речь идет о долях микрометров и миллиграммов. Кварцевый, да и любой другой точный гравиметр — подлинное чудо техники. Не удивительно, что создание таких приборов — это научная драма со сложной завязкой, взлетами и падениями, надеждами и разочарованиями, бесконечными экспериментами, с кульминациями (когда ведутся последние решающие опыты) и с далеко не всегда счастливой развязкой. Главных действующих лиц (изобретателей) мучают сомнения, как датского принца Гамлета (быть прибору или не быть). Изобретатель, как Шейлок над золотом, трясется над запасами дефицитных деталей и, как лесковский Левша, делает чудеса — кварцевые нити. В самое неподходящее время противники вызывают его на споры — турниры. Как храбрый рыцарь Айвенго, дерется он с ними на этих турнирах, пробивает щиты равнодушия и, что греха таить, подчас ревнует как Отелло, видя успехи других. Трудное это дело — изобретать! Но как счастливы они, изобретатели, когда разработанные ими серийные приборы работают в тундре и степях, в горах, пустынях и на океанах, собирая урожай информации о Земле, приносят пользу людям. Вот почему творцы современных точнейших приборов, в том числе гравиметрических, вызывают огромное уважение. А говорим мы об этом потому, что настало время переходить к новым принципам создания гравиметрических приборов, и решать эту задачу придется молодым новым исследо-

вателям, может быть кому-либо из читателей данной книги. Этот путь увлекателен и требует подлинной одаренности, остроты ума, упорства, силы воли. Здесь нужны энтузиасты. Ну, как читатель? Не заинтересует ли это Вас?

На чем же основано применение гравиметрии в геологии?

Она дает ответы на многие вопросы, связанные с изучением формы и строения Земли, уже по одному тому, что силы гравитации в значительной степени определяли всю геологическую историю нашей планеты на всех этапах от зарождения ее как небесного тела до настоящего времени. Несомненно, что и ядро Земли, и мантия, и кора возникли при активном участии гравитационных сил. Эти силы определяют давление в глубинах, тектонические движения и накопление осадочных пород. Многие рудные образования возникли под влиянием гравитационного разделения магмы. Эти силы повлияли и на изменения мощности земной коры, на процессы складкообразования, на возникновение гор, на вулканические явления.

На фоне нормального распределения силы тяжести на Земле, связанного с ее формой, общей массой и вращением, существуют гравитационные аномалии, которые зависят от состава горных пород, составляющих земную кору. Породы разного состава имеют различную плотность. Над плотными (тяжелыми) породами сила тяжести повышена, над легкими, менее плотными она уменьшается. Следовательно, по гравиметрическим картам можно определять строение Земли, искать полезные ископаемые. Так, над породами основного и ультраосновного ряда — диабазы, габбро, перидотитами, пироксенитами — и над тяжелыми рудами наблюдаются положительные аномалии силы тяжести, над более легкими отмечаются относительные понижения. Например, в Карелии над гранитами рапакиви (которые можно видеть в Ленинграде, так как ими облицованы многие набережные и дома) обычно наблюдаются понижения поля, а над магнетитовыми телами (богатая железная руда) — локальные положительные аномалии.

Съемки выполняются примерно так же, как магнитные — по точкам профилей (см. рис. 1 и 2). Расстояния между пунктами выбираются в зависимости от масштаба съемки, который устанавливают с учетом задачи и условий работ. Некоторые отличия от магнитных съемок определяются тем, что вариации поля силы тяжести не измеряются с помощью вариационных станций: длиннопериодные вообще не учитываются — их только начали изучать, а те, которые связаны с влиянием притяжения Солнца и Луны, малы (то, что портфель с книгами, который утром кажется нам легким, а в конце рабочего дня — значительно тяжелее, как ни странно, не противоречит этому утверждению). При выполнении особо точных съемок лунно-солнечные вариации силы тяжести могут быть учтены по специальным таблицам.

Другая особенность гравиметрических съемок связана с непостоянством (изменчивостью) нулевого отсчета гравиметров во времени. Поэтому при выполнении точных измерений приходится часто проводить наблюдения на опорных пунктах, измерения на которых для повышения точности осуществляют по особой методике.

Обработка полевых материалов ведется вручную или на ЭВМ. Результаты измерений отражают не только интересующие нас аномалии, но и нормальное распределение силы тяжести на Земле, которое известно для каждой точки и без особого труда может быть учтено, если координаты точек измерений известны. Однако полученные данные зависят еще и от высоты пункта наблюдения, и от влияния рельефа земной поверхности. В связи с этим приходится вводить специальные поправки — так называемые редукции. Они предложены в разных вариантах и дают неодинаковые результаты. В зависимости от условий и задач применяют те или иные способы редуцирования. Отметим, что вопрос о поправках еще требует дополнительной разработки; нужны новые идеи. Эту сложную проблему придется решать следующим поколениям геофизиков. Задача о редуциях имеет исключительное значение, очень сложна и интересна.

По исправленным (редуцированным) результатам гравиметрических съемок строят карты аномалий силы тяжести, и наступает этап интерпретации — геологического истолкования полученных результатов. Работа интерпретатора во многом напоминает работу следователя, раскрывающего запутанное преступление. Следовательно приходится выяснять причины преступления, выявлять роль и связи его участников, искать улики, привлекать различные технические средства, использовать дедуктивные и индуктивные методы анализа установленных фактов, изучать досье с описанием аналогичных преступлений. Интерпретатор старается установить причины, вызвавшие аномалии, роль и связи различных факторов, определивших характер гравитационного поля, тоже применяет дедуктивные и индуктивные приемы анализа, ищет и использует доказательства своих выводов (данные о плотностях горных пород, математические расчеты), применяет технику (например, ЭВМ) и пользуется методом аналогий. Методы анализа гравиметрических и магнитных аномалий весьма схожи.

Сложность интерпретации аномалий силы тяжести связана с тем, о чем мы уже говорили по поводу геологического истолкования данных магниторазведки. К тому же в процессе интерпретации приходится учитывать, что плотность горных пород в значительной степени зависит от истории их образования. Так, при одинаковом составе пород их плотности могут варьировать в зависимости от того, образовались ли эти породы на глубине или вблизи поверхности, подвергались ли различным воздействиям или почти не менялись с момента образования. Кроме того, на поле силы тяжести влияет мощность (толщина) земной коры, которая, в свою очередь, отражает ее историю; речь идет о явлении изостазии, которое было открыто на основе изучения уклонений отвеса.

Как-то в одном из журналов мне попало забавное двустийшее-акроним: "направление отвеса не меняется от веса". На первый взгляд, это двустийшее отражает объективную истину, но с научной точки зрения оно сформулировано неточно. Во-первых, неясно, о каком весе идет речь. Если имеется в виду вес грузика, подвешенного на нити отвеса, то сказанное не совсем точно, так как при очень малом весе грузика отвес может отклоняться движением воздуха. Но ведь можно допустить, что речь идет о весе окружающих предметов. Тогда это совершенно невер-



ное утверждение, что подтверждает опыт геодезистов. Вблизи Гималайского хребта они установили аномальное уклонение отвеса, причем совершенно неожиданное. Грузик отклонялся не в сторону огромных гор, а в противоположном направлении. На этом основании было высказано предположение, что в области Гималайского хребта сравнительно легкая земная кора под влиянием мощных процессов горообразования утолщена, а поскольку земная кора как бы плавает в подстилающем более плотном слое, то горный хребет имеет "корни", вытеснившие подкоровое вещество. При этом отвес будет отклоняться от гор, а хребту должна соответствовать региональная отрицательная аномалия силы тяжести. В общем эта гипотеза подтвердилась, хотя само явление оказалось значительно более сложным, чем предполагали вначале.

Вот так и оказалось, что по гравитационным аномалиям можно судить о том, что происходили ли в прошлом горообразовательные процессы и каковы их особенности. Если вспомнить то, что мы рассказали о палеомагнитном методе определения возраста пород, то выходит, что геофизические поля и физические свойства пород доносят до нас следы давно угаснувших процессов преобразования Земли, следы истории ее развития.

Итак, поле силы тяжести отражает и строение Земли, и ее историю. Разобраться в информации, которую содержат гравиметрические данные, непросто, но результаты могут быть исключительно ценными и для науки, и для практики. Так в колесницу геологических исследований ученые запрягли силу тяжести, такую обыденную и сложную, вездесущую и всемогущую, которая и управляет нами и нами же используется для раскрытия многих тайн природы.



## СЕКРЕТЫ ГЕЛИЯ И ЯДЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА

Все минералы радиоактивны  
Предвидение В.И. Вернадского  
Атомные часы  
Зарегистрированные открытия  
Летающий "гамма-разведчик"  
Космические весы

В.И. Вернадский писал, что можно и нужно говорить о новой науке — о радиогеологии, науке о радиоактивных свойствах нашей планеты, о происходящих в ней, ей свойственных, особых радиоактивных явлениях. Радиоактивность — свойство атомных ядер отдельных элементов самопроизвольно переходить в атомные ядра других элементов, разрушаясь по определенным законам. Эти свойства проявляются у ядер, содержащих большое число протонов. Такие ядра неустойчивы и распадаются. Особенно интенсивен распад у элементов с порядковыми номерами в таблице Менделеева, равными или превышающими 92, т. е. начиная с урана. При переходе в другие элементы наблюдаются ядерные излучения, которые в природе являются признаком наличия радиоактивных элементов.

В 1909 г. В.И. Вернадский организовал первую экспедицию, изучавшую радиоактивные свойства горных пород, и эта дата считается началом радиогеологических работ в нашей стране. В.И. Вернадский понял значение атомной энергии в геологии, высказался за широкое развитие радиогеологических исследований и организовал первые экспедиции для поиска месторождений урана.

Ядерная геофизика зародилась в сфере действия ядерной геологии или, как говорят, радиогеологами. Она использует ядерные превращения, которые происходят при взаимодействии элементарных частиц и атомных ядер.

Открытие радиоактивности обусловлено наблюдениями за неживой природой.

Супруги П. Кюри и М. Склодовская-Кюри, изучая радиоактивные свойства различных минералов, обнаружили, что уран засвечивает фотопластинку, а в минералах, обладающих излучением, нашли радиоактивные элементы (полоний, радий). Они присутствуют в минералах в небольших количествах, но обладают резко выраженными свойствами испускать излучения. Эти свойства позволили создать ряд теорий атомной физики.

Приведенные факты изложены в школьных курсах физики. Но значение сделанных супругами Кюри открытий каждый раз наполняется новым содержанием. Фактически здесь мы столкнулись с исследователями неживой природы, которых можно назвать не только физиками, но и, по аналогии с бионикой, геониками. Геофизики также немного геоники —

они находят новые явления неживой природы, которые могут моделироваться людьми для решения самых разнообразных задач.

Со времени первых экспедиций В.И. Вернадского можно считать установленным, что все горные породы в большей или меньшей степени радиоактивны и выделяют тепло. Сегодня радиоактивные свойства горных пород изучены довольно хорошо. Горные породы имеют различную радиоактивность — от высокой до низкой. Наиболее высокая радиоактивность характерна для руд урана, радия и тория, например для урановой смолки. Менее высокой радиоактивностью обладают отдельные горные породы, например граниты. Такие породы, как песчаники, глины, известняки, соли, характеризуются низкой радиоактивностью.

В начальный период изучения радиоактивности горных пород были сделаны расчеты, которые показали следующее: в приповерхностном слое энергия радиоактивного распада такова, что ее хватит для покрытия расхода на излучение тепловой энергии Земли. И не только на излучение тепла, но и на покрытие расхода энергии, затрачиваемой на геологические процессы.

Горные породы имеют интересные радиоактивные свойства. Очень важным из них является постоянство скорости распада радиоактивных элементов и ее независимость от внешних условий. Радиоактивный распад можно использовать в качестве эталона времени. Эта догадка была высказана З. Резерфордом и П. Кюри еще в начале XX в. На ее основании В.И. Вернадский и английский естествоиспытатель А. Холмс приступили к изучению возраста горных пород и минералов. Постоянство скорости распада радиоактивных элементов легло в основу изучения возраста горных пород — абсолютной геохронологии. Имеющиеся в горных породах радиоактивные элементы подчиняются закономерностям распада. Изотопы урана, калия, тория, радия, постепенно распадаясь, превращаются в другие элементы — свинец и гелий. Так, изотоп урана-235 превращается в изотоп свинца-207, изотоп урана-238 переходит в изотоп свинца-206. Длительность этого процесса очень велика, например, половина атомов урана распадается за 700 млрд. лет.

Если сделать очень точный анализ химического состава минерала, то можно установить, сколько в нем находится свинца или гелия, появившегося после образования минерала, а также выяснить, каков остаток неразложившегося элемента. Установлено, что 1 г свинца получается из 100 г урана за 79 млрд. лет. Пусть, например, химический анализ минерала показал, что в нем присутствуют 8,7 г урана и 1,125 г свинца, тогда возраст минерала определится в 100 млрд. лет.

В зависимости от конечных продуктов распада выделяют свинцовый, гелиевый, аргоновый, кальциевый и другие методы абсолютной геохронологии.

Для определения возраста образования горных пород в СССР широко применяется калий-аргоновый метод. Он основан на изучении изотопов калия с атомной массой 40, который превращается при радиоактивном распаде в газ аргон, имеющий ту же атомную массу 40.

Нужно отметить, что геологи, используя палеонтологические находки,

могут определить только относительный возраст пород: установить, какие породы более молодые, а какие образовались раньше.

Выясненная последовательность напластования горных пород позволяет создать шкалу для оценки последовательности отрезков времени. Установленная палеонтологами шкала относительна и свидетельствует только о последовательности, с которой одни виды животного мира сменяли другие. Сами палеонтологи говорят, что они очень похожи на историков, которые могут доказать совершенно точно, что за Юлием Цезарем следовал Август, потом Карл Великий, Карл V, Фридрих II, Наполеон I и Вильгельм I, но не обладают никакими средствами, чтобы установить, сколько лет протекло со времени начала царствования одного правителя до воцарения другого\*.

Данные радиоактивного анализа позволили определить возраст самых разнообразных горных пород (табл. 2). Так установили, что возраст пород докембрия на Кольском полуострове составляет 2 млрд. лет, для земной коры — 3—4 млрд. лет, а для нашей планеты Земли — около 6 млрд. лет. Перепады в миллиарды лет человеку сложно ощутить. В старинных книгах есть небольшая легенда, посвященная восприятию времени. Согласно легенде, в дальнем царстве есть алмазная гора. Раз в тысячу лет на эту гору прилетает птица чистить клюв. Когда кора будет сточена клювом — пройдет первое мгновение вечности. Цифры, характеризующие периоды полураспада радиоактивных элементов, являются своеобразным мгновением вечности. Французский естествоиспытатель Ж. Ламарк писал в начале XIX в.: "Для природы время ничего не значит и никогда не представляет затруднений, она всегда имеет его в своем распоряжении, и для нее это средство не имеет границ". Тем не менее геофизики напряженно трудятся в лабораториях, определяя время образования разнообразных горных пород, расширяя представление человека о времени.

Создание по инициативе В.И. Вернадского и П.Н. Тверского радиометрических методов поисков месторождений в нашей стране относится к 20-м гг. нашего столетия. В этой работе приняли участие как физики, так и геологи. Предназначены эти методы для поисков радиоактивных, особенно урановых руд, а также для геологического картирования горных пород с различными радиоактивными свойствами и основаны на выявленных закономерностях радиоактивного распада. Известно, что альфа-частицы легко экранируются даже листом тонкой алюминиевой фольги и представляют собой положительно заряженные ядра атома гелия: бета-частицы являются потоком электронов, от которых можно защититься тонкой алюминиевой пластиной толщиной 0,5 см, а гамма-излучение обладает самой большой проникающей способностью, но не несет электрических зарядов и представляет собой очень короткие электромагнитные волны. Длина волны гамма-излучения, испускаемого естественными радиоактивными элементами, лежит в диапазоне  $1,2 \cdot 10^{-8}$ — $4,7 \cdot 10^{-11}$  см.

---

\* Вальтер И. История Земли и жизни. — С.П.Б., 1914.

Таблица 2. Стратиграфические подразделения вместе с ориентировочной шкалой основных событий в развитии жизни и их датировки

Стратиграфические подразделения		Характерные формы органического мира (по данным палеонтологии)	Ориентировочная шкала продолжительности периода (по данным радиомерии), млн. лет
Эра	Период		
Кайнозойская (продолжительность 67 млн.лет)	Четвертичный (антропогенный)	Появление человека. Расцвет млекопитающих, птиц, рыб, насекомых. Развитие современного растительного мира	1,5
	Неогеновый	Человекообразная обезьяна	23,5
	Палеогеновый	Примитивные млекопитающие, вымирающие к неогену. Динозавры исчезают	42
Мезозойская (продолжительность 163 млн.лет)	Мел	Цветковые растения	70
	Юра	Расцвет динозавров. Появление птиц	58
	Триас	Динозавры. Появление млекопитающих, хвойные	35
Палеозойская (продолжительность 340 млн. лет)	Пермь	Пресмыкающиеся, подобные млекопитающим	55
	Каменноугольный	Пышная древовидная растительность, амфибии (земноводные)	75-65
	Девон	Появление предков папоротников, появление амфибий (земноводных)	60
	Силур	Наземные растения и животные	30
	Ордовик	Примитивные рыбы	60
	Кембрий	Водоросли, бактерии, трилобиты	70
Докембрий		Примитивные морские животные	1000
		Зеленые водоросли	1000
		Бактерии, сине-зеленые водоросли	1000

В практике геофизических работ часто используется гамма-излучение, которое поглощается слоем наносов в 1–2 м.

Используя основные закономерности, люди все время выявляют новые. Вот два открытия, которые связаны с наблюдениями за неживой природой — с изучением природного гелия.

В Государственный реестр открытий СССР (1968 г.) записано открытие под названием "Закономерность распределения концентраций гелия в земной коре". Это открытие сделано группой ленинградских и московских геофизиков: В.С. Глебовской, А.Г. Граммаковым, В.П. Якуцени, Г.П. Тафеевым, А.Н. Еремеевым, Д.М. Щербаковым и их коллегами. Другое открытие зарегистрировано в реестре под названием "Закономерности распределения концентраций изотопов гелия Земли" (1974 г.) и сделано ленинградскими учеными Б.А. Мамыриным, И.Н. Толстихиным и другими.

Гелия очень мало на Земле. Его даже меньше, чем золота. Оказывается, что знание закономерностей распределения гелия может играть роль ключа к самым различным кладовым полезных ископаемых. Это связано с тем, что с древнейших времен существования нашей планеты в тектонических нарушениях — разломах и около вулканов скапливаются самые разнообразные руды. Основная часть гелия образуется в недрах Земли за счет альфа-распада радиоактивных элементов, входящих в состав минералов. После выделения из кристаллических решеток минералов легкий гелий устремляется через толщи горных пород к поверхности Земли и далее — в космос. Это и есть гелиевое дыхание планеты, о котором говорил В.И. Вернадский. Гелий — "солнечный газ" — был открыт на солнце, которое все время излучает в космос потоки частиц, получивших название "солнечного ветра". Гелий — инертный газ и не вступает в естественных условиях в реакцию ни с одним из элементов таблицы Менделеева. "Вырываясь" на поверхность, гелий идет наиболее легким путем. Такой дорогой для него являются трещины и разломы. К последним часто приурочены рудные тела, поэтому геологи говорят, что разломы контролируют руды. Дальше все ясно: наблюдая на земной поверхности повышенные концентрации гелия, можно выявить тектонические нарушения, перспективные для поисков руд. Эта идея появилась в 40-х гг. нашего столетия, но прошло довольно много времени до той поры, когда она получила признание. Пришлось сделать много анализов, прежде чем окончательно утверждать, что действительно повышенные концентрации гелия, выносимые глубинными водами или газами, находящимися в недрах Земли, контролируют разломы. Для проведения исследований разработаны методы гелиевой съемки и высокочувствительная аппаратура для анализов.

Залежи редких элементов, золотоносных и медных руд тяготеют к разломам, выявленным при гелиевой съемке. Да и сам гелий нужен народному хозяйству. Месторождения природного газа с большим содержанием гелия — большая редкость и найти их очень трудно. С помощью гелиевой съемки на территории СССР открыты месторождения гелия. Но точку в изучении гелия ставить еще рано. Оказывается, что гелий таит



в себе еще один секрет, который связан с соотношениями в нем изотопов.

В конце 30-х гг. нашего столетия ученые установили, что и гелий имеет два изотопа — гелий-3 и гелий-4, отличающиеся друг от друга одним нейтроном. Гелий-4 имеет на нейтрон больше, чем гелий-3. В то же время было установлено, что гелия-3 очень мало, существенно меньше, чем его более тяжелого родственника. Однако изучить соотношение тяжелого и легкого гелия не удавалось до тех пор, пока не был создан специальный прибор. Он называется магнитным резонансным спектрометром и позволяет среди миллиардов атомов одного вещества определить наличие нескольких тысяч атомов другого. В результате экспериментов удалось установить важную закономерность: в атмосфере Земли легкого гелия меньше, чем тяжелого, в 700 раз, а в земной коре — в 30000000 раз. Считалось, что чем глубже, тем легкого гелия меньше. Но на практике оказалось, что это не так. Еще раз вспомним, что Земля — шар со слоистой структурой: тонкая земная кора — оболочка, дальше мантия и, наконец, ядро.

Ленинградские физики установили, что соотношение изотопов гелия-3 и гелия-4, которыми насыщена мантия и земная кора, различно; в гелии мантии содержится в 1000 раз больше изотопов легкого гелия, чем в гелии земной коры. Между тем ученые предполагали, что ближе к центру Земли преобладают изотопы тяжелого гелия, причем с глубиной их содержание постепенно растет. Но оказалось, что в пределах мантии соотношение изотопов сохраняется постоянным.

Сделанное открытие проясняет отдельные моменты истории образования Земли. Так, наличие гелия в мантии свидетельствует о том, что при образовании нашей планеты ее температура была не очень высокая, иначе бы гелий улетучился. Следовательно, наша планета не была расплавленным шаром. То обстоятельство, что содержание гелия в мантии постоянно, говорит о ее довольно однородном составе. Среди частиц "солнечного ветра" очень много гелия-3. Этот солнечный гелий, как предполагают ученые, пропитывал первичный материал — космическую пыль и метеориты, из которых образовалась наша планета. Так, 4,6 млрд. лет назад гелий-3 оказался законсервированным в глубине планеты — в мантии.

Гелий-4 имеет так называемое радиогенное происхождение. Он образуется при распаде ядер, находящихся в недрах радиоактивных минералов — урана и тория, наибольшее количество которых содержится в земной коре. В ней все время появляется гелий-4, но здесь в большей степени проявляется и "гелиевое дыхание" планеты: отсюда гелию довольно легко попасть в окружающую атмосферу и поэтому здесь происходит изменение соотношений легкого и тяжелого гелия. В то же время из мантии гелию-3 выбраться на поверхность значительно сложнее. И к имеющемуся в мантии гелию-3 также добавляется гелий-4 от распада радиоактивных минералов. Так объясняется установленная закономерность.

Соотношение изотопов легкого и тяжелого гелия используется геологами — гелий контролирует разломы. Но выделить среди них более глубокие помогает соотношение изотопов. Разработаны специальные критерии, связывающие изотопный состав гелия с наличием в земле тех или

Таблица 3. Содержание радиоактивных элементов в горных породах

Порода	U, г/т	Th, г/т	<sup>40</sup> K, %
Базальт	0,9	4,2	0,75
Гранит	3–5	13,0	4,4
Известняк	1,3	1,1	—
Нефть	100	0,0005	—

иных полезных ископаемых. Пришлось организовать большое число экспедиций, отобрать сотни тысяч образцов с разных глубин во всех уголках нашей планеты, сделать анализ вулканического материала и метеоритов. Через все это прошли исследователи, сделавшие открытие. Так, непрерывно шаг за шагом углубляется представление о гелии и его роли в природе. И, по-видимому, это только бусинки из ожерелья природных секретов.

А теперь поговорим о недрах и космических лучах, о том, как космические лучи помогают определять плотность горных пород без отбора образцов, в естественном залегании. Космические лучи больших энергий попадают в землю, проникают в нее на значительные глубины — сотни метров и более. Чем плотнее горная порода, тем сильнее поглощаются ею космические лучи. Поэтому, если поместить прибор, позволяющий регистрировать интенсивность космических лучей, в горной выработке, можно получить представление о плотности перекрывающих выработку пород. С помощью космических лучей можно выделить более и менее плотные породы. Знание плотности пород облегчает интерпретацию гравиметрических аномалий.

Радиоактивные минералы, которые находятся в Земле, имеют гамма-излучение. Из табл. 3 видно, что радиоактивность базальтов, гранитов, нефти значительно различается. Это используется в практике поисковых работ.

Определенное развитие радиометрические методы получили в связи с необходимостью поиска урановой руды. Были разработаны методы исследований, обеспечивающие поиски урановых руд и оказывающие помощь в составлении геологической карты, на которую наносились контуры распространения горных пород различной радиоактивности, сконструированы приборы, которые регистрируют гамма-излучение, существующее в природе. Крайне важно знать сочетание характеристик для отдельных видов горных пород, для того чтобы изучить виды геологических объектов. Иными словами, нужно знать энергетический спектр гамма-излучения — гамма-спектр. Вначале эти измерения делались с известными из курса физики счетчиками (датчиками) Гейгера. Но вот в конце 50-х гг. появились так называемые сцинтилляционные датчики. Они стали использоваться для регистрации гамма-излучения от тория, урана и калия. Сегодня сцинтилляционные счетчики изготовляют из самых разнообразных кристаллов: сернистого цинка, вольфрама, кальция, йодистого натрия, йодистого цезия и др. Эти кристаллы обладают заме-

чательным физическим (или минералогическим) свойством — под действием гамма-излучения в этих веществах возникают вспышки, называемые сцинтилляциями. Их свечение улавливается чувствительным фотодатчиком, превращается в электрический ток и далее усиливается фотоумножителем. Такие приборы бывают в различных вариантах: наземные для перешедов-съемщиков, автомобильные, вертолетные и самолетные. Кристаллы йодистого натрия используются в качестве сцинтилляционных датчиков в вертолетной и самолетной аппаратуре. Сам кристалл прозрачен. Кажется, что это вода, но поднять его нельзя — настолько он тяжел.

Каждый кристалл-датчик подстраивается по своим характеристикам таким образом, чтобы регистрировать определенное излучение. Новый прибор имеет физическое название — аэрограмма-спектрометр, только в геологическом производстве к его названию добавляется приставка "полевой", так как он предназначен для работы в экспедициях. Аэрограмма-спектрометр позволяет измерять энергию гамма-излучения, по которой можно определить усредненные по площади содержания урана, тория и калия в приповерхностном слое горных пород.

В 1979 г. за создание полевого аэрограмма-спектрометра группа ученых была удостоена высокого звания лауреатов Государственной премии: А.В. Матвеев, В.В. Филимонов, П.Н. Фогт и В.Б. Степанов. Когда В.В. Филимонова спрашивают про этот "летающий гамма-разведчик" — аэрограмма-спектрометр, он говорит: "Что это такое? — Это прибор, который, если можно так выразиться, один в трех лицах. Прежде всего, это прибор для геофизических измерений. Но в то же время это и ядерно-физический прибор и, кроме того, сложнейшее радиотехническое устройство".

Радиоактивность можно измерять, используя горные породы, выходящие по стенкам скважин. К методам радиоактивного каротажа относятся гамма-каротаж и нейтронный гамма-каротаж. Гамма-каротаж был предложен советскими геофизиками В.А. Шпаком, Г.В. Горшковым, А.Г. Грамаковым и Л.М. Курбатовым в 1933 г. В.А. Шпак писал, что до создания счетчиков Гейгера не было удобной аппаратуры для изучения радиоактивных элементов в скважинах. Только после появления этих счетчиков удалось сделать применимую для наблюдений в скважинах аппаратуру. А поскольку изучалось гамма-излучение, то метод получил название гамма-каротаж. При гамма-каротаже естественная радиоактивность горных пород, вскрытых скважиной, исследуется с помощью датчика гамма-излучения, перемещаемого по скважине, и регистратора, находящегося на поверхности земли и входящего в состав каротажной аппаратуры. Слои горных пород различной радиоактивности выделяются на полученных диаграммах гамма-каротажа. Повышением радиоактивности отмечаются глинистые породы, так как они поглощают радиоактивные элементы. Понижение радиоактивности характерно для песчаных и карбонатных пород.

Есть методы, основанные на искусственном облучении горных пород и изучении поглощения и рассеяния гамма-лучей, и нейтронов. С этой целью в скважину в специальной гильзе скважинного снаряда спускают

источник гамма-лучей или нейтронов. В гильзе находится также датчик гамма-излучений или нейтронов. Чтобы исключить прямое действие источника на датчик, между ними помещают экран из свинца или парафина. Этот принцип лежит в основе гамма-гамма-каротажа, нейтрон-нейтронного каротажа, нейтронного гамма-каротажа. Например, в гамма-гамма-каротаже чем больше плотность облучаемой породы, тем сильнее происходит фотоэлектрическое поглощение излучаемых гамма-квантов атомами вещества и, следовательно, рассеянное излучение будет слабым. Поэтому с помощью гамма-гамма-каротажа можно разделять горные породы по плотности. Нейтронный каротаж был впервые предложен в 1941 г. акад. Б. Понтекорво.

В случае рентгеноструктурного анализа с радиоактивными источниками имеется возможность определить вещество по характеристическим рентгеновским спектрам возбуждаемых элементов.

Датчики ядерной геофизической аппаратуры позволяют без непосредственного контакта с рудой оценить состав полезного ископаемого, контролировать его в движущихся вагонетках, на транспортных лентах в рудниках, в автомашине и в месте складирования. Такие быстрые "экспрессные определения" позволяют следить за составом горного сырья, так как на обогатительные фабрики должно поступать сырье с определенным содержанием полезных компонентов. В недрах Земли ядерные методы позволяют изучать состав рудного тела без какого-либо его разрушения и непосредственно на месте залегания. Иными словами, с их помощью решаются важные для народного хозяйства задачи — полной комплексной и экономной добычи руд из недр. При этом резко сокращается необходимость проведения химических анализов. Для определения вещественного состава пород, слагающих поверхность Луны, также прибегают к ядерным методам.

Из отчета о научных исследованиях на станции "Салют-7" известно, что космонавты наблюдали процесс формирования изотопов гелия в невесомости. Эти наблюдения позволят более точно разгадывать загадки природы и, возможно, приведут к установлению новых закономерностей, дополняющих уже сделанные открытия.



## СВЕРХГЛУБОКИЕ СКВАЖИНЫ- «КОСМОС НАОБОРОТ»

Тайны больших глубин  
Что такое каротаж  
Поправки в градиент температуры  
Геофизики ищут "бесплатную печку"

В научно-фантастическом романе А.Н. Толстого "Гиперболоид инженера Гарина" инженер Гарин пытался добраться до золота Оливинового пояса, расположенного глубоко в недрах, с помощью гиперболоида, выжигающего отверстие в Земле. Сегодня еще нет такого устройства и для изучения недр по-прежнему широко используется бурение.

В Кольской сверхглубокой скважине были выполнены физические наблюдения. Человек не может спуститься с прибором в скважину как в шахту. Поэтому в сверхглубокой скважине был проведен каротаж. Название каротаж происходит от французского слова "карот", что значит "морковка". На морковку похож столбик горной породы — керн, поднятый из скважины при бурении. Скважинные снаряды имеют вид трубок, начиненных различными датчиками характеристик физических полей: напряженности электрического или магнитного, радиоактивного, акустического, теплового полей. В скважинных снарядах размещаются и блоки электронной аппаратуры. Такая трубка опускается в скважину на специальном тросе, внутри которого проходят жилы кабеля. На земле стоит лебедка, на которую наматывается этот трос-кабель, и рядом располагаются регистрационные приборы.

С помощью специальных датчиков следят за состоянием скважины — искривлениями ее стенок и пористостью горных пород, слагающих стенки скважин. По тросу-кабелю датчики передают на землю сигналы, которые на земле после усиления регистрируются стрелками самописцев на диаграммных лентах. Сигналы, зависящие от характеристик физических полей, рассказывают о свойствах окружающей скважину среды, размерах и форме встреченных пластов.

Различные физические свойства горных пород — электрические, магнитные, радиоактивные и другие привели к созданию разнообразных вариантов исследования скважин. При бурении детально изучаются вскрываемые скважиной горные породы, фиксируется последовательность и глубина залегания геологических пластов, устанавливаются их вещественный состав и физические свойства. Делается это по образцам горных пород, поднятым из скважины (керну). Но не всегда удается отобрать керн, кроме того, есть свойства, которые лучше изучать непосредственно в скважине, в массе горных пород в их естественном залегании, а не на



отдельном кусочке. Есть физические характеристики, такие как температура, которые необходимо, да и возможно наблюдать только в скважине. Удельное электрическое сопротивление горных пород сильно зависит от естественной влажности. Физические исследования электрического удельного сопротивления, радиоактивности, температуры, магнитной восприимчивости можно выполнять только непосредственно в скважине. Такие измерения, кроме того, позволяют существенно сократить отбор керна, что экономически выгодно и удобно.

Например, электрический каротаж состоит в измерении вдоль скважины удельного электрического сопротивления. Теория электрического каротажа была разработана В.А. Фоком, Л.М. Альпиным, А.И. Заборовским и С.Г. Комаровым. Слово "каротаж" кажется многим недостаточно точно отражающим суть дела, поэтому часто используется название "геофизические методы исследования скважин", или "промысловая геофизика".

Установка, применяемая в каротаже, в принципе не отличается от той, которая используется при наземных съемках для изучения удельных сопротивлений, и рассмотрена в разделе об электромагнитных волнах, просвечивающих недра. Но по конструкции выполнена она иначе — размещена в гильзе, предназначенной для спуска в скважину. Аппаратура для измерения напряжения и силы тока находится на поверхности земли (рис. 10).

Удельное электрическое сопротивление при геофизических исследованиях в скважинах измеряется с помощью четырехэлектродной установки. Измерительные электроды находятся около одного питающего и опускаются в скважину вместе с ним. Второй питающий электрод и источник тока расположены на земле. Измеряя силу тока и напряжение, можно определить удельное сопротивление тех горных пород, около которых находятся электроды.

Но вернемся к Кольской сверхглубокой скважине. При ее бурении первые 40 м бурили диаметром 920 мм, затем диаметром 214 мм. Обычно диаметр скважины редко превышает 30 см, а глубина скважины составляет в среднем один или несколько километров (про бурение написано много научно-популярных книжек, частично они приведены в списке литературы). Применение алмазного бурового инструмента значительно уменьшает диаметр скважин. Сегодня бурят скважины диаметром 76 мм, а завтра этот диаметр скважины составит 59 и 46 мм. И вот в этом ограниченном пространстве размещаются разнообразные физические датчики, дающие информацию о свойствах пластов горных пород.

Геофизические наблюдения за температурой Балтийского щита, выполняемые геофизиками, также дали новые результаты. Предполагалось, что геотермический градиент составит  $1^{\circ}\text{C}$  примерно на 100 м. До глубины в 3 км температура росла, как и предполагалось, а дальше она начала резко расти и на глубине 10 км составила  $180^{\circ}\text{C}$ .

Бурение Кольской сверхглубокой скважины производится в районе, где открыты залежи никеля, построен город, который так и называется — Никель. Этот район хорошо изучен геологами и геофизиками. Здесь проводилась аэроэлектроразведка, наземная электроразведка, грави-, маг-



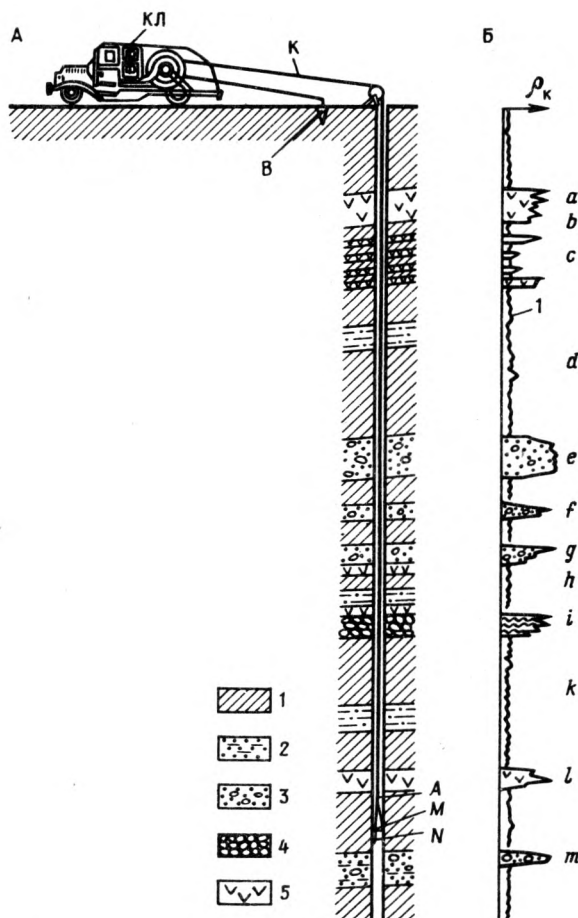


Рис. 10. Схема электрического исследования скважин — каротажа методом кажущегося удельного сопротивления.

А — разрез скважины; Б — диаграмма кажущегося удельного сопротивления; 1 — глины; 2 — пески водоносные; 3 — пески нефтеносные; 4 — песчаники плотные; 5 — гипсы; КЛ — каротажная лаборатория, К — кабель, А, В, М и N — электроды. а—т — выделенные слои пород (по материалам В.Н. Дахнова)

нито- и сейсморазведка. По геофизическим данным пробурено много скважин. Предполагалось, что руда здесь залегает не очень глубоко — глубина сотни метров. Однако при бурении сверхглубокой скважины на глубине 1600—1800 м было встречено никелевое рудное тело, которое в перспективе может стать объектом промышленной добычи никеля.

В ряде лабораторий мира изучают физические свойства образцов, доставленных с Луны советскими космическими аппаратами "Луна" и американским кораблем "Аполлон". Но только в отечественных лабораториях сейчас изучают образцы горных пород, поднятые с глубин более 10 км.

Такие образцы вчера еще были фантазией, а сегодня — реальность, но этим не исчерпываются все возможности изучения недр.

В ближайшем будущем могут появиться новые буровые установки, являющиеся своеобразным батискафом для подземных операций. Такие установки будут оснащены разнообразными геофизическими приборами. Советский изобретатель А.И. Треблев еще перед второй мировой войной сконструировал машину для бурения, названную "механическим кротом". Он, подобно бионикам, наблюдал за кротами во время передвижения в земле. А потом сделал "механического крота" со стальными зубами, который передвигался в грунте со скоростью 10 м/ч. Передав всю геофизическую информацию о физических свойствах, такой геокорабль раскроет секреты устройства Земли. Для такого устройства нужны специальные сплавы, особая технология, более точные приборы.

Читатель может сказать, что все равно это не те проблемы, которые возникают при строительстве ракет. Не спешите с выводами. Другой советский изобретатель М.И. Циферов сделал своего "крота" в виде особо прочной трубы — конуса с соплами, связанными с реактивными двигателями, работающими от пороховых зарядов. Получилась ракета, которая может работать и на жидком топливе. Такой реактивный снаряд сможет проникнуть в породу на глубину 1 км за несколько минут. Запускается в глубины недр — "космос наоборот" — ракета со специальной платформы, имеющей направляющие (выражение "космос наоборот" ввели геологи, подчеркивая большую важность этой проблемы для человека). Ракета, возвращаясь на дозаправку, будет привозить большой объем научной информации. Можно будет увидеть тайны недр на экранах телевизоров. А со временем специально подготовленные геофизики-спелеологи, возможно их назовут "земленавтами" или "недронафтами", расскажут нам об увиденных там красках, электрических разрядах, излучениях и других открытиях. В будущем лучшие умы человечества будут заняты созданием сплава, выдерживающего различные сложные космические условия. Но сегодня уже очевидно, что овладеть "космосом" недр, его неизведанными глубинами не менее сложно, и сюда придут самые способные. Э.А. Новиков в своей книге "Таинственность очевидного" (Л., Недра, 1983), пишет, что задачу создания такой земной ракеты решит содружество ракетчиков-автоматчиков, горняков и физиков-материаловедов. А глубинный каротаж недр обеспечат геофизики.

В зоне Кольской сверхглубокой скважины нужно создать полигон, природную геофизическую лабораторию, в которой будут проводиться постоянные многовековые наблюдения за недрами.

Идея бурения сверхглубоких скважин с научными целями была выдвинута советскими геологами в 30-х гг. В 1961 г. была разработана специальная программа сверхглубокого бурения. Она являлась коллективным творчеством геолога Н.А. Беляевского и геофизика В.В. Федынского, Н.А. Беляевский возглавлял геологическую, а В.В. Федынский — геофизическую службы Министерства геологии СССР. Хорошо зная геофизическую изученность СССР, они предложили пробурить пять сверхглубоких скважин, чтобы встретить осадочный слой и нижнюю границу земной ко-

ры — базальтовый слой. Скважины размещались по всей территории Союза — от Карелии до Курил. Предполагаемые глубины скважин — до 15 км. Скважины должны выяснить поведение вод и водных растворов (включая рудоносные), газовое дыхание планеты — характер и состав поднимающихся газовых эманаций, обеспечить получение уникальных геологических разрезов различных типов, изучение физических свойств горных пород на глубине и уточнить на этой основе представления о базальтовом слое и связанных с ним выявленных по геофизическим данным границах с изменениями скоростей упругих волн на глубинах от нескольких до 70 км, названных границами Конрада и Мохоровичича, и, кроме того, о процессах метаморфизма на глубине, строении области зарождения гранитов, а также должны обеспечить проверку данных геофизической интерпретации. Все это позволит накопить сведения о глубинных процессах и строении земной коры.

В начале 60-х гг. были разработаны рекомендации по бурению скважин глубиной до 15 км. Сначала пробурили Аралсорскую сверхглубокую скважину в Прикаспийской впадине. Ее глубина составила 6806 м. Скважина получила название первой сверхглубокой или сокращенно СГ-1. В этом же районе потом пробурили вторую сверхглубокую скважину Биикжальскую (СГ-2). И вот в 1970 г. приступили к бурению Кольской сверхглубокой скважины СГ-3. Сегодня руководит программой глубинного изучения недр министр геологии СССР Е.А. Козловский. Он возглавляет научный совет по проблеме "Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение". За открытие месторождения олова в Хабаровском крае ему и группе геологов была присуждена Ленинская премия. Одним словом, Евгений Александрович прошел все ступеньки от студента до министра. Вот что он говорит о раскрытии секретов недр на глубине: "Уникальный материал о состоянии и характеристиках вещества земной коры на больших глубинах позволяет более уверенно прогнозировать дальнейшее развитие минерально-сырьевой базы СССР. Техничко-технологические средства и накопленный опыт отечественной школы сверхглубокого бурения являются хорошей основой для дальнейшего повышения эффективности проходки глубоких скважин на нефть, газ и твердые полезные ископаемые. Сверхглубокое бурение в комплексе с аэровысотными космическими, геофизическими, геохимическими исследованиями, поисковыми и разведочными работами на суше и на море обеспечивают ускоренное развитие работ по геологическому изучению территории и увеличению разведанных запасов минерально-сырьевых ресурсов СССР"\*.

Очень высокую оценку получили работы по сверхглубокому бурению на XXVII Международном геологическом конгрессе, проходившем в Москве в 1984 г.

Согласно многолетней программе, будет пробурено около двадцати сверхглубоких скважин на глубину 7—12 км на территории Урала, в Красноярском крае, на территории Украинской ССР, Узбекской ССР, в Запад-

---

\* Коновалов Б. В глубь земли (одиннадцать километров через царство Плутона) — Известия, 1982, 19 февраля, с. 6.

ной Сибири, в Печерской низменности, в Краснодарском крае, в Прикаспийской низменности. В Азербайджане бурится еще одна сверхглубокая скважина — Саатлинская для изучения нефтегазоносности Куринской депрессии. Эта программа затрагивает фактически все районы страны, рассчитана на длительный период и здесь будет много работы для всех. В значительной части скважин, а может быть и во всех в обозримом будущем будут установлены длительные периодические наблюдения за процессами, происходящими в недрах, будут созданы уникальные геофизические обсерватории.

Сверхглубокая скважина СГ-3 внесла поправки в температурный градиент. С поверхности Землю нагревает Солнце, а внутри проявляется собственное тепло Земли. Его давно стали замечать в шахтах, скважинах и горячих источниках вод. Температура — первый физический параметр, исследованный по скважине.

Ученые считают, что в среднем температура поднимается на  $1^{\circ}\text{C}$  через каждые 33 м глубины. Выясняли этот факт долго. В 1744 г. М.В. Ломоносов в своем труде "О вольном движении воздуха, в рудниках примеченном" отметил повышение температуры в рудниках в зависимости от земного и солнечного тепла и высказал соображения о влиянии земного тепла на геологические процессы.

Люди сталкивались и с многолетней мерзлотой, и с горячими источниками в удаленные от нас годы и века. В 1731 г. С.П. Крашенинниковым была измерена температура воды в источниках на Камчатке. В 1768 г. П.С. Паллас, измеряя температуры в нефтяных источниках Поволжья, открыл связь подземного тепла с составом пород и показал тем самым возможность расчленения геологических слоев разреза по данным наблюдений температуры.

Д.В. Голубятников — видный русский геолого-нефтяник — впервые обратил внимание на то, что измерение температуры помогает изучению геологических разрезов скважин из-за различной теплопроводности горных пород. В 1908 г. Д.В. Голубятников провел впервые измерения температуры по скважинам нефтяного района на Апшеронском полуострове. Это позволило узнать температуру геологических слоев, содержащих нефть, пустых слоев и притекающей к забою скважины воды. Проведя измерения в 327 скважинах, Д.В. Голубятников установил, что средняя величина геотермической ступени составляет здесь  $24,8 \text{ м}/^{\circ}\text{C}$ . Вместе с тем были выявлены отклонения от среднего значения до  $16,5 \text{ м}/^{\circ}\text{C}$  в одну сторону и до  $48,3 \text{ м}/^{\circ}\text{C}$  в другую. Д.В. Голубятников связывал эти изменения с притоком вод.

На основании большого числа измерений температуры водоносных и нефтеносных горизонтов Д.В. Голубятников выявил следующую закономерность — температура нефтеносного горизонта при одинаковых условиях всегда ниже температуры водоносных горизонтов. Это открытие — явление из мира неживой природы — получило название "эффект охлаждения". И сейчас им пользуются при определении местоположения нефтяных пластов.

Рис. 11. Ртутный термометр для измерения температуры в скважинах.

1 — термометры; 2 — латунный цилиндр; 3 — гильза;  
4 — пружинные амортизаторы; 5 — фонари; 6 — груз  
(по Д.И. Дьяконову, В.Н. Дахнову)

Измерять температуру можно простым ртутным термометром, опускаемым в скважину в специальной гильзе. На практике широко используются электрические термометры, основанные на измерении зависимости удельного электрического сопротивления медной, железной или никелевой проволоки от температуры. Такой термометр тоже размещают в скважинном снаряде (рис. 11). Учеными составлены карты температур как для всей страны, так и для отдельных ее районов (табл. 4). Но ученые считают, что измерений температуры сделано еще недостаточно. Вместе с тем при бурении скважин, проектировании глубоких карьеров и подземных горных выработок необходимо знание термических характеристик горных пород.

Выявленная особенность использования геотермических исследований скважин сегодня широко применяется для изучения глубинного строения Земли. Однако параллельно встает и другой вопрос — о связи теплового режима и радиоактивности планеты. По данным исследований, вклад составляющей, связанной с радиоактивным распадом, в общий тепловой поток составляет от 60 до 10 % и ниже.

Человечество ищет новые источники топлива. В последнее время большое внимание уделяется так называемым возобновляемым источникам тепла, таким как ветер, солнечная энергия, морские приливы и глубинное

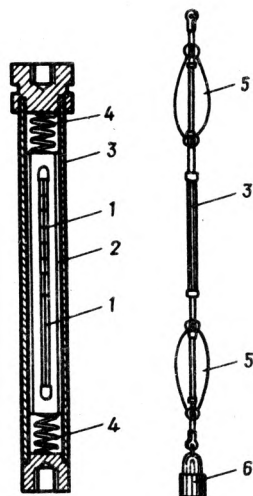


Таблица 4. Средние геотермические ступени  
в отдельных районах СССР (по И.М. Дворову)

Район	Геотермическая ступень, $м/^{\circ}C$	Район	Геотермическая ступень, $м/^{\circ}C$
Северный Кавказ (Грозненский район)	12,0	Украина, западная часть	42,2
Дагестан	21,4	Нижнее Поволжье	49,5
Западное Предкавказье (Майкопский район)	25,1	Карагандинский бассейн	62,0
Апшеронский полуостров	27,4	Самарская Лука	64,3
Западное Предкавказье	31,6	Башкирская АССР	82,6
Донбасс	32,2	Белорусская ССР	86,5
Эмба	33,3	Камское Приуралье	88,2
		Балтийский щит	92,5
		Кривой Рог	112,5

тепло Земли. Некоторые ученые считают, что овладение солнечной энергией и глубинным теплом Земли — проблемы, не уступающие по значению управляемой термоядерной реакции.

Изучение геотермических режимов в различных районах земной коры используется для геолого-геофизического обоснования выделяемых тепловых зон — термальных месторождений, которые представляют интерес для использования тепла Земли при теплофикации и выработке электроэнергии. В ряде мест созданы геотермальные системы коммунального теплоснабжения. В таких городах не будет сажи и копоти, в домах, оранжереях, бассейнах используется термальная вода. В различных районах нашей страны имеются месторождения термальных вод. Их ищут и изучают с помощью геофизики.

Особенно актуальна эта проблема для Северо-Востока нашей страны. В этом регионе имеются месторождения алмазов, золота, олова, вольфрама. Но здесь холодный, суровый климат с коротким летом. Доставлять сюда топливо дорого. Поэтому на Северо-Востоке нужно искать как можно больше источников тепла. И они уже есть. На Чукотке известно 13 источников с температурой воды до  $90^{\circ}\text{C}$ .

Сибирский геолог, ученый и поэт П. Драверт описал такой источник в стихах:

Близ Ледовитого седого океана  
В Колымском крае есть горячие ключи.  
Зимой красуется над ними шлем тумана,  
А выше — сполохов чеканятся мечи.  
Но, в почве ледяной дорогу пролагая,  
По-прежнему, ключи, как в летний день, бурлят  
И, влажной теплотой снега уничтожая,  
Потоки вод живых в расселинах струят.

В этих краях геофизиками ведется большая работа по поиску и изучению термальных вод. Особенно велико будет значение термальных вод по мере уменьшения запасов нефти, газа и угля. Сегодня запасы энергии термальных вод оцениваются по скважинам глубиной в несколько километров. Развитие сверхглубокого бурения на глубины до 10–15 км откроет новые перспективы по увеличению запасов источников тепла, так как на таких глубинах температура повышается до  $200\text{--}350^{\circ}\text{C}$ .

Геологи и геофизики считают, что на глубине 50 км температура может достигнуть  $1500^{\circ}\text{C}$ , поэтому там все породы и минералы расплавлены. А если это так, то запасы энергии станут еще больше. Вот почему так важно сверхглубокое бурение и геофизическое изучение скважин.

А сколько можно взять тепла от Земли? Ученые приблизительно подсчитали, что если взять 1 % тепла, то ничего не изменится в процессах Земли, а если взять 5 или 10 % — сегодня это неизвестно. Но завтра ученые ответят и на этот вопрос. А сколько можно взять руды с поверхности и из глубины Земли? Ведь Земля — это наш космический дом. Не нарушим ли мы его "заклепки" и "опорные рамы", вынув весь металл в виде руды из Земли? Может быть брать можно только часть? Какую? Это тоже вопросы, на которые ученым-геофизикам предстоит ответить. А чтобы отвечать



на них, необходимо изучать пространство между скважинами геофизическими методами.

Вся территория СССР будет пересечена профилями для глубинного изучения строения Земли. На этих профилях в первую очередь будут проводиться измерения магнитных и электрических полей, а также сейсморазведка и гравиметрия. Все это позволит в конце концов узнать, как устроена наша планета и как она функционирует, а отсюда станет ясным, как ее лучше эксплуатировать.

Перед выбором места для Кольской сверхглубокой скважины (как говорят геологи, перед ее "закладкой") в районе были проведены региональные геофизические исследования. По данным, полученным на сейсморазведочном профиле, оказалось, что одна из глубинных границ земной коры должна находиться на глубине 7 км. Там должно быть резкое изменение упругих свойств, которое можно интерпретировать как нижнюю границу земной коры, переход к мантии. Но такой границы сверхглубокая скважина не встретила. Приборы работали надежно. В чем же дело? — В секретах распространения сейсмических волн или новых свойствах глубин недр? Наука ждет ответа.

И еще раз подчеркнем: мы получаем сейчас сведения об удаленных от нас планетах Луне, Марсе, Венере, Юпитере... Мы заглядываем в глубь атома, но о Земле — планете, на которой человечество живет и по которой ходит, знаем очень немного.



## ГЕОФИЗИКА- «ВСЕВИДЯЩИЙ ГЛАЗ» АРХЕОЛОГИИ

Золото Нинской дамбы:

Гончарные печи притягивают магнитную стрелку

Электроразведчики составляют карту древнеримской виллы до раскопок

Эхолоты рисуют планы затопленных городов

Археологические объекты различных районов страны ждут геофизиков

Немецкий археолог Г. Шлиман поверил в легенду и, используя описания, прочитанные в Илиаде, нашел руины Трои.

Если за дату рождения современной археологической разведки принять 1870 г. — начало раскопок Шлимана, то оба вида разведок (геофизическая и археологическая) оказываются почти современниками. В геофизической и археологической разведках есть много общих задач. Прежде всего, они ставят перед собой сходные цели поиска объектов в недрах Земли. Правда, если перед геофизикой в основном стоит задача поисков месторождений полезных ископаемых, залегающих обычно на больших глубинах и имеющих значительные размеры, то археологическая разведка направлена на обнаружение памятников минувших веков, которые расположены на небольшой глубине и очень малы.

Основным и, пожалуй, решающим преимуществом, благодаря которому геофизические методы завоевывают все большее и большее признание и начинают применяться при поисках археологических объектов, является то, что они позволяют выявлять различные погребенные сооружения, не нарушая поверхностного слоя почвы и самого объекта поисков. Применение геофизических методов в несколько раз сокращает объем земляных работ, а следовательно, снижает стоимость археологической разведки.

Вторым существенным преимуществом геофизических методов разведки является глубинность. Практически при решении археологических задач геофизическими методами глубина исследований не ограничивает исследователя. В ряде случаев археолог может сам задавать глубину поиска, что приобретает чрезвычайно важное значение при разработанном советскими археологами послойном методе изучения археологических памятников. С помощью геофизических методов можно вести обследование значительных площадей в сжатые сроки и с достаточной степенью надежности.

В древних летописях были найдены сведения о том, что летом 1216 г. английский король Иоанн Безземельный отправил королевскую казну из замка Кингс Линн в столицу Англии Йорк. Последний раз обзор с коро-

левскими сокровищами видели на берегу залива Уош, но больше его уже никто не видал... Обоз исчез. Остались только списки того, что хранилось в королевской казне, да время от времени на берегу находили золотые монеты старинной чеканки. Эта легенда о пропавших сокровищах дошла до наших дней, и в 1906 г. на основании изучения исторических материалов было сделано предположение, что обоз был затоплен большой приливной волной во время передвижения по дороге — древней дамбе через долину реки Нин. Прежде чем искать пропавшие сокровища, следовало найти дамбу, которую за столетия занесло песком. На месте залива появились поселки, сады и огороды. Где проходила древняя дамба, можно было только предполагать, но для поисков сокровищ это следовало знать точно.

В 50-х гг. нашего столетия за проверку высказанной гипотезы взялись геофизики. Были применены приборы для измерения среднего удельного сопротивления почвы при протекании электрического тока. Эти приборы аналогичны тем, которые используются в геологии при поисках месторождений полезных ископаемых (см. разд. "Как электромагнитные волны просвечивают Землю"). Сквозь почву, которая, естественно, непрозрачна, с помощью таких приборов можно "видеть" то, что находится в недрах, и до начала раскопок составить план этого объекта, в нашем случае — дамбы. А потому около нее можно начать поиски сокровищ. Геофизики считали, что глиняная дамба, по которой передвигался обоз с сокровищами, должна быть более электропроводной, чем пески, засыпавшие дамбу. Для проверки гипотезы в лаборатории провели модельные работы. Из алюминиевой фольги сделали модель дамбы, а налитая сверху подсоленная вода играла роль влажного песка. Измерения на модели показали, что дамбу можно найти. После этого была снаряжена экспедиция в долину реки Нин. Здесь были проведены измерения электрических свойств почв и глины. Результаты оказались интересными: узкая полоса пониженных сопротивлений действительно пересекает долину. Может быть это дамба? Однако полоса проходит не там, где предполагалось. Для проверки данных геофизиков пробурили несколько скважин. В грунте, поднятом из скважины на поверхность, удалось обнаружить обломки эмали, железных предметов, крупинки золота, серебряные нити. Ученые задумались, не следы ли это древней тайны — потерянного семьсот лет назад обоза с сокровищами? Проверка еще не завершена.

Первые работы в СССР по применению геофизики в археологии были проведены на неолитической стоянке Вьюн под Ленинградом. Как показали археологи, тысячи лет тому назад наши древние предки приходили сюда охотиться из района Валдая. Сейчас от древней жизни остался лишь культурный слой, содержащий обломки керамики, камней и углей кострищ. Культурный слой перекрыт слоем почвы. Границы его распространения нужно было определить. С этой целью применили геофизические приборы, в частности магнитометр, измеряющий напряженность магнитного поля Земли.

Известно, что керамика магнитна вследствие содержания в глине, из которой она изготовлена, магнитного минерала магнетита, поэтому к

керамике, даже находящейся под землей, притягивается стрелка магнитометра. Наблюдая отклонения магнитной стрелки, можно определить контур слоя с керамикой. Так были обнаружены границы стоянки неолитического времени.

Около города Шепетовки имеются руины города Изяславля, сожженного при татарском нашествии. Археологи изучили часть города, ограниченную городским валом. Но им не удалось найти ремесленный пригород, так как на поверхности земли никаких видимых следов его не было обнаружено. Тогда применили магнитометры, с помощью которых удалось обнаружить древние гончарные печи.

Около Одессы находятся развалины города Ольвии, где также давно трудятся археологи. Однако часть развалин города затоплена и находится на дне Черного моря в прибрежной части. Здесь применили акустические методы разведки. Прибор, похожий на эхолот, был установлен на судне, которое проплывало над затопленной частью города по параллельным маршрутам. При этом регистрирующими приборами записывались мельчайшие неровности дна. На отдельных маршрутах вырисовывались выступы, свидетельствующие о наличии стен, улиц. Сопоставляя диаграммы по параллельным маршрутам, удалось выяснить план затопленной части города. Стало ясно, куда нужно посылать аквалангистов для подводных исследований.

В Белоруссии археологи исследуют древние шахты наших далеких предков, где первые горняки в толще мела добывали кремни для своих орудий труда. Здесь с помощью измерения удельного сопротивления пород удалось отметить засыпанные почвой входы в шахты.

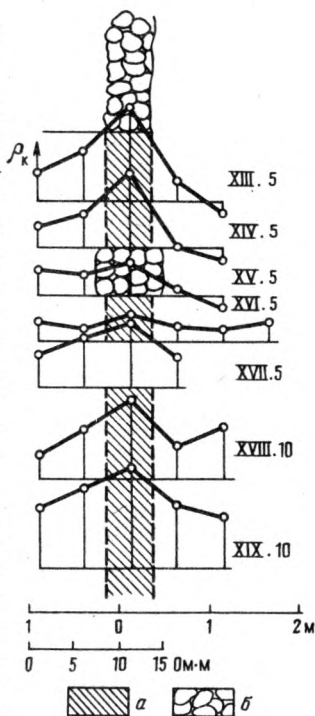
В северо-западном Крыму, недалеко от древнегреческого города Калос-Лиммена, Херсонский музей проводил раскопки античной виллы. Сотрудники Ленинградского отделения Института археологии провели там съемку с электроразведочным прибором. В результате еще до раскопок удалось воспроизвести план здания, обозначить на плане комнаты и даже дверные проемы по повышенным значениям удельного сопротивления. После этого на местности с учетом плана были вбиты колышки и вдоль предполагаемых стен натянуты веревки. Когда начали копать, то к удивлению собравшихся веревки оказались точно над стенами комнат (рис. 12).

В Крыму, на окраине Севастополя, находятся руины одного из древнейших и крупнейших городов на юге нашей страны — античного Херсонеса. В окрестностях древнего города известно несколько обширных античных и раннесредневековых некрополей. Захоронения совершались в склепах, вырубленных в коренных слоистых известняках. Сейчас эти склепы с поверхности совсем не видны. "Увидеть" их удалось лишь после семи лет совместной работы исследовательских коллективов кафедры геофизики МГУ и Ленинградского горного института. В ходе поиска были испытаны различные геофизические методы.

В рыхлой породе нашими предками вырубалась камера склепа, а плотные известняки служили полом и кровлей, обеспечивая долговечность сооружения. Этот плотный известняк кровли, плохо пропускающий элект-

Рис. 12. Графики кажущегося удельного электрического сопротивления над стеной раскапываемой античной виллы.

Римские цифры — номера профилей, арабские — разности  $AB$  в м;  $a$  — положение стены, околонтуренной по графикам  $\rho_k$ ;  $b$  — вскрытая шурфом часть стены



рический ток, и был долгое время препятствием, о которое разбивались попытки найти склепы методами электроразведки. Было опробовано много различных вариантов разведки. Остановились на так называемом методе вычитания полей, позволяющем частично нейтрализовать влияние верхнего, непроводящего слоя.

Данные электроразведки удалось подтвердить результатами сейсморазведки — "просвечивания" толщи известняков звуковыми волнами.

Безусловно, геофизическое картирование археологических памятников — это важнейшая задача археологической геофизики, но ее возможности этим не исчерпываются. Не меньшую информацию можно получить, скажем, изучая с помощью геофизики археологический объект в его вертикальном разрезе. Для этого служит метод вертикального электрического зондирования.

Территория Восточной Европы буквально усеяна городищами — укрепленными поселениями разных времен, сохранившимися до наших дней мощные оборонительные сооружения — валы и рвы. Изучение этих укреплений важно для изучения фортификационного искусства в различные исторические периоды, реконструкции первоначального вида укреплений, выяснения их сохранности и т. д. Однако раскопки таких гигантских сооружений — дело трудоемкое, медленное и дорогостоящее. Городище Луковка, возникшее в середине первого тысячелетия нашей эры, существовало до XIII в. В задачу исследования входило выяснение структуры валов городища и их первоначальной конфигурации. Расшифровка результатов измерений показала, что конструкции северной и южной систем укреплений городища различны. Оказалось разным и время их возведения. Северная система в том виде, в каком она дошла до нас, была сооружена тогда, когда на городище уже существовал культурный слой, скорее всего — эпохи Древней Руси.

Металл около поверхности земли можно обнаружить миноискателем. Верхний слой почвы часто бывает заражен металлом, не имеющим исторического значения: следы войны, современной хозяйственной деятельности человека. Кусочки металла мешают археологам. С помощью миноискателя можно быстро найти и убрать эти обломки. Но возможности археологической геофизики использованы далеко не полностью.

В Приморье имеется много следов жизни древних людей. В частности, здесь можно обнаружить поселения с большим количеством керамики. Остатки кирпичных дымоходов в домах наших далеких предков можно искать с помощью магниторазведки. Обожженные кирпичи по своим магнитным свойствам близки к керамике, о которой уже был разговор. В ряде случаев, например на Шайгинском городище в Партизанском районе, встречены железоплавильные печи — это тоже объект поисков, где можно применить магнитометр.

В краеведческом музее г. Ивано-Франковска представлены памятники старины, найденные археологами. В витринах лежат обработанные временем предметы, которыми когда-то пользовались наши предки, — серпы и кирки из железа, найденные в Сарматском могильнике в с. Островец, керамика из трипольского поселения, обнаруженная около с. Независько, и другие предметы раскопок в с. Поточище, Городенко и др. Во время таких раскопок труд археологов можно облегчить, используя геофизические приборы. В краеведческом музее г. Сухуми экспонируется много старинных бронзовых предметов. Это клад бронзовых топоров, найденных на Сухумской горе, бронзовые слитки, предметы из погребений эпохи бронзы. Бронзовые предметы хорошо проводят электрический ток и их можно искать с помощью электроразведки.

Где-то на дне Сухумского залива находится затопленная часть древнего города под названием Диоскуриада. Найти затопленный город очень важно для археологов. При поисках его большую роль могут сыграть эхолоты.

В Пицунде есть храм, сооруженный в X—XI вв. и относящийся к интереснейшим памятникам средневекового зодчества. Сейчас там исторический музей. Но не все знают, что недалеко от храма находилось древнеримское поселение. Часть его выявлена раскопками. Эти раскопки открыли небольшую крепость — остатки крепостной стены и башен, древний храм, бани, водопровод. Другая часть поселения, невидимая с поверхности, выявлена электроразведкой. Закартированы остатки стен древнего поселения. Эти работы проведены сотрудниками Института истории, археологии и этнографии им. И.А. Джавахишвили АН Грузинской ССР.

Около Бзыбской крепости по дороге на озеро Рица находится сторожевая башня. Существует легенда, согласно которой от этой башни идет подземный ход. Найти его можно с помощью геофизики — электрических и магнитных методов. От старинных крепостей или храмов очень часто подземные проходы вели к водоемам или пещерам. Искать эти подземные пустоты-ходы можно так же, как, например, искали древние шахты в толще мела.

В г. Гагра есть музей старинного оружия, найденного при раскопках на территории Абхазии. Там представлено оружие разных времен. Это наконечники для стрел, шары для пращей каменного века, боевые топоры, шлемы, кинжалы эпохи поздней бронзы; оружие из железа — щиты, шлемы и кольчуги. С интересом смотрится этот небольшой, но со вкусом оформленный музей. А сколько еще таится в земле металлические бронзы хорошо проводят электрический ток и их можно найти с помощью



электроразведки; мечи и кольчуги магнитны и для их поисков можно применять магниторазведку.

В Краеведческом музее г. Сочи экспонируются предметы, найденные при археологических раскопках. Из сарматских погребений демонстрируется большой сосуд пифос для хранения зерна и вина. Он из керамики и мог быть найден с помощью магниторазведки. На стендах музея размещены слитки меди и бронзы, свинцовые грузила, бронзовые браслеты и топоры. Эти металлические предметы, найденные в районе г. Сочи, можно было искать с помощью электроразведки.

Много археологических экспонатов, отражающих жизнь в Геленджикской бухте, выставлено в Краеведческом музее г. Геленджика. Интенсивное современное строительство в районе Геленджика требует проверки археологами всех строительных площадок. Это необходимо для того, чтобы случайно строители не повредили ценные археологические объекты. Очень много работы у археологов Геленджикского краеведческого музея. И, конечно, им должна помочь геофизика. Стоянки неолитического человека на побережье Геленджикской бухты, курганы на Толстом мысе, древнегреческие колонны — это богатые объекты для геофизики. Возможно, в геофизических организациях найдутся энтузиасты, которые помогут археологам приоткрыть здесь тайны веков. Может быть, и Вы станете таким энтузиастом? Ведь во многих районах нашей страны ведутся поиски древних и старинных объектов.

Итак, в раскрытии тайн прошлого все большая роль отводится геофизическим методам исследований, и если геофизики, археологи и краеведы станут теснее сотрудничать, дело от этого только выиграет. Такой институт, как Ленинградский горный им. Г.В. Плеханова, уже готовит инженеров-геофизиков с археологическим уклоном.



## ГЕОФИЗИКА ПОМОГАЕТ ПОИСКАМ ВОДЫ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

Про камни, с виду не проводящие электрический ток, и фундаменты Многолетняя мерзлота может испортить трубопровод  
Электричество помогает увидеть в земле воду  
Известняк + вода = карст

Нефтяной или газовый трубопровод, железнодорожную насыпь, гидроэлектростанцию и даже дом не всегда можно построить без геофизики.

... Скалы и между ними река. Здесь нужно построить плотину и здание для электростанции, в котором будут стоять турбины. Для таких больших и тяжелых сооружений нужен очень крепкий фундамент. А если стройка идет в горах, то лучше всего для фундамента использовать прочные скалы.

Оказывается, что скала скале рознь. С виду прочные и крепкие камни могут иметь пустоты, ослабленные зоны. Даже если нарушения сплошности горной породы и не заметны на глаз, они, безусловно, влияют на ее физические свойства. В первую очередь изменяется удельное электрическое сопротивление: от 5000 до 50000 Ом·м для образцов без трещин, и от 5000 до 100 Ом·м при наличии обводненных трещин. Маленькие полости пропитываются водой, а она снижает удельное сопротивление всего образца (все горные породы в естественных условиях пропитаны влагой в большей или меньшей степени). Поэтому там, где планируется строительство крупных сооружений, например гидроэлектростанций, нужно проводить электроразведку. Ее результаты по изучению удельного сопротивления горных пород непосредственно в естественном залегании помогут найти участки нарушенных ослабленных пород, где нельзя ни возводить плотины, ни строить здания.

Очень опасны породы с включениями графита. Однажды на таких породах без проверки поставили тяжелый фундамент. Под действием его давления на породы по графитовым чешуйкам "заскользили" одни части основания относительно других. А за ними стали перемещаться и блоки фундамента. Графит действовал в данном случае как смазка. Построенный дом стал двигаться и дал трещины. Но так было раньше. Сейчас на крупных стройках работают геофизики и выявленные участки ослабленных горных пород проверяют бурением скважин или шурфами. В случае необходимости переносят сооружение в новое место либо принимают специальные меры для укрепления фундамента.

Строится железная дорога. Рельсы укладываются на насыпь. Железнодорожные пути подходят к станции. На станции должна быть вода. Для

насыпи нужен песок и щебень — строительные материалы. Все это должны найти геологи и геофизики. Эти объекты — вода и песок — обладают различным удельным электрическим сопротивлением. Вода имеет невысокое удельное сопротивление, приблизительно 150 Ом·м, сухие песчаные блоки — более высокое, до тысяч Ом-метров. Поэтому, измеряя удельное сопротивление горных пород в районе стройки, можно вести поиск песчаных зон и обводненных участков. Площади, где выявлено высокое удельное сопротивление можно интерпретировать как места предполагаемых скоплений уплотненного песка. На участках с аномалиями пониженного удельного сопротивления предполагается наличие обводненных зон. Полученные данные передаются для дальнейшей проверки геологам и буровикам. Сюда привозят буровые установки, но бурят только в пределах выявленных геофизиками зон, что резко сокращает расходы.

... Сибирь. Мороз. Участок с многолетней мерзлотой. Красные вагончики строителей и звездочки аппаратов сварщиков. Здесь в сжатые сроки строится трубопровод. Но что будет летом? Оттаят замерзшие болота и участки многолетней мерзлоты, поэтому трубопровод может просесть: провалятся в оттаявший грунт опоры, а за ними начнут изгибаться и ломаться трубы. И здесь тоже нельзя обойтись без геофизиков. С помощью приборов выбирают наиболее прочные, не оттаивающие летом участки. Для них характерны высокие удельные сопротивления, которые связаны со льдом.

На трассах нефте- и газопровода и на других строительных площадках выявляют локальные талые зоны (талики) на фоне больших массивов мерзлых пород. Делают это с помощью электроразведочных методов зондирования и профилирования (рис. 13). Зоны повышенных значений удельного сопротивления свидетельствуют о наличии в земле мерзлых пород. Ведь если построить дом прямо на талике, который летом растает, работа строителей пропадет — дом рухнет. Перед строительством также очень важно выявить трещиноватые зоны — и здесь электроразведка играет большую роль. Особенно эффективны здесь методы бесконтактной электроразведки, так как электроды в условиях замерзшего грунта довольно трудно устанавливать. А всего в нашей стране 47 % территории относится к зоне многолетней мерзлоты.

... Вот трубопровод построен. Сразу же под действием различных физико-химических факторов он начинает подвергаться коррозии. Трубопровод сооружен из металла и имеет низкое удельное сопротивление. Поэтому в него стекаются все токи, тем или иным путем попавшие в почву за счет утечек от высоковольтных линий, электрифицированных железных дорог и т. д. По трубопроводу токи текут до участка, где окружающие грунты имеют очень низкое удельное сопротивление, и там вытекают в землю, унося с собой ионы металла. Так происходит электрохимическое разрушение металлического трубопровода. Поэтому трубопровод надо прокладывать там, где нет участков грунта, активных в коррозионном отношении. А как видно из действующих норм, такие участки почв характеризуются высоким удельным сопротивлением.

В нашей стране имеется ряд районов, где широко развиты оползни.

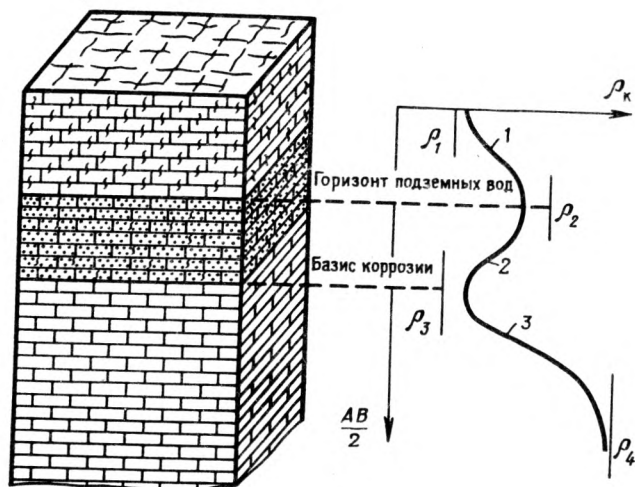


Рис. 13. Типичная кривая ВЭЗ на участке сильно трещиноватых карбонатных пород (по А.А. Огильви).

1 — повышение удельных сопротивлений в связи с уменьшением выветрелости пород; 2 — понижение удельных сопротивлений под влиянием грунтовых вод; 3 — повышение удельных сопротивлений, обусловленное влиянием плотных неразрушенных пород

В первую очередь к ним относятся Поволжье и Крым. Расположенные на правом берегу Волги города Горький, Саратов, Ульяновск и другие систематически страдают от оползней, и там ведутся противооползневые работы. Электроразведка находит применение и при изучении оползней. В комплексе с высокоточной магниторазведкой и микросейсморазведкой можно закартировать оползни — определить направление и скорость их перемещения, а также исследовать ложе, по которому движется оползень.

Очень часто объектом поиска являются грунтовые воды в виде подземных потоков или линз пресной воды. Вода обладает пониженным удельным сопротивлением, что позволяет искать ее с помощью электроразведки, например методом вертикальных электрических зондирований. В пустынях поиски воды можно вести электроразведкой с аппаратурой, установленной на самолете — пики на диаграммных лентах укажут на наличие воды в песках. Артезианские, трещинные, тектонические и карстовые воды можно искать с применением электроразведки.

Не только поиск, но и изучение движения подземных вод доступно геофизике. Для этого воду искусственно подсаживают, при этом изменяется в сторону понижения удельное сопротивление водного горизонта. Задача состоит в прослеживании зоны пониженного удельного сопротивления — горизонта подсолненной воды. Засолонение воды производится через скважину.

... Вода замерзла. Ее удельное сопротивление резко возросло. Поэтому увеличилось удельное сопротивление горных пород, содержащих влагу. Так, если песчаники с природной влагой имеют удельное сопротивление 200—400 Ом·м, то в мерзлом состоянии их удельное сопротивление возрастает более чем в 10 раз и составляет 3000—5000 Ом·м.

Способы поиска и разведки подземных вод изложены в вышедшей в 1979 г. в издательстве "Недра" интересной книге А.К. Ларионова "Занимательная гидрогеология". Автор уделяет внимание и геофизике, говоря об электроразведке методом ВЭЗ и профилировании, а также о сейсмо-разведке.

Широко применяется сегодня для поисков воды метод радиоэлектромагнитного профилирования. Он разработан советскими учеными А.Г. Тарховым, Э.С. Седельниковым, А.В. Вешевым. Электропроводный слой воды отражает радиоволны. Поэтому на поверхности земли оператор с прибором наблюдает аномальные отсчеты ЭДС, пропорциональной напряженности поля радиоволн. В месте аномальных отсчетов можно встретить воду.

На 40 % территории Советского Союза развиты карбонатные породы. Они растворимы и поэтому под действием вод происходит их разрушение с образованием различного рода плоскостей, пещер и трещин. Вследствие этого закарстованные горные породы обладают уже другими физическими свойствами, это обстоятельство нужно учитывать как в инженерной геологии, так и при разведке месторождений полезных ископаемых.

Карстовые пещеры часто встречаются в СССР в Крыму, на Кавказе, на Алтае и в Приуралье. От просачивания поверхностных вод в пещерах появляются натечные формы — сталагмиты (от пола) и сталактиты (от потолка). Карстовые пещеры имеют очень сложные формы с ветвящимися галереями. На дне галерей могут быть озера. При гидротехническом строительстве карстовые полости могут стать путями утечки вод из водохранилища или создать путь для водных потоков в обход плотины. В случае работы на шахтах карстовые нарушения препятствуют проходке шахт или могут быть каналом, по которому происходит приток воды в шахту вплоть до ее затопления. Так, в Кизеловском и ряде других районов, где добывают каменный уголь, некоторые перспективные месторождения не разрабатывают только потому, что нет возможности остановить подток воды через карстовые полости в горные выработки.

При изучении карста можно применять различные геофизические методы. Комплексное исследование будет наиболее полным. Однако самые эффективные результаты можно ожидать от электроразведки: трещины, полости и вода обуславливают резкое изменение электрических свойств закарстованных районов.

Практически все методы геофизической разведки находят применение в инженерной геологии. Так, радиоактивный каротаж используется при расчленении глинистых пород: на диаграммах гамма-каротажа против пластов, сложенных глинами, наблюдаются повышенные значения гамма-излучения.

Чтобы изучить основание для закладки фундамента здания, нужно обследовать совсем небольшие глубины. В этом случае используют переносные сейсмостанции. Аппаратура такой сейсмостанции может быть установлена в чемодане. Источник упругой волны — кувалда, которой ударяют по земле. В самой простой переносной сейсмостанции — один канал и поэтому один сейсмоприемник. Такая сейсмостанция позволяет выявлять наличие скального основания под песками, рассортировывать грунты, обследовать трассы для прокладки трубопроводов и даже искать археологические объекты на глубинах до десятков метров. Оператор смотрит на экран прибора и считывает с него скорость распространения упругой волны, вызванной ударом, — показатель, характеризующий геологическую среду. Переходя с точки на точку, оператор изучает профиль и получает представление о геологической среде на исследуемом участке.

Трещиноватость горных пород, поверхностные песчаные слои, карст, водоупорные и водопроницаемые горизонты, оползни, ледники — это краткий перечень объектов, изучаемых геофизическими методами. И сегодня во многих организациях, занятых строительством электростанций, водопроводов, железных дорог, заводских корпусов, в гидрогеологических и инженерно-геологических экспедициях работают геофизики.

Начатые в 20-х и 30-х гг. нашего столетия А.С. Семеновым и Л.Я. Несеровым инженерные применения геофизики сейчас превратились в самостоятельную ветвь геофизических исследований. Сегодня это направление развивают А.А. Огильви и В.К. Хмелевской и другие видные геофизики.



## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ



Органы чувств животных  
и геофизические приборы  
Рыбы, собаки, овцы  
и муравьи предчувствуют землетрясения  
"Геологические" собаки ищут руду  
Бионика — один из элементов  
геофизики будущего  
Возможные причины биогеофизического  
эффекта и перспективы его  
использования

Геофизики все время ищут принципы создания новых приборов для поиска полезных ископаемых. Одним из путей научного поиска технических решений является изучение особенностей строения живых организмов. Это направление называется бионическим. Применительно к будущим методам геофизики, рассмотрим возможные решения, подсказываемые живыми организмами.

На живые организмы действуют все исследуемые в геофизике поля — магнитные, электрические, гравитационные, сейсмические и др. Кроме того, имеются живые системы, сами создающие электромагнитные и акустические поля, а также реагирующие на запахи. В природе у живых систем имеются аналоги почти всех устройств, которые используются геофизиками.

Эхолокационные системы летучих мышей выдерживают сравнение с изготовленными человеком радио- и эхолотами. Тропические рыбы имеют органы, которые аналогичны по функции устройствам, применяемым в электроразведке. У гремучих змей есть орган, который чувствует ничтожно малые изменения температуры. Медузы ощущают инфранизочастотные звуковые колебания, связанные с приближением шторма. Это чудесные органы и их сравнение с геофизическими приборами сделано в нашей книге "Геология и живая природа".

Известно также, что некоторые насекомые имеют органы, позволяющие им реагировать на очень слабые механические колебания и малые перемещения среды — до миллиардных долей сантиметра. К таким насекомым относятся водяные жуки; пауки чувствуют малые вибрации паутины. У змей поверхность кожи играет роль мембраны, тоже очень чувствительной к колебаниям. Эти устройства не уступают сейсмографам и могут подсказать варианты конструкций новых приборов.

У живых систем имеются органы, позволяющие делать физико-химический анализ весьма небольших концентраций веществ. Некоторые рыбы очень чувствительны к запахам и способны реагировать на пахучее

вещество при слабой концентрации. В будущем органы чувств некоторых живых систем — биологические детекторы — могут послужить прообразами новых технических датчиков.

Вот рассказ, относящийся к 323 г. до н. э.: "За несколько дней до землетрясения, разрушившего город Геликос (Греция), кроты, ласки, ехидны и сороконожки вышли из своих норок, обратившись в беспорядочное бегство". Эта запись в античном источнике привлекает сегодня внимание ученых.

Одним из первых ученых, обратившим внимание на странное поведение животных перед землетрясением в г. Верный (ныне Алма-Ата), был наш соотечественник И.В. Мушкетов. По современным данным А.А. Никонова, изучившего много источников отечественной литературы, с 1972 г. до сегодняшнего дня отмечено по крайней мере 25 землетрясений, перед которыми наблюдалось поведение животных, отклоняющееся от нормального. Поэтому важную роль в прогнозировании землетрясений могут сыграть наблюдения за поведением живых существ. Известны случаи, когда пастухи за некоторое время до начала землетрясения наблюдали казавшееся им странным поведение животных. Поведение овцы даже описано в стихотворении:

На рассвете с прутом и свирелью  
Я на пастбище стадо повел:  
Луч еще только крался к ущелью,  
И резвились ягнята у ног,  
Но почуяли овцы несчастье,  
Застучали копытами вдрут,  
Уши чуткие насторожили —  
Покачнулись тропинка и луг . . .

Это из цикла стихов "Раненая Черногория", написанного сербским поэтом Иоле Станишичем, на которого произвело большое впечатление землетрясение 15 апреля 1979 г. в Черногории.

С точки зрения биологии, наблюдаемое поведение животных является реакцией на некоторые еще неизвестный источник беспокойства, который как-то ощущается ими. К сожалению, этот вопрос совсем не изучен наукой. Для того чтобы восполнить имеющийся пробел, в нашей стране создан специальный биосейсмологический полигон. Для него около г. Алма-Ата выделен участок площадью 30 га, который заселяется животными, предположительно чувствующими приближение землетрясения. Всего известно около 70 видов животных, которые, по-видимому, могут быть использованы для прогнозирования землетрясений. Среди них сурок: при одном из землетрясений в Казахстане (1978 г.) сурки вышли на поверхность за 12 ч до начала землетрясений, что заметили пастухи. В числе пресмыкающихся — змеи: на юге Казахстана в Чимкентской области зимой видели замерзающих ползающих по асфальту змей; в эти же дни наблюдались сильные подземные толчки в Ташкенте. Могут чувствовать приближение землетрясений лошади, коровы, овцы, свиньи, собаки, кошки, крысы и мыши. Имеются сведения о том, что якобы за 1,5 ч до Ашхабадского землетрясения муравьи покинули муравейник.

Руководитель работ на указанном полигоне — зоолог проф. П.И. Мариковский обобщил накопленные в этой области сведения в книге, выпущенной в 1984 г. Он рассказывает, что уже давно известно о криках фазанов, вое собак и о рыбах, выбрасывающихся на берег перед землетрясением. Но раньше ученые не обращали на это серьезного внимания. Теперь, как мы видим, поведение животных перед землетрясением стало предметом научного исследования.

Имеется ряд гипотез об изменениях физических полей из-за процессов, происходящих в Земле перед землетрясением и влияющих на живые организмы. К числу таких полей относится и электромагнитное. Аномалии электромагнитного поля возникают за сутки, часы и минуты до начала землетрясения и распространяются на значительные площади.

Из биофизических исследований известно, что сильным действием на млекопитающих обладают естественные электромагнитные поля в диапазоне 0,01–20 Гц. Этот диапазон частот совпадает с биоритмами мозга, следовательно, даже слабые естественные электромагнитные поля могут обладать заметным действием, что и обнаружено биологами. Поэтому изменения электромагнитных полей, опережающие землетрясения, звуки, включая инфра- и ультразвуки, электростатические явления, выделения газов и другие физико-химические явления могут быть причиной реакции животных.

Ученые изучают биологическую активность организмов в связи с метеорологическими процессами. Имеется много примет, которые отражают накопленные народом сведения о связи между самочувствием человека или животных и погодой.

Возникает вопрос: нельзя ли использовать для предсказания землетрясений людей, например гипертоников, чувствительных к изменениям окружающей среды. Нужно отметить, что ученые давно занимаются изучением вопроса передачи информации из внешней среды в живые организмы. В процессе развития последние все время приспосабливались к внешним условиям. Отклонения характеристик внешних процессов от нормы, особенно влияющие на жизнь организмов, связанные не только с землетрясениями, но и с тайфунами, ливнями, магнитными бурями, могут вызвать защитные реакции. Такие реакции иногда можно использовать для прогнозирования природных явлений.

Сейчас ведется большая разъяснительная работа среди населения, живущего в сейсмоактивных районах. Внимание людей обращается на необходимость наблюдения за животными, особенно в случае их необычного поведения. Такие сведения рекомендуется сообщать в научные центры, где ученые обрабатывают все материалы для прогнозирования землетрясений. Это полезно, хотя животные не могут считаться абсолютно надежными "прогнозистами".

Землетрясение 1975 г. в Китае было предсказано в значительной степени по сведениям, полученным от населения, о поведении различных животных, в частности, было отмечено, что до его начала змеи выползали на снег. Когда таких наблюдений набралось довольно много и их обработали

специалисты, было сделано предположение о возможности землетрясения и этот прогноз подтвердился.

Может быть, этот вопрос заинтересует и кого-то из читателей. В таких массовых наблюдениях, помимо специалистов — биологов, зоологов, геофизиков, работников заповедников и ферм, могут принять участие и юные натуралисты. Изучение вопроса с научной точки зрения начинается только сейчас.

При изучении запахов большой интерес представляют собаки. Из минералогии известно, что издаваемый отдельными минералами запах является одним из признаков, указывающих на их присутствие. Запах особенно сильно подчеркивается при ударе. Так, мышьяк и арсенопирит издают при ударе запах чеснока. Для сульфидных руд типичен запах сернистого газа. Нефтяные газы также имеют характерный запах. Поэтому геологи из Карелии стали использовать собак для поисков месторождений.

Собаку приучают к запаху образцов руды, поощряя ее лакомством. Затем образец руды прячут под траву, а собака его ищет. Так ее дрессируют. А затем уже в полевых условиях геолог берет собаку на поводок, подает команду "нюхай" и собака ищет образцы руды. Однажды один парфюмер написал книгу про запахи, к которой были приложены флакончики духов для иллюстрации и обучения. Книга про запахи минералов должна содержать страницы с наклеенными на них пластинками минералов для того, чтобы можно было научиться их различать. Сейчас ученые изучают строение органов обоняния и уже создают приборы — "электрические носы", используя рецепты природы.

Изложенное показывает, что, анализируя устройство органов чувств живых систем, можно создавать полезные приборы для геологической разведки. И в будущем элементы бионики наверняка помогут расширить арсенал средств, используемых для геофизики. А иногда, как в случае обучения собак, можно и непосредственно использовать органы чувств дрессированных животных.

В связи с этим полезно рассказать и о ... волшебной палочке. Герб г. Петрозаводска тесно связан с горным делом. На нем — скрещенные молотки, но помимо этого в соответствии с указом Екатерины II об утверждении герба г. Петрозаводска от 16 августа 1798 г. на гербе изображена рудоискательная лоза. Об этом написано в книгах по истории Карелии и в прилагаемых к ним документах. Рудоискательная лоза в те времена считалась необходимым атрибутом горняка, однако о ней говорят и пишут и в наше время.

С давних времен существуют рассказы о людях, на организм которых влияет строение земной коры, в частности наличие рудных залежей или воды. Известная реализация этого действия состоит в следующем: человек, взявший в руки рогульку-прут и искажающий для поисков участок, над объектом поиска чувствует, что прут наклоняется к объекту. Такой процесс поисков с помощью прута, или, как его чаще называют, лозы — получил название лозоискательства (в последнее время — биогеофизического эффекта), а человек, занимающийся лозоискательством, называется искателем. Описания этого явления встречаются как в древних рукописях, так и в книгах наших дней.



Рис. 14. Старинная гравюра, на которой показан момент работ на месторождении — лозоискатель ищет рудные жилы (А), а рудокопы их разрабатывают (Б)

Литературные источники, описывающие данное явление, дошли до нас из глубины веков (рис. 14). Интересно, что в те времена для людей этот вид поисков считался столь же привычным, как для нас геохимия или электроразведка. Тогда лозоискательство находило, конечно, чисто мистическое объяснение.

Появление литературы по лозоискательству можно отнести к 1500 г. Так, в курсе горного дела Агрикола — крупнейший естествоиспытатель своего времени — характеризует лозоискательство как применимый на практике метод. Однако уже тогда начали накапливаться сведения о том,

Однако уже тогда начали накапливаться сведения о том, что эти поиски не всегда удачны, поэтому Агрикола рекомендует осторожность и советует обращать внимание прежде всего на изучение геолого-минералогической обстановки.

В книге нашего великого соотечественника М.В. Ломоносова "Первые основания металлургии или рудных дел", напечатанной в 1763 г., также упоминается о лозоискателях. Так, в параграфе "О рудоискательских вилках" можно прочесть следующее: "К прииску рудных жил употребляют некоторые горные люди прут, наподобие вилок на два отростеля раздвоенной, которой перстами наизворот берут. Сей прут ежели комлем к какому-нибудь месту повернется сам собою, то показывает будто там руду



или металл, а особенно серебро или золото. Однако сему сколько надобно верить, всяк разумный человек рассуждать может. Некоторые сие почитают за натуральное действие, и приписывают металлам силу, которую будто бы они рудоискательный прутик к себе тянут. Но повседневное искусство и здравый разум учит, что такой притягивающей силы в металлах быть нельзя: ибо помянутые вилки не у всякого человека и не на каждом месте к металлам и рудам наклоняются и, наклонившись больше к ним не тянутся. И так ежели бы сие действие было вправде, то бы ненарушимые натуральные законы, не взирая ни на время ни на человека, всегда сие, и на всяком месте производили”.

Из этих высказываний видно, что в те далекие времена еще не имелось четкого мнения о том, существует ли эффект лозоискательства. Одним из факторов, который поддерживал (и поддерживает) отрицательное отношение к лозоискательству, была нечеткая воспроизводимость результатов и зависимость их от того, кто именно работает с лозой.

Вопросы, связанные с научным объяснением лозоискательства, исследуются учеными и в наши дни. Однако до сих пор нет единого мнения не только о причинах этого явления, но и о том, существует ли оно вообще.

Одна группа ученых считает, что биогеофизический эффект чувствительности человека к изменениям физических полей существует, и это позволяет судить о наличии неоднородностей в строении приповерхностной части земной коры. Реакция человека проявляется в том, что происходит судорога мышц и соответствующее отклонение палочки. Какое именно поле оказывает такое действие на органы чувств — еще не ясно и этот вопрос остается пока открытым.

Другая группа ученых отрицает наличие биогеофизического эффекта и объясняет отклонение лозы психологическими и физиологическими особенностями человека. Они считают, например, что у человека, который несет лозу (теперь ее часто заменяют рамками из согнутой проволоки), в силу нервного напряжения могут возникнуть самопроизвольные сокращения мышц и, как следствие, колебания рамки. В ряде случаев могут быть случайные совпадения отклонений рамки и местоположения искомого объекта.

Ученые, считающие, что биогеофизический эффект существует, утверждают, что эффект кручения рамки наблюдается лишь у 7–10 % людей. Предполагается, что эта чувствительность относится к разряду таких, которые сейчас утрачиваются человеком в силу развития цивилизации и которые в более значительной степени были развиты у наших предков. Есть данные о том, что различные искатели ощущают этот эффект в разной степени. Одна и та же зона у искателей с более высокой чувствительностью вызывает более интенсивную реакцию и на большем удалении от центра зоны по сравнению с искателем, имеющим меньшую чувствительность. После съемки искатели испытывают усталость и их чувствительность к возмущающим зонам на некоторое время ослабевает.

Наиболее часто в литературе встречаются упоминания о поисках воды искателями, причем не только о положительных результатах поисков, но и об убытках, которые появляются при этом. Приводятся примеры



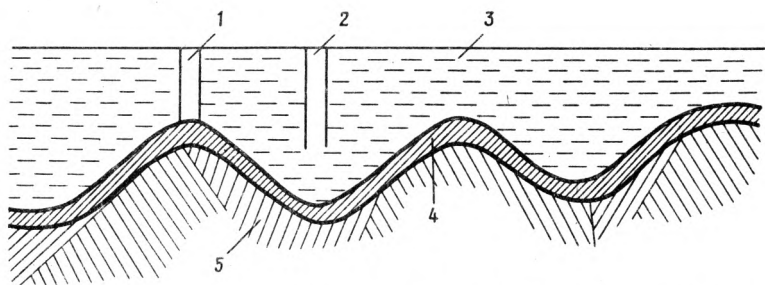


Рис. 15. Схема, иллюстрирующая поиски неглубокого колодца и показывающая положение водного горизонта.

1 — колодец с водой; 2 — колодец, не встретивший воду; 3 — почва; 4 — водный горизонт; 5 — подстилающие водный горизонт водопроницаемые горные породы

работы некоторых искателей, систематически приносящей убытки, например, когда из нескольких скважин, заложенных в выбранных местах, лишь одна давала воду.

В ряде случаев к искателям обращаются, когда выкопан глубокий колодец (до 20—30 м) и вода не встречена. Часто рядом с таким неудачным колодцем они находят удачное для заложения колодца место, что приносит экономию средств (рис. 15).

Один из авторов участвовал в проведении опытов под Львовом с целью выяснения действия магнитного поля на искателей. Искатели не почувствовали действия поля от рамки из изолированного провода с током, зарытой в земле. Искатели были специалистами-геофизиками. Исследование биогеофизического эффекта — их увлечение, которым они занимаются в свободное время. Опыт проводился следующим образом. Ток пускали так, что искатели не знали, когда ток течет по петле, а когда — нет.

Ученые продолжают поиски с целью расшифровки биогеофизического эффекта. Сейчас основная задача состоит в научном исследовании этого явления, для чего необходимо наладить биофизический контроль за состоянием организма искателя, а также применять точные геофизические приборы для установления характера физического воздействия на организм. Только после решения данной задачи можно будет говорить о промышленном использовании этого эффекта.

В литературе описаны случаи, когда искатели выявляли самые разнообразные объекты: водные горизонты, контакты различных горных пород, тектонические нарушения, пустоты, железные предметы, провода с током и т. д. Эти объекты настолько различны по своей физической природе, что их выявление нельзя объяснить влиянием какого-то одного поля. По-видимому, искатели ощущают суммарное действие различных физических полей.

Сам по себе факт чувствительности некоторой группы людей к физическим полям удивления не вызывает. Поскольку живые клетки во все периоды развития природы подвергались воздействию внешних физичес-

ких полей, они так или иначе могут реагировать на эти поля. Именно в силу того, что на организм должно воздействовать любое аномальное поле, становятся возможными поиски разнообразных объектов, создающих неоднородности в распределении полей (железные предметы, пустоты, археологические памятники и т. д.).

Влияние сильных полей — магнитных бурь, сильных доз радиации и др. — изучено хорошо. Так, магнитные бури ведут к существенному нарушению сердечно-сосудистой деятельности. Слабые поля, по-видимому, оказывают слабые сигнальные воздействия на организм. Во всяком случае, зафиксированы некоторые изменения характеристик кардиограммы искателя во время съемки.

Нужно отметить также, что сама лоза (рамка) является не обязательным атрибутом лозоискательства. Имеются данные о том, что можно идти с вытянутой рукой, а отдельные искатели ощущают внешнее воздействие всем телом.

Одному из авторов довелось беседовать с человеком феноменальных способностей — М. Куни. Он сказал, что мог бы найти предмет в земле за счет "настройки" на решение этой задачи так же, как он ищет иголку, спрятанную в кармане зрителя во время своего представления.

В связи с изложенным весьма важно уточнить минимальные действующие на человека значения различных полей, контролируя работу искателей био- и геофизической аппаратурой.

Хочется еще раз обратить внимание на то, что первоочередной задачей является научное исследование биогеофизического эффекта, пока же преждевременно говорить о методе и его производственном применении. Опыты с кручением рогульки вызывают ряд вопросов, о которых мы говорим и на которые трудно ответить без строго биологического контроля. Возможным производственным использованием биогеофизического эффекта может быть техническое устройство, сделанное на его основе.

Вице-президент АН СССР Ю.А. Овчинников отмечает\*, что применение лозоискательства дает заметную экономию в народном хозяйстве, необходимость его изучения сомнения не вызывает.

Бионика повлияла на развитие локации, на выбор формы корпуса быстроходных судов, на решение ряда архитектурных задач, она должна сказать свое слово и в геофизике.

---

\* Сочеванов Н.Н., Стеценко В.С., Чекунов А.Н. Использование биолокационного метода при поисках месторождений и геологическом картировании. — М.: Радио и связь, 1984.

## НУЖНО ЛИ СОХРАНЯТЬ УЧАСТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ?



Мерка силы тяжести  
Природные лаборатории геофизиков  
Полигоны по всей стране  
Много ли мы тратим на сохранение скал?  
Каждый может принять участие  
в сохранении памятников природы

В 1975 г. был принят Закон СССР "Об утверждении Основ законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах" и постановление Верховного Совета СССР "О мерах по дальнейшему усилению охраны недр и улучшению использования полезных ископаемых". Этот закон и постановление направлены на оказание всемерного содействия развитию народного хозяйства СССР и повышению благосостояния советского народа. Но здесь нам важно подчеркнуть, что в этих законодательных актах проявляется забота о будущих поколениях. Геофизические методы разведки, с помощью которых ведутся не нарушающие окружающую среду поиски, уже сами по себе являются средством, содействующим охране недр.

Новая современная техника. Она воплощает самые современные достижения физики и чудеса электроники. Всякий новый прибор должен пройти тщательные испытания. У геологов приборы очень точны, но с ними приходится работать не под стеклянными колпаками в лаборатории, а в тайге, степях, горах, под снегом, тропическими ливнями или при обжигающем ветре. О таких приборах говорят, что они предназначены для работы в полевых условиях. Поэтому основные испытания приборы должны проходить также в полевых условиях, например на месторождениях.

Очень точные приборы — магнитометры проходят проверку и ведут непрерывные записи в геофизической обсерватории. Ценность проводимых наблюдений над вековыми характеристиками магнитного поля Земли чрезвычайно велика, ими все время пользуются при разработке и проверке новых теорий.

Случилось так, что к месту, где ведутся наблюдения, подвели электричку. Вместе с проводами электролиний сюда пришли электрические помехи. Обсерваторию пришлось перенести. Согласовали перенос с Министерством путей сообщения, однако на новое место тоже пришла электричка. Станцию пришлось переносить вторично. А ведь она является своеобразным эталоном. Она обеспечивает точные проверки магнитометров — приборов, по показанию которых составляют геологические карты, ищут руду. От переносов будет страдать качество приборов, их будет труднее градуировать, они будут давать ошибки при поисках руды. Поэтому в генеральных перспективных планах строительства нельзя не учитывать

потребности геологов. Правильно рассуждать так: у геофизиков небольшие дома, начиненные различного рода приборами, но эти дома с приборами — эталоны, они имеют государственную важность. И отношение к дому с геофизическими приборами должно быть такое же внимательное, как и к тем эталонам, которыми меряют длину или массу.

Кстати, об эталонах массы. Есть специальные профили, на которых проверяют гравиметры — приборы, которыми измеряют силу тяжести Земли. Оценить количественно эту силу, познать действие закона Ньютона в нашей жизни позволяют только приборы.

Геофизики обнаружили, что в направлении на аэропорт под Ленинградом имеется такой перепад силы тяжести, выше которого при геологических съемках не встречается. Этот естественный перепад играет роль "природного эталона", и здесь по дороге в аэропорт находится профиль-эталон для всех гравиметров Советского Союза. Он начинается в городе там, где производят гравиметры, а кончается в районе Красного Села.

Внешне природный эталон силы тяжести — пункт для наблюдений выглядит так: это бетонированная площадка, на которой производится измерения в одной и той же точке. В ней очень точно измерено значение поля силы тяжести, которое позволяет градуировать гравиметры.

Самые последние проверки приборов проводятся на месторождениях, на рудных жилах. Здесь на одной и той же жиле, как на одном и том же эталоне, сравниваются приборы с различными техническими характеристиками. По результатам работ выбирают приборы, которые подходят для поиска рудных жил в данном районе. Такие сравнения проводятся из года в год. Нередко бывает так, что вы приезжаете, чтобы сделать сравнение, а жила, специально подобранная для опытных работ, уже выработана — эталон исчез. При этом пропадают накопленные сравнительные геофизические материалы. Они не могут применяться при опробовании новых приборов, так как уже нет эталона-жилы.

Вот и встает вопрос о том, что нужно выбирать и сохранять небольшие части типичных месторождений для опытных научно-производственных исследований, чтобы учиться искать аналогичные месторождения и разрабатывать методику поиска. Например, большое число испытаний разнообразной геофизической аппаратуры проводится в Карелии на месторождении Парандово. Это месторождение представлено в основном пиритом — соединением серы и железа и не имеет промышленного значения. Но как эталон для опробования и сравнения аппаратуры оно играет немаловажную роль.

Кроме всего прочего, рудные жилы — это такие же неповторимые уникальные творения природы, как и цветы, дивной красотой которых мы любуемся. У многих в доме есть те или иные изделия из камня декоративного характера. Некоторым удалось увидеть прожилки пирита, кварца, слюды или других минералов непосредственно в природных условиях, или, как говорят, в естественном залегании, и восхищаться ими. Но все это богатство не вечно. И мы, и те, кто будут жить после нас, должны иметь возможность как просто любоваться жилами руд,

так и вести свои научно-производственные исследования. Поэтому надо обдумать, какие участки каких месторождений следует сохранить, т. е. сделать заповедниками.

Советское правительство уделяет большое внимание работам, связанным с развитием сети заповедников. Основные положения о заповедниках и их охране находят отражение в советском законодательстве.

Принятие Верховным Советом СССР 7 октября 1977 г. Конституции СССР — Основного Закона СССР — оказывает большое влияние на дело охраны природы. В ст. 67 Конституции прямо записано, что "граждане СССР обязаны беречь природу и охранять ее богатство".

В "Основах законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах" имеется статья 35: "Охрана участков недр, представляющих особую научную или культурную ценность", в которой, в частности, отмечено: "Редкие геологические обнажения, минералогические образования, палеонтологические объекты и другие участки недр, представляющие особую научную или культурную ценность, могут быть объявлены в установленном порядке заповедниками, либо памятниками природы или культуры". Все это позволяет геологам и геофизикам проводить работы по сохранению ценных научно-производственных объектов.

Советский географ Д.Л. Арманд писал: "Культурное человечество свято бережет памятники истории: на их реставрацию тратятся громадные деньги. Для хранения лучших произведений искусства построены многочисленные музеи. В оборудованных по последнему слову техники, обслуживаемых большими штатами архивах заботливо оберегаются миллионы документов. Но все эти вещи созданы людьми, большинство из них может быть скопировано с большой точностью и размножено по чертежам, фотографиям, моделям. Так почему же мы скупы на сохранение памятников природы, предметов, даже отдаленное подобие которых воссоздать мы не в состоянии. Ведь уцелевшие уголки девственной природы и отдельные ее составляющие, сохраняющиеся в условиях разумного использования, тоже являются памятниками и музеями, архивами и эталонами, лабораториями и энциклопедиями, из которых человечество еще тысячелетиями сможет черпать нужные ему знания и удовлетворять неугасимую потребность во все более глубоком понимании окружающего мира" (Арманд Д.Л. Нам и внукам. М., Мысль, 1968).

Остановимся еще на одном вопросе, который имеет отношение к рассматриваемой теме. Число геологических наук растет. Их дробление чрезвычайно тем, что решаются только отдельные частные вопросы. Но чем больше дифференциация наук, тем необходимее становятся обобщающие теории. Они появятся быстрее, если на одном геологическом участке удастся работать в течение длительного времени. Тогда могут быть созданы фундаментальные обобщения — ведь в геологии пока больше неизвестного, чем известного. Детально изученные участки, находящиеся под постоянным наблюдением, помимо сверхглубоких скважин, — это тоже своеобразные "окна" в недра Земли.

Сейчас над созданием системы геолого-геофизических полигонов и заповедников работают геологи разных районов страны. На Северо-Западе

РСФСР выявлены типичные геологические объекты, ведется их учет, на часть объектов оформляются специальные паспорта и каталоги, они берутся под охрану действующих в нашей стране законов. К числу таких геологических объектов относятся: обнажения в районе реки Оредеж, выходы гранитов в районе г. Выборга, участки месторождений янтара, фосфоритов и пегматитов, гравиметровый полигон, отдельные скважины, гранито-гнейсы Лапландского заповедника и др.

Из других районов поступили предложения сохранить: участки в пределах хр. Каратау на месторождениях полиметаллов, ванадиевых руд и фосфоритов (Казахстан), массив гипербазитов Крака и Баранчинский на Южном Урале, участок полиметаллического месторождения гидротермально-метасоматического происхождения, сверхглубокую скважину и др.

А север Забайкалья, к которому теперь подходит трасса БАМа? До начала интенсивной разработки месторождений в районе следует подумать, какие части этого уникального района нужно сберечь. Вдоль всей трассы БАМа были выделены геологические участки, которые требовалось сохранить. Так, и лес вырубают не целиком, а всегда оставляя какие-то типичные участки.

Используя богатства земных недр того или иного края, необходимо подумать об охране недр и в связи с этим — о повышении эффективности и качества труда геологов.

Красноярский край — это драгоценная шкатулка нашей страны с месторождениями железа, никеля, полиметаллов, бокситов. На основании анализа всех типов месторождений, которыми богат край, целесообразно наметить те участки, которые нужно будет сохранить для научно-производственных исследований. На юге края есть магнетитовые месторождения "Самсон", вкрапленных сульфидных руд Алексеевское, медное Посельщук. Эти месторождения не имеют промышленного значения, но на них пробурены скважины и проложены штольни, которые можно использовать для опробования приборов, сравнения новых методик и обучения. Университеты региона создают в этом районе геофизические полигоны.

На юге края расположена группа озер. Это озеро Ши́ра с соленой, как в море, водой. Иткуль с пресной водой и Беле — одна половина которого соленая, а другая — пресная. На озере Ши́ра находится молодой и быстро растущий курорт Ши́ра. На для геофизиков эти озера — прежде всего природные модельные установки. В геофизических лабораториях часто можно увидеть баки с водой, в которые опущены металлические пластины — модели рудных тел. Большой бак сделать трудно. И вот природа пришла на помощь геофизикам.

На полигоне в Красноярском крае мы встретили геофизическую станцию. Геофизики рассказали, что они отрабатывают способы полевых наблюдений методом вызванной поляризации на магнетитовых месторождениях. Только здесь на полигоне, точнее, на участке полигона, где находится месторождение "Самсон" и хорошо изучен геологический разрез, можно быстро сравнить полученные результаты с особенностями



геоэлектрического разреза и дать им необходимое толкование, а также настроить аппаратуру на максимальную чувствительность к рудному телу. То, что здесь трудятся даже производственные организации, еще раз убеждает в необходимости создания полигона. Разнообразные участки, имеющиеся на полигоне, позволяют изучить методы, настроенные на поиски других месторождений. Полигон облегчает труд геофизиков и дает экономический эффект.

А если обратиться к Приморью? Специалисты-дальневосточники считают необходимым создать полигоны для методов аэрогеофизики, электроразведки методом радиокип. Здесь на эталонных участках наблюдаются изменения гамма-поля, не объяснимые аппаратурными неполадками. Нужно подумать и о сохранении участков месторождений касситерита, изученных геофизиками.

Приморские геологи предложили создать не только небольшие геолого-геофизические полигоны и заповедники, но и крупные региональные гравимагнитные полигоны. На территории Хабаровского края ставится вопрос о заповедных участках в пределах Хинганского оловорудного месторождения, где предлагают проводить длительные периодические наблюдения естественного электрического поля, вызванной поляризации и других характеристик пород и руд.

На юге страны имеются полигоны, на которых ведутся работы по предсказанию землетрясений. С помощью геофизических приборов здесь наблюдают изменения характеристик физических полей. Их вариации, обусловленные изменением свойств горных пород перед землетрясением, и позволяют сделать прогноз.

Предложено создать представительные заповедные участки на типичных месторождениях во всех основных рудных регионах страны.

Помогать выявлять и сохранять памятники природы — интересное дело для молодежи. Как к этому приступить — можно прочесть в книгах или узнать у специалистов геолого-геодезических организаций. Может быть, здесь, в сохранении вечных ценностей неживой природы, в наблюдениях за ними, Вы и найдете свое призвание, станете геофизиком.



## МИНИАТЮРНЫЕ МОЛНИИ ИЗУЧАЮТ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Фарадей установил электропроводность минералов

Кириlian проложил фотопленку на пути разряда

Что будет, если разряд пройдет через горную породу?

Разные участки месторождений характеризуются своими значениями термо-ЭДС

Идет беседа с Ниной Борисовной Дортман. Нина Борисовна — доктор геолого-минералогических наук. Она всю свою трудовую жизнь изучает физические свойства разнообразных горных пород нашей страны (Одна из схем, составленных ею, показана на рис. 16.) Нину Борисовку просят рассказать, как она — специалист по физическим свойствам — представляет себе, что такое месторождение.

“Месторождение, — говорит она, — это геологическое образование с ярко выраженными аномальными свойствами. Причем для одного месторождения характерны аномалии самых различных физических свойств: электропроводности, намагниченности, радиоактивности и т. д. Если считать, что труд создал человека, то сделать первые орудия труда человек смог только потому, что горные породы различаются по физическим свойствам. Из кремней древний человек изготовил первые ножи, скребки и наконечники. Бронзовый век характерен открытием ковкости и твердости железа и т. д.”.

Вот какие мысли о взаимосвязи металлов, различных физических свойств и человека высказала Нина Борисовна.

М. Фарадей был одним из первых, кто убедился, что минералы сульфидных руд хорошо проводят электрический ток. Однако прошло почти сто лет, прежде чем этим обстоятельством стали пользоваться геофизики.

Электрические и магнитные свойства горных пород и руд обычно изучаются с помощью приборов серии ИЭМС (измеритель электромагнитных свойств).

Расскажем об одном интересном открытии, позволившем по-новому изучать электрические свойства горных пород.

Техник физио-терапевтического кабинета одной из клиник Краснодара, а позже — заслуженный изобретатель республики С.Д. Кириlian обратил внимание на то, что при действии токов высокой частоты над различными участками тела наблюдается различный характер свечения: одни участки остаются темными, другие светятся голубоватыми, розоватыми

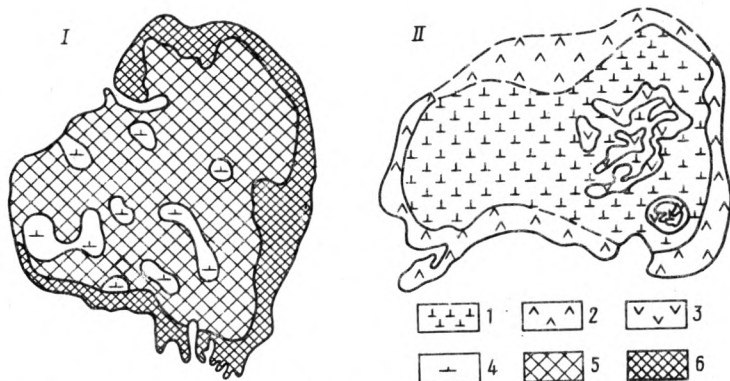


Рис. 16. Магнитная восприимчивость  $\kappa$  гипербазитов различных формаций.

I — габбро-перидотитовая формация (Урал, массив Крака); II — щелочно-ультраосновная формация (Кольский полуостров, массив Вуорви-Ярви); 1 — ийолиты,  $\kappa = 12 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ; 2 — карбонаты,  $\kappa = 3 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ; 3 — дуниты,  $\kappa = 10^{-3}$  ед. СИ; 4 — серпентинизированные пироксены,  $\kappa = (3 \div 12) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ; 5 — серпентиниты,  $\kappa = (8 \div 12) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ

и зеленоватыми тонами. С.Д. Кирлиан решил как-нибудь зафиксировать электрическое свечение, с этой целью между электродами и исследуемой поверхностью кожи он проложил фотопленку. После проявления на пленке можно было увидеть причудливые картинки. С.Д. Кирлиан разработал специальное оригинальное устройство, которое позволило наблюдать за этими интересными явлениями. Начало этих исследований относится к 1949 г.

Заглядывая в окуляр микроскопа, приспособленного для наблюдения разрядов, можно увидеть феерические вспышки, искры молний, распределяющиеся причудливыми узорами. Поскольку здесь фотографируется электрический разряд, распределяющийся по объекту, фотографии тональностью передают характеристику электрического состояния объекта съемки. Ведь распределение разряда будет зависеть от электрических характеристик поверхности объекта, будь то поверхность кожи, листа растения или горной породы.

Ленинградский инженер В.И. Михалевский и один из авторов в разное время побывали в домашней лаборатории С.Д. Кирлиана, после чего стали сами проводить исследования в этой области, стараясь расширять фотографии и усовершенствовать технику эксперимента.

Оказывается, что живая и неживая природа могут исследоваться одними и теми же способами. Горные породы и биологические ткани в ряде случаев характеризуются одинаковыми физическими свойствами, например электромагнитными. Отчего бы не применить фотографирование в поле токов высокой частоты в исследовании горных пород? С помощью специального устройства удалось получить такие фотографии, которые позволяют делать очень тонкие геофизические наблюдения над электрической структурой горных пород. На фотопленке после подключения к элек-

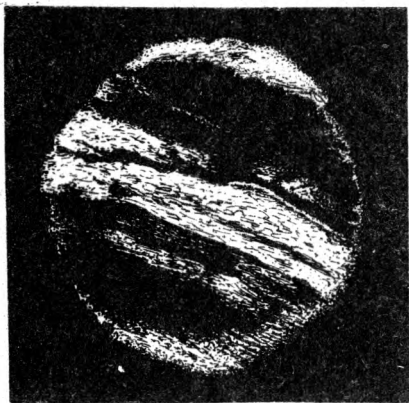


Рис. 17. Это не космический снимок далекой планеты. Это фотография в поле токов высокой частоты, полученная на Земле при изучении кусочка медно-никелевой руды

ных пород. При этом было отмечено, что свечение горных пород создается благодаря наличию неровностей поверхностей, с одной стороны, и вследствие неоднородности электрических свойств объекта — с другой. При фотографировании биологических объектов причины свечения те же. Любопытно, что влажность, меняющая удельную электропроводность сухого образца горной породы, изменяет вид фотографии, полученной в поле токов высокой частоты.

Посмотрите на рис. 17. Фотография сделана в поле токов высокой частоты. На ней зафиксированы пути этих токов через фотопленку, лежавшую на поверхности образца. А ток высокой частоты подводился к пленке через металлический пластинчатый электрод. Таким образом, на фотографии, полученной без фотоаппарата, остаются следы прохождения тока, а он протекает там, где есть электропроводные участки. Следовательно, по фотографиям мы получаем представление о наличии электропроводных участков.

При изучении кристаллов касситерита обнаружили, что даже в одном кристалле есть участки, которые проводят электрический ток и которые его не проводят. Такова сложная природа электропроводности кристаллов касситерита.

На фотографиях отражаются структуры электропроводных частиц горной породы.

Если сравнивать оптическую фотографию и фотографию, выполненную в поле токов высокой частоты для минерала из класса сульфидов — арсенопирита, то на оптической фотографии будут видны отдельные зерна. Этот минерал обладает высокой удельной электропроводимостью. При действии токов высокой частоты оказывается, что все зерна арсенопирита проводят ток одинаково. И на фотографии все зерна минерала вышли как один блок низкой удельной электропроводности (рис. 18).

тродам высокочастотного генератора и наложения на образец эластичного электрода был зафиксирован электрический портрет руды.

Чтобы совершенствовать устройства, с помощью которых производится фотографирование в поле токов высокой частоты, мы фотографировали более простые по сравнению с биологическими объекты. На них удалось наблюдать и зафиксировать особенности электрических свойств образцов. Мы фотографировали модели объектов в виде пластинок с различным рельефом поверхности, в виде наборов металлических шариков, объектов с различными электрическими свойствами, а затем уже перешли к фотографированию гор-

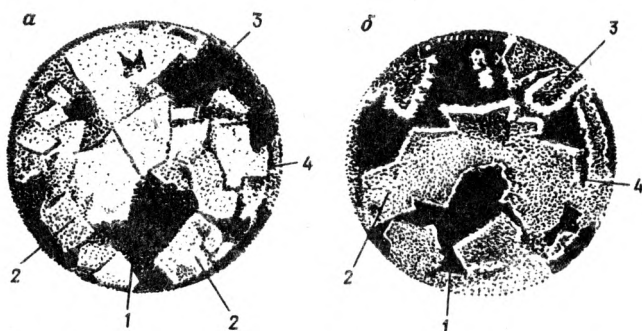


Рис. 18. Фотографии поверхности образца арсенопиритовой руды, полученные с помощью фотоаппарата (а) и в поле токов высокой частоты (б).

1 — кристаллы полевого шпата; 2 — кристаллы арсенопирита; 3 — метка для привязки двух фотографий; 4 — круг, ограничивающий поле съемки

Много усилий приходится расходовать на разработку техники эксперимента. Например, в обычной фотографии имеется фокусное расстояние. В фотографии в поле токов высокой частоты имеется его аналог. Это расстояние между электродом и поверхностью объекта, но оно измеряется микрометрами, и наводка на резкость очень сложна.

Все изложенное подчеркивает важность изучения физических свойств разнообразных минералов. А сколько мы еще не знаем? Каждый год мы находим сотни новых минералов.

Советские и болгарские ученые установили закономерности природной огранки кристаллов, которые также зарегистрированы как открытие. Один и тот же минерал может иметь форму призмы, пирамиды или иглы, меняя эти формы в процессе своего развития. Тонкие наблюдения над кристаллами касситерита позволили одному из авторов открытия Н.З. Евзиковой установить взаимосвязь между формой кристалла и местом нахождения его в месторождении в краевой или центральной частях его. Наиболее хорошо ограненные кристаллы определенного типа появляются в центральной части месторождения, где у них есть все условия для нормального роста. В краевых частях кристаллам не удастся приобрести такой формы. Этот признак, полученный из наблюдений за неживой природой, имеет сейчас важное значение: если в найденном месторождении кристаллы имеют форму одного типа, значит, можно искать дальше — это центральная часть месторождения. Фактически здесь идет речь о развитии формы кристалла. Но установить эту закономерность удалось только при изучении тысяч проб и образцов с различных месторождений.

Кристаллы разных форм могут иметь и разные физические свойства. Оказывается, кристаллы из различных участков месторождения не только неодинаковы по форме, но и обладают различной термоэлектродвижущей силой. Измерения этой силы на образцах — увлекательнейшее занятие. Методику и технику таких наблюдений разработали чинтинские ученые под руководством В.И. Красникова. Среди них есть геофизики, радиофизики, минералоги — представители разнообразных геологических специаль-

ностей. Они изучили тысячи образцов и установили закономерности распределения термоэлектродвижущей силы на различных месторождениях. А это дало геологам важные сведения для оценки исследуемых месторождений.

А иногда изучение физических свойств только на образцах пород позволяет открыть месторождение. Один геолог изучал в геологическом музее с помощью радиометра радиоактивность образцов горных пород, хранящихся в музее. При этом он нашел образец с повышенной радиоактивностью. Выяснили, где он был отобран, выехали на место. При бурении там было обнаружено большое месторождение урановых руд.

Итак, знание физических свойств полезных ископаемых помогает выявить месторождения. Если Вы нашли какие-нибудь образцы, которые могут говорить о наличии месторождений, их нужно показать специалистам территориальной геологической службы. В ряде случаев так обнаруживают важные для промышленности руды. Но иногда бывает и так, что кусочек горной породы ставит больше вопросов перед специалистом, изучающим его физические свойства, чем дает ответов. А может быть в будущем удастся найти какую-то более общую характеристику горных пород, связанную, например, сразу с несколькими физическими свойствами и взаимодействиями, — своеобразную "полифонию" недр или обнаружить неизвестные сегодня параметры горных пород и руд?

Напомним еще раз, что при изучении физических свойств минералов сделано много открытий, таких как магнитные явления — при изучении минерала магнетита, электрические — при изучении янтаря и т. д. Но есть минералы, физические свойства которых еще недостаточно изучены, а ведь и минералы еще не все открыты, каждый год находят новые.





## НРАВИТСЯ ЛИ ВАМ ХОДИТЬ В МУЗЕЙ И БИБЛИОТЕКИ!

Эрмитаж и геофизика  
Где будет музей истории геофизики?  
Кукольный театр и модели гор  
Геофизическая библиотека  
Художники, библиотечные  
и музейные работники в геофизике

Директор Государственного Эрмитажа акад. Б.Б. Пиотровский, всемирно известный археолог, хорошо знаком с возможностями геофизики. Когда Б.Б. Пиотровский был директором Ленинградского отделения института археологии АН СССР, он содействовал проведению первых в нашей стране геофизических работ на неолитической стоянке Вьюн под Ленинградом. Один из авторов книги руководил геофизическими работами для археологов. С тех пор Б.Б. Пиотровский убедился в эффективности геофизики, и даже в Эрмитаже имеются геофизические приборы, используемые археологами.

Понятие красоты у человека формировалось под влиянием природы. И сегодня природа все теснее связывается с этим понятием. Не последнее место здесь занимают кристаллы, минералы и горные породы разнообразных цветов, форм, размеров. Убедиться в этом можно, осмотрев специальные коллекции.

В нашей стране находится один из самых полных и старинных в мире геологических музеев. Это — длинные коридоры, анфилады залов, заполненных витринами с камнями. Здесь собраны образцы со всех типичных месторождений свинца, олова, железа, бора, асбеста и многих других вместе с окружающими их горными породами, картины древней жизни, скелеты вымерших животных. В залах всегда много посетителей.

При учреждении Горного училища в 1773 г. был основан Кабинет "Российских и иностранных минералов и ископаемых тел" для студентов, преподавателей и "любопытных посетителей". Уже в прошлом столетии Кабинет занимал видное место среди европейских собраний минералов. Этому содействовало предписание всем рудникам, копиям и горнозаводским предприятиям доставлять в Кабинет Горного училища самые интересные образцы. Кабинет вырос в современный Горный музей. Сегодня в отдельных залах размещены интересные выставки по геологии, минералогии, палеонтологические коллекции, экспонаты по таким геологическим разделам, как вулканизм, землетрясение, тектоника. Музей дает представления о происхождении солнечной системы.

Для нас наибольший интерес представляют минералы с изученными физическими свойствами. И в музее есть специальная экспозиция "Маг-

нитные свойства минералов" и отдел диэлектриков, охарактеризованы пьезоэлектрические свойства кварца, кроме того, имеются экспозиции "Что такое минерал?", "Абсолютный возраст" и т. д. Рядом 246 метеоритов. В их числе железный Сихотэ-Алиньский метеорит массой 450 кг. В музее находятся такие редкие образцы, как кристалл берилла длиной 1,5 м, коллекция образцов асбеста и изделий из него, коллекции образцов самородной платины и золота, кристалл оптически прозрачного голубого флюорита массой 330 кг, кристалл кварца массой 300 кг, искусно выполненные модели алмазов. Многие образцы музея еще ждут своих исследователей физических свойств. Ведь всего в музее более 20000 образцов различных минералов. Части месторождений сегодня уже нет, но минералы из них сохраняются в коллекциях.

Как и многие музеи Ленинграда, Горный музей пострадал в блокаду. В него попали пять снарядов. Как и в художественных музеях, полуголые сотрудники Горного музея сохраняли экспонаты — скелеты древних животных, макеты шахт, минералы и картины, чтобы уберечь их от взрывов. Осколками снаряда был разорван уникальный кристалл берилла в Колонном зале музея. (Раньше именно в этом зале выпускники Горного института приносили клятву в том, что будут проявлять усердие к услуге Отечеству.) Сразу же после эвакуации началась работа по восстановлению музея.

Один из лучших экскурсоводов Горного музея — проф. Д.П. Григорьев. Его пояснения увлекательны тем, что в них говорится о жизни минералов — их "рождении" из кристаллизационных растворов, "жизни" и разрушении. Большое внимание Д.П. Григорьев уделяет физическим свойствам минералов и влиянию на рост минералов различных физических полей.

Очень важное направление работ музея — изготовление макетов отдельных геологических объектов: Хибиногорского и Ловозерского массивов, Баженовского асбестового месторождения и др. Казалось бы, что все типичные исчезающие при промышленной выработке месторождения должны сохраняться в виде макетов; должны храниться материалы с описанием этих месторождений, включая данные по изученным физическим свойствам. При изготовлении макетов месторождений трудятся специалисты-художники, знающие палитры красок и формы объектов, скрытых в недрах.

В январе 1882 г. вновь образованному Геологическому комитету было предписано: "Геологическому комитету поручается . . . собирание горных пород и полезных ископаемых и составление из них систематических коллекций". Так была заложена основа Центрального научно-исследовательского геологоразведочного музея имени акад. Ф.Н. Чернышева (ЦНИГР музей). Сегодня это крупнейший в мире геологический музей. Он содержит 11961 коллекцию с числом образцов 1300000. Из них 88000 образцов выставлено в витринах. Сюда сдали свои коллекции горных пород и минералов знаменитые естествоиспытатели С.Н. Никитин, А.П. Карпинский, Ф.Н. Чернышев.

В Москве интересен Минералогический музей АН СССР. Но в нем, как и в ЦНИГР музее, практически не представлены образцы с изученными физическими свойствами. Имеются скелеты древних животных, макеты карьеров, месторождений, шахт и горных машин.

И нигде почему-то нет музея, даже отдела геофизических приборов. В ближайшее время музей геофизической техники будет, конечно, создан. Уже сейчас отдельные приборы экспонируются в музеях. Первый советский гравиметр системы С.А. Поддубного был выставлен в Музее истории Ленинграда, сейсмоэлектрическая техника Н.М. Нейштадта — на Выставке успехов народного хозяйства Ленинградской области. Новые выпускаемые геофизические приборы демонстрируются на Выставке достижений народного хозяйства СССР. Но первый в истории человечества аэромагнитометр А.А. Логачева, первый отечественный потенциометр вполне достойны занять место в постоянном музее истории геофизики. Возможно, что кое-какие приборы уже исчезли безвозвратно, но многое сегодня еще можно собрать. Во всяком случае, при ЦНИГР музее должен быть отдел геофизики, да, наверное, и при Горном музее, а также и при других геологических музеях. А геологические музеи есть во многих крупных городах, например в Новосибирске, Хабаровске, Иркутске, Киеве.

Знаете ли Вы, каковы физические свойства горных пород и руд в том районе, где Вы живете? Есть ли образцы этих пород в вашей школьной коллекции? Были ли Вы в музеях ваших территориальных и геологических организаций? Если нет, — обязательно пойдите, посмотрите и узнайте, каковы физические особенности горных пород и руд вашего региона. Во-первых, просто интересно узнать, какие минералы Вас окружают, и полюбоваться ими. А во-вторых, в этих камнях чуть не вся физика, химия и геофизика Вашего края. Здесь и окружающая среда, и поисковые признаки. Иногда знание музейных образцов помогает найти их скопления в природных условиях.

Вам не доводилось бывать в кладовой кукольного театра? Колдуны, волшебники, замки — все стоит на полках, висит без движения. И кажется, один взмах волшебной палочки и все придет в движение.

В модельной геофизической лаборатории тоже все очень похоже на волшебство. Прежде всего, здесь есть и "Лилипутия" и свои "Гулливеры". "Лилипутия" модельной лаборатории — это миниатюрные горы и месторождения. Пласты магнитных руд, горы, склоны которых имеют разные углы наклона, овраги и долины, берега морей, мощные наносы, месторождения свинца, олова, меди — элементы окружающего нас геологического мира. Но все — в небольших размерах, в виде моделей.

На моделях с миниатюрными установками для предварительной оценки изучаются те эффекты, которые потом можно будет наблюдать в реальных полевых условиях. Моделирование — большое искусство. Переплетение проводов, стрелки вольтметров, экраны осциллографов. Кольца Гельмгольца создают электромагнитные поля в объеме модели. По поверхности модели перемешают игрушечные приемные антенны. Точнее, не игрушечные, а миниатюрные. Например, блок графита с выпиленной

получилиндрической выемкой моделирует русло древней реки или депрессию, в которой можно найти руды алюминия — бокситы.

"Гулливеры" — люди, работающие среди "лилипутских" гор и месторождений — специалисты по моделированию.

Геофизики по образованию А.П. Савин, А.Н. Кузнецов — это люди, которые посвятили свои жизни моделированию. На модельных установках они решали самые разнообразные задачи для аэроэлектроразведки при поисках бокситоносных депрессий, магнетитовых руд под траппами в Красноярском крае, для электромагнитного зондирования в условиях негоризонтальных границ раздела между геологическими слоями и для многих других важных для практики геофизических работ случаев. Моделирование тесно переплетается с решением теоретических задач и с расчетами на ЭВМ. Наиболее сложные случаи, для которых затруднены вычисления, моделируются.

Вот что сказал известный специалист по моделированию А.П. Савин: "Для того чтобы моделировать, нужно хорошо знать "волшебные" числа. Они позволяют перенести закономерности геологического разреза на модель так, чтобы можно было изучать эффекты, которые могут наблюдаться в природе. Так, для моделирования задач электроразведки нужно выдерживать постоянным произведение частоты, удельной электропроводности и размера (последнее в квадрате), увеличивая частоту можно уменьшать размер".

В Ленинграде на Среднем проспекте, д. 73 находится Всесоюзная геологическая библиотека. Она берет начало тоже от Геологического комитета, в обязанности которого входила и покупка книг. Сегодня в фондах библиотеки насчитывается 1 млн. книг, среди которых значительную долю составляет геофизическая литература. Ежегодно библиотека получает 40 тыс. книг, около 600 отечественных и 700 иностранных периодических журналов. Примерно 3/4 работающих здесь сотрудников имеют библиотечное и филологическое образование — без таких специалистов геологам и геофизикам сейчас не обойтись.

Первым библиографом геофизической литературы была А.М. Ленина. Созданные ею каталоги и собранные книги заложили фундамент геофизической библиотеки. Сегодня все острее встает вопрос о создании Всесоюзной геофизической библиотеки.

Итак, мы говорим о специальностях, которые связаны с геофизикой. Мы уже насчитали их много. Сюда же относятся специалисты по моделированию, музейные работники, художники-макетчики и библиотечные работники. Без них геофизика не может развиваться.



## ДЛЯ ТЕХ, КТО ЗАХОЧЕТ СТАТЬ ГЕОФИЗИКОМ

Ленинградский Горный — одна из  
колыбелей инженеров-геофизиков  
Первый выпуск — два человека  
ИПГ = БИРГ?

Сегодня у нас геофизиков больше,  
чем где-либо в мире

На научно-популярных лекциях по геофизике очень часто задают вопрос: куда нужно обратиться, чтобы стать геофизиком? Практически во всех крупных городах нашей Родины: Москве, Ленинграде, Воронеже, Алма-Ате, Томске, Киеве, Иркутске, Владивостоке, Свердловске и других готовят специалистов-геофизиков. Для того чтобы узнать, что Вас ждет в институте, лучше всего пойти на "день открытых дверей". Вот мы в одном из кабинетов геофизического факультета Ленинградского горного института им. Г.В. Плеханова. Полки с книгами, геофизические карты. На стенах висят портреты первых профессоров-геофизиков: В.И. Баумана, в 1922 г. прочитавшего первый в СССР курс магниторазведки; Л.Н. Богоявленского, в 1923 г. создавшего курс по радиометрии; А.А. Петровского, читавшего лекции по электроразведке; П.Н. Никифорова, преподававшего грави- и сейсморазведку.

То, что место рождения геофизики в нашей стране Москва и Ленинград — не случайно. Это крупнейшие научные центры. И, конечно, большое внимание здесь уделяется геологии и геофизике. В Москве и Ленинграде сосредоточено много геофизических экспедиций, объединений и институтов.

В 1929 г. была организована Особая комиссия по изучению Курской магнитной аномалии, вокруг которой собрался коллектив геофизиков, геологов, физиков, геодезистов. Они по праву признаются основоположниками разведочной геофизики.

История развития геофизики в нашей стране тесно связана с высшими учебными заведениями. Старейшим "геофизическим" вузом является Ленинградский горный институт. И не только "геофизическим", но и вообще горным.

Как было отмечено, в 20-е гг. нашей стране в связи с индустриализацией для развития народного хозяйства нужны были новые месторождения. Искать их нужно было быстро и экономично. В этом геологам могли помочь геофизические методы разведки. Но специалистов-геофизиков тогда не готовил ни один вуз страны. Понимание нужд отечества привело ученых Горного института к созданию впервые в нашей стране геофизической специализации студентов.



В 1930 г. состоялся первый выпуск горных инженеров-геофизиков. Он был из двух человек: А.Ш. Усманова и И.П. Кобзева. В 1931 г. выпущено 9, в 1935 г. — уже 82 горных инженера-геофизика. Фотографии выпускников всех лет представлены в музее на кафедре. Их много — целая армия. В 1934 г. уже была образована кафедра геофизических методов разведки. Сотрудники этой кафедры свято следовали и следуют первому девизу Горного института, записанному в первом уставе института в 1773 г.: "Усердие к услуге Отечеству и к пользе оного любовь".

Школу магниторазведки основал А.А. Логачев — создатель первого в мире аэромагнитометра. Школы комплексной геофизики, электро- и гравиразведки были основаны Л.Я. Нестеровым и Б.А. Андреевым. Эти школы обладают большим творческим потенциалом и опытом в подготовке кадров. И сейчас здесь читаются новые курсы. С 1979 г. один из авторов читает в ЛГИ специально составленный курс лекций по охране недр — по вопросам создания геофизических полигонов и заповедников, затронутым нами в разделе "Нужно ли сохранять участки месторождений". Студенты в своих дипломных работах предлагают полигоны для опробования геофизической аппаратуры, отработки методики и сравнительных испытаний.

С 1953 г. в Горном институте организован геофизический факультет. Его первый декан — А.Ш. Усманов, горный инженер-геофизик первого выпуска. Один из авторов этой книги окончил Горный институт и это, конечно, повлияло на выбор геофизической кафедры для данного рассказа. Но таких институтов у нас в стране много.

Геологические, геофизические и физико-математические дисциплины составляют основу образования геофизиков. Поэтому в вузовских программах обучения геофизиков имеются такие геологические дисциплины, как общая и историческая геология, минералогия, петрография, кристаллография, геологическое картирование, геология СССР, геотектоника и курс месторождений полезных ископаемых. Серьезные курсы общей физики, математики, электротехники, механики, электроники, математической физики, теории программирования формируют геофизика. Летом студенты уезжают на учебные практики. Очень часто едут в Крым или на Кавказ. Многие студенты сибирских институтов работают летом на юге Красноярского края в просторах Хакасии. Там находятся базы различных институтов и университетов. Около таких баз имеются детально изученные поколениями студентов геофизические участки с различными геологическими объектами.

Сегодня ЭВМ находятся на базах полевых партий, в лабораториях. Мини-ЭВМ монтируются непосредственно в геофизических приборах. В программу обучения геофизиков входят специальные курсы по программированию геофизических задач к работе на ЭВМ.

В институтах есть лаборатории для физического моделирования геофизических задач, минералогические музеи и библиотеки.

На старших курсах по программе обучения проводятся производственные практики, где Вы получаете, как говорят, "штатное" место рабочего, техника или инженера в полевой партии. Кроме того, на каждом факуль-



тете под руководством профессоров и преподавателей ведется большая научно-исследовательская работа. Так, студенты-геофизики Иркутского политехнического института активно трудятся на железорудных месторождениях Прибайкалья, Казахского горного — на полиметаллических месторождениях республики.

На геофизическом факультете Ленинградского горного института одно из основных направлений — изучение геологического строения Балтийского щита геофизическими методами. При этих исследованиях опробован метод отраженных волн, благодаря чему удалось выделить на различных глубинах отражающие границы, которые связаны с разломами и могут подсказать геологам, где следует искать рудные тела. Полученные глубинные данные позволили выбрать место для заложения сверхглубокой скважины на Кольском полуострове, поставившей новые задачи перед геофизиками. Для изучения глубинного строения Кольского полуострова широко используются электро-, магнито- и гравиразведка. Наиболее детально исследуется никеленосный Печенгско-Аллареченский рудный район, который является одновременно прекрасным полигоном для отработки разнообразных геофизических методик. Здесь бурится известная скважина СГ-3. Сама сверхглубокая скважина является большим успехом ученых и буровиков, но по ее результатам трудно было бы представить, насколько типичен вскрытый ею разрез земной коры, если бы не геофизика. Проведенные геофизические исследования позволяют распространять полученные в результате бурения скважины данные на прилегающую территорию. Важным обстоятельством является участие студентов во всех работах кафедры, начиная с первых лет ее образования. Так, ежегодно в полевых работах на Кольском полуострове трудятся до 50-ти студентов. В полевой сезон 1981—1982 гг. студенты активно участвовали в проведении сейсмического профилирования до глубин 11—12 км и успешно справились с обязанностями специалистов-геофизиков. Именно студентам — в будущем специалистам-геофизикам — придется решать многие задачи, рассмотренные в книге. Вот что говорит декан геофизического факультета Горного института Ю.Н. Капков: "Научные исследования кафедр должны продолжать и развивать традиции "усердия к услугам Отечества", разрабатывать и совершенствовать геофизические методы, вырабатывать научно обоснованные критерии оценки перспективности на обнаружение месторождений полезных ископаемых, поддерживать и крепить наши традиционные связи с производством. Все это должно сочетаться с усилением работы со студентами, чтобы выпускник-геофизик был не только грамотен технически, но и, главное, был пламенным патриотом, всегда готовым проявить "усердие к услуге Отечеству и к пользе оного любовь".

И, конечно, геофизик должен быть здоровым и выносливым — ведь ему приходится бывать в экспедициях, географический диапазон которых широк: от царства холода Антарктиды — до пекла пустынь. Поэтому в институтах большое внимание обращается на физическую закалку. Производственные и учебные практики в различных уголках нашей страны позволяют закрепить теоретические знания. Инженер-геофизик — руководи-

тель работ должен хорошо знать геологию района, где ведутся работы, уметь обращаться со сложными приборами, знать методику работ, приемы расшифровки материалов, должен быть хорошим организатором, который может руководить людьми, правильно использовать технику и эффективно решать стоящую перед ним геологическую задачу.

Потребность в специалистах-геофизиках все время росла, что было связано с развитием промышленности. В 1928 г. в СССР работало уже 40 полевых геофизических партий. В 1934–1941 гг. геофизические работы проводились в постоянно растущих объемах и дали свои результаты. На Урале нашли 11 месторождений меди, в Мончегундре – месторождения богатых сульфидных медно-никелевых руд. Не обходилось и без отдельных курьезов. Электроразведку методом индукции (ранний вариант метода дипольного электромагнитного профилирования) поставили в 30-х годах в помощь поискам золота. Выявили ряд интересных зон. Подумали, что в этих зонах золото. Но проверка показала, что только в очень небольшом числе перспективных зон есть следы золота. Здесь была и радость, и разочарование, но вывод правильный: необходимо совершенствовать теорию и методику работ. Позднее поняли, что выявленные электроразведкой зоны низкого удельного сопротивления чаще всего бывают связаны с разломами – нарушениями сплошности горных пород, часто обводненными. Именно в разломах иногда можно найти месторождения золота.

В 1931 г. резко возросло число промыслово-геофизических партий в СССР и в 1,5 раза превзошло число партий в капиталистических странах. Академик И.М. Губкин – первый руководитель геологической службы нефтяной промышленности – сразу же после опробования электрических методов исследований скважин в Грозненском нефтяном районе обратил внимание на необходимость их дальнейшего внедрения и развития. Он стал инициатором создания в 30-х гг. первой в Москве геофизической научно-исследовательской организации для поисков и разведки нефти. Сегодня появившиеся на этой базе институты и экспедиции позволили образовать крупное объединение "Нефтегеофизика". И.М. Губкин содействовал также организации первой в стране высшей школы нефтяной промышленности. Сегодня работает Московский институт нефти и газа им. И.М. Губкина. Параллельно в Московском геологоразведочном институте тоже создается школа геофизиков. Сегодня ее представляют Ю.В. Якубовский, М.И. Плюсин, Ф. Каменецкий и многие другие известные ученые.

На производственных практиках и после окончания учебы часть специалистов попадает в экспедиции, а часть – в вузы или научно-исследовательские институты. Специфика работ в экспедиции отражена в разделе "Если Вы любите путешествовать". Про один из научно-исследовательских институтов, работающих в области рудной геофизики (объединение "Рудгеофизика") расскажем здесь. Многоэтажное здание института из стекла и бетона – детище XX в. Но у здания есть своя история, начало которой относится к 40-м гг., а корни ее уходят к 20-м. В 1946 г. был образован геофизический институт ВИРГ – Всесоюзный научно-исследовательский институт разведочной геофизики. Фактически это была одна из реорга-

низаций уже давно существующего геофизического института. Вот его история. Тогда же, когда ставился вопрос о подготовке специалистов-геофизиков, ученые Горного института поняли и необходимость создания самостоятельного научно-методического центра по вопросам геофизики. Записку об образовании Института прикладной геофизики (ИПГ) подготовил основатель отечественной магниторазведки В.И. Бауман. Ее интересно прочитать и сегодня. Горный институт просит в этой записке Главное управление горной промышленности об учреждении при Петроградском горном институте специального Института прикладной геофизики с целью "научной и научно-технической разработки вопросов, связанных с применением физических методов исследования месторождений полезных ископаемых".

Предполагалось, что работы института будут включать лабораторные исследования и командировки сотрудников в летний период для проведения опытных работ и сбора материалов. Относительно аппаратуры в ИПГ с самого начала было принято решение об изготовлении собственных приборов, совершенствовании уже имеющихся и создании новых. В.И. Бауман немного не дождался до открытия ИПГ. Совнарком СССР одобрил открытие в Ленинграде в 1923 г. Института прикладной геофизики — первого советского геофизического научно-исследовательского института. В ИПГ разрабатывали теорию, методику и аппаратуру — те же направления исследований, что и теперь в ВИРГе. По аналогичным направлениям ведутся работы и в других геофизических институтах. Первые экспедиции ИПГ занимались разведкой железорудных месторождений Кривого Рога, полиметаллических месторождений Алтая, Илецкого соляного штока и нефтяных месторождений Майкопа и Эмбы, а также Чиатурского марганцевого месторождения. С этими вопросами столкнетесь и Вы, если будете работать в экспедициях, но уже новыми геофизическими методами. И сегодня из научно-исследовательских институтов и вузов разезжается большое число экспедиций во все уголки нашей страны, в которых участвуют и студенты, о чем написано в следующем разделе.

Уже в 1927 г. директор ИПГ Д.И. Мушкетов докладывал о работе ИПГ в Научно-техническом управлении ВСНХ СССР. В принятой по его докладу резолюции были отмечены достигнутые успехи: а) в теоретической разработке вопросов, входящих в круг исследований ИПГ; б) в постройке собственными средствами (в области гравиметра и сейсмометрии) новой весьма чувствительной и точной аппаратуры и т. д. Далее отмечалось, что ряд организаций внедрили у себя разрабатываемые ИПГ методы, что ИПГ и дальше должен своими силами проводить полевые и производственные работы опытного характера, обязан консультировать другие организации по вопросам своих новых разработок; была одобрена организация в стенах ИПГ практических занятий для студентов. Все перечисленные направления деятельности ИПГ были положительно оценены правительством. Направления работ ИПГ были выбраны настолько правильно, что и сегодня директора институтов отчитываются за разработки новых приборов и методов, их внедрение в производство, организуют практику студентов и консультируют специалистов производственных организаций.

Как патриоты проявили себя геофизики и в годы войны. Все знают о том, что в осажденном Ленинграде звучала музыка Д.Д. Шостаковича, археолог Б.Б. Пиотровский описывал древние царства. Менее известно, что в блокадном городе на гектографе были изданы палетки геофизика А.М. Пылаева для интерпретации вертикальных электрических зондирований. В августе 1941 г. перед геофизиками Ленинграда была поставлена задача поисков ушедших в грунт невзорвавшихся авиабомб. Немцы применяли бомбы замедленного действия, взрывавшиеся через интервал от трех часов до нескольких суток. Было необходимо сразу же определять, где находится бомба. Данные о падении авиабомб получали от бойцов МПВО. Однако, попадая в грунт, бомба уходила на глубину до 10 м и более, а также уклонялась в сторону от входного отверстия до 5 м. После обнаружения бомбы вставал вопрос об ее извлечении. Бомбу начинали откапывать. При этом выполнялся довольно большой объем работ. Если происходила задержка в работе, вырытый котлован обычно затапливался полужидкой массой, просачивающейся снизу и из стенок. В такой ситуации было крайне важно точно определить положение авиабомбы до начала ее извлечения из земли. Попытка применить с этой целью известные в то время геофизические методы не дала результатов.

Известные геофизики А.С. Семенов и О.К. Владимиров предложили метод поисков авиабомб и за одну ночь сделали для него комплект аппаратуры. На следующий день провели ее испытания на Васильевском острове и обнаружили невзорвавшуюся бомбу на глубине 10,5 м. Метод позволил до начала землеройных работ определить калибр бомбы, который соответствовал ее массе в 1—1,5 т. В дальнейшем такая аппаратура широко применялась бойцами МПВО. Поиски бомб проводились с риском для жизни. На одном из участков поисковая группа сделала перерыв в работе и уехала, а через 15 мин здесь взорвалась бомба. К счастью никто не пострадал.

Сделанный прибор надежно проработал всю войну. Геофизики, изучая электрические и магнитные поля, создавали методы и аппаратуру для поисков затонувших кораблей, танков и другого военного снаряжения. Вместе с геологами и гидрогеологами выбирали участки для строительства военных сооружений и искали воду. Все для фронта — все для победы. Один из партизанских отрядов возглавил будущий декан геофизического факультета А.Ш. Усманов. Геофизики работали с миноискателями, обнаруживали подводные лодки, с помощью сейсмографов засекали батареи врага, работали на звукоулавливателях и просто воевали. Многие отдали свои жизни за нашу Родину. Их имена золотыми буквами высечены на мраморных досках, которые висят у входов в геофизические организации.

В передовой статье газеты "Правда" от 10 мая 1942 г. было написано, что современная война — это война моторов, причем мотор является сердцем самолета, танка, автомашины, а горючее — его кровь. Победит в итоге тот, кто сделает более мощный мотор и обеспечит непрерывное снабжение горючим. Для поисков горючего была организована Башкирская нефтяная геологоразведочная экспедиция. В ее состав вошли геофизики

и геологи, в их числе были О.Ю. Шмидт, Г.А. Гамбурцев, Н.Г. Шатский, Н.М. Страхов. В 1944 г. в Башкирии на Муллинской структуре из скв. 100 ударил мощный нефтяной фонтан\*. В оконтуривании структуры приняла участие электроразведочная партия Д.Е. Пометуна. Сейчас скв. 100 сохраняется как исторический геолого-геофизический памятник.

Всего в довоенное время было подготовлено для разбуривания около 100 структур; во время войны — 215, что является одним из главных достижений геофизиков-нефтяников. При изучении перспективных структур были открыты нефтяные месторождения, сыгравшие важную роль в обороне страны.

В 1941—1945 гг. советские геофизики вместе с геологами обеспечили выполнение важных заданий по поискам и разведке нефти, железа, свинца и многих других стратегических видов минерального сырья. Отечественная геофизика имеет свою историю и свои славные традиции. Появляются геофизические династии.

Если Вы пройдете по всем ступенькам обучения и практик, Вам дадут диплом специалиста и Вы вольетесь в поток выпускников. Они работают в разных уголках нашей страны и за рубежом, приумножая успехи геофизики и вписывая новые страницы в ее историю.

Во время встречи со студентами Политехнического института им. М.И. Калинина в Ленинграде Генеральный секретарь ЦК КПСС М.С. Горбачев сказал, обращаясь к студентам, что подрастающее поколение в скором времени должно будет взять на свои плечи дело развития науки и техники, ответственность за дальнейшее поступательное развитие социалистической Родины\*\*.

---

\* *Ильина Т.Д.* Формирование советской школы разведочной геофизики. — М.: Наука, 1985.

\*\* В соответствии с информацией о пребывании М.С. Горбачева в Ленинграде. — Ленинградская правда, 1985, № 115 (17 мая), с. 1.



## ЕСЛИ ВЫ ЛЮБИТЕ ПУТЕШЕСТВОВАТЬ

Без труда не вынешь рыбку из пруда  
Две стороны медали  
Встречи на дальних дорогах  
Путешествовать надо уметь

У всего "бродячего племени" — у геологов, топографов, изыскателей и, конечно, геофизиков есть термины "полевые работы", быть "в поле". Как они возникли — не известно, но означают они отнюдь не работу на ровном поле или в степи. Так именуются любые работы в экспедициях, партиях и отрядах, в том числе геофизические съемки в горах и лесах, на морях и океанах. Полевые работы выполняются в самое различное время года, но массовый выезд полевиков происходит весной. Если в это время Вы подойдете к любой геологической организации, то у ее входа увидите объявления о приеме на сезонную работу студентов, механиков, шоферов, рабочих. Внутри же чуть не в каждом помещении застанете предельно хлопоты, услышите разговоры о поле.

— Так куда ты, Иван Иванович, отправишься?

— На Камчатку. Аэромагниторазведка для уточнения геологических карт.

— Ну, а я в Горную Шорию. Как всегда буду заниматься шахтно-рудничной геофизикой.

— А почему Сергеев бежит такой мрачный?

— Через неделю ему нужно отправляться в Южную Атлантику. Рейс интересный, но у него аппаратура не в порядке. Тут уж не до веселья!

— Передай ему привет. Скажи, что если нужна помощь ...

— Ладно!

Конечно, можно быть геофизиком и на полевые работы не ездить, например, если Вы специализировались на интерпретации результатов съемок, составлении геофизических карт или разработке аппаратуры. Однако и в этом случае командировки неизбежны. С этим надо считаться, выбирая себе профессию геофизика.

Как же выглядят эти поездки "в поле"?

В рассказах путешественников все выглядит очень заманчиво, но это только потому, что рассказчик всегда стремится заинтересовать слушателя. Прозаическая сторона поездок кажется неинтересной. О ней не говорят. Вот и получаются приукрашенные, не совсем правдивые истории. На самом же деле (и это надо знать при поступлении в техникум или вуз



на геофизическую специальность) все путешествия геофизиков — это прежде всего работа и работа трудная, часто требующая незаурядных физических усилий и силы воли, железного упорства.

Ведь как просто звучит фраза "я шел по тайге". Услышав эту фразу, легко представить себе вековые деревья, следы зверей и улыбающегося полевика, легко идущего по живописной тропинке. А вот как об этом пишет поэт П. Нефедов в своих "Тажных проспектах":

Мы шли, со лба не вытирая пота,  
Гуденьем комарья оглушены.  
Под сапогами хлюпали болота,  
Кустарники цеплялись за штаны.

Это уже значительно ближе к истине! Но, может быть, на самолетах и кораблях работа геофизика легче и романтичнее? Что ж! Вот вам типичная картинка из жизни.

К самолету вы пришли невыспавшись, так как всю ночь ремонтировали аппаратуру. После взлета началась болтанка, т. е. то, что нелетающие граждане называют воздушными ямами. Вас слегка мутит. Вы сидите у пульта прибора и внимательно следите, не влияет ли эта болтанка на качество измерений. К тому же, почему-то засоряется перо регистратора и Вам приходится чистить его чуть ли не на каждом развороте самолета перед заходом на новый маршрут. Вы проклинаете и чернила, и регистратор, и то, что завтра придется так же вот сидеть перед этим самым пультом и послезавтра тоже. А вечером начальник отряда, не считаясь с Вашей усталостью, наверняка будет требовать, чтобы вы приняли участие в обработке данных ...

И на кораблях Вы столкнетесь с монотонной работой и качкой, иногда настолько сильной, что трудно и мыться, и бриться, и питаться, да и есть во время шторма не хочется. Ночью приходится упираться спиной в переборку, а коленями в борт койки, иначе вышвырнет на пол. Да еще изо дня в день, много месяцев подряд вокруг все одни и те же лица. "Как надоел этот сосед по каюте Петров со своими скучными разговорами. А его покашливания по утрам! Надо же — каждый день у умывальника кашляет 3 раза, потом после паузы еще 2 раза ... Так бы и стукнул его! Ну хоть бы что-нибудь новое в этой проклятой рутине" ... И как хочется почувствовать твердую землю под ногами, а ближайший заход в порт еще так далек?

Такова реальность? Но вот вам и другие картинки с натуры.

Вы просыпаетесь в палатке на берегу таежной быстрой реки. Журчит вода, светит солнце, поют птицы. Быстрое купание в ледяной воде, ощущение свежести и радости. Ваш помощник Петя уже зажарил рыбу, которую вы наловили вчера руками в ямке, где эта рыба застряла после неожиданного разлива реки из-за обильных дождей в ее верховье. Вперед, в путь! Сегодня надо сделать шестнадцатый замкнутый маршрут. И вот Вы уже шагаете по реке. Шумят перекааты. Жарко ... Одна точка наблюдений, другая ... Легкий прибор становится тяжелым. Что же, сделаем привал у этой груды живописных камней. Пищат бурундуки — им здесь раздолье.

— А это кто там на болоте? Черт побери, Петька, да это медведь! Что-то ест ... Не моховку ли? Похоже! Давай покричим, спугнем его и сами поедим моховки! Ага, удрал, топтыгин! Ну, пошли!

И вот Вы едите якутскую моховку. Еще год назад Вы и не знали о существовании этой ягоды, лучше которой, вероятно, нет. Черные гроздья ягод на низких стеблях, листья как у смородины, вкус ананаса ...

— Ну, ладно, Петя! Хватит! Вперед!

А в это время в тысячах километрах от Вас ваш друг Сергеев, тот, кто вчера клял все на свете (и кашель соседа по каюте, в частности), проснулся на палубе корабля. На черном, усыпанном звездами небе покачиваются чужие созвездия. У горизонта Южный Крест ... Пахнет какими-то цветами — недалеко берег Африки. Сергеев встает и идет на нос корабля. Вот это да! Разве найдешь слова, чтобы дома рассказать об этом обыкновенном и вместе с тем сказочном чуде! Вся вода светится, но там, где нос корабля режет воду, сине-зеленый огонь так ярок, так причудливо переливается ... А эти огромные медузы, ярко-синими шарами проплывающие вдоль борта! "Как жаль, — думает Сергеев, — что ни сфотографировать такую красоту, ни рассказать о ней как следует невозможно! Весь в кипении, непрерывно меняющийся, поднимающийся волнами бирюзовый, голубой, зеленый огонь ..."

Да! Это уже другая сторона путешествий.

Вот почему после долгого пребывания в городе, а особенно весной, геофизиков так и манят дальняя дорога, незнакомые места. Знаем хорошо, что и дорога нелегка, и работа тяжела, и едем-то мы не на прогулку, а для главного — для работы. Но знаем также, что если мы сумеем не только смотреть, но и видеть, если сердца наши открыты и людям, и красоте, нам предстоит увидеть то, что недоступно ни в больших городах, ни на курортах, ни на туристских маршрутах. А трудные испытания мы воспринимаем как горчицу — приправу к нашей жизни.

Путешествия — важная сторона нашей профессии. Без них геофизик не может ни открыть месторождение полезных ископаемых, ни разработать новые приемы геофизических работ, ни испытать новые приборы. Поэтому геофизики с полным правом могут петь старую полевую песню, в которой говорится:

Мы бывали в тундре и в пустыне,  
На Камчатке и на Сахалине,  
И на полюсе, и на Эльбрусе  
Жизнь такая, в общем, в нашем вкусе.

Автору этих строк пришлось немало поехать по нашей стране и побывать в других государствах. Ведь Советский Союз посылает своих специалистов в помощь геологам развивающихся стран и на различные международные конференции. А что дали мне эти поездки? Прежде всего, профессиональный, в том числе полевой, опыт, большое удовлетворение от проделанной работы, кроме того, более полное представление о мире и яркие воспоминания. Стоит лишь мысленно оглянуться назад, закрыть глаза. И встанут передо мною черные базальтовые горы траппов Сибири, а среди них в

глубоких провалах длинные, как змеи, озера с индигово-синей водой. Цветные переливы и муаровые ленты полярных сияний Арктики и Антарктики. Якутская тайга и тайга Горной Шории (они так же непохожи друг на друга, как непохожи даурская лиственница и кедр). Поражающие воображение храмы и дворцы Индии. Джунгли, слоны на лесоразработках, неплохо заменяющие тракторы. Бескрайние степи Казахстана, где пахнет полынью. Барханы и скалы страшной иранской пустыни Деште-Кевир и толпы велосипедистов в часы пик на улицах Роттердама. Храм святого Витта в Праге с его удивительными витражами. Старый каирский базар — одна из главных достопримечательностей столицы Египта, где каждому товару отведены маленькие узенькие улочки; я любил там неспеша пить кофе в кофейных лавочках, пробуя разные сорта и наблюдая за пестрой сутолокой, такой характерной для восточных базаров.

Я вижу величественную Лену, по которой сплавлился на карбазах и обычных лодках с экспедиционным грузом, ледопады в горах Кавказа и спуск способом Дюльфера за образцами руды в жутковатый рандкluft\* у края ледника Вильчека на Новой Земле.

Помню и Кейптаун — порт расистской Южно-Африканской Республики у мыса Доброй Надежды. Наш дизель-электроход "Лена" брал там воду, а мы (полярники из Антарктиды) принимали на борту "цветных" студентов из Кейптаунского университета. Тогда власти ЮАР еще разрешили им получить высшее образование. Никогда не забуду, как студент-мулат расплакался у нас и сказал, что на нашем корабле впервые за 25 лет почувствовал себя человеком. Увидеть это один раз своими глазами лучше, чем проштудировать множество статей об апартеиде.

Как ролик цветного фильма, разворачивается в памяти тот вечер, когда мы, геофизики разных стран, шли, взявшись за руки, по улицам Бангкока мимо статуй Будды и буддийских храмов, мимо застывших в удивлении полицейских и пели нашу песню "Подмосковные вечера". Многие не знали слов; они пели что-то свое — вероятно, о своем доме и о нашей Москве. Это был естественный порыв простых людей разных наций, обрadowанных встречей, желающих мира и дружбы.

Простите меня за патетический тон. Эти воспоминания очень дороги мне, и я считаю их своим богатством, величайшей наградой за труд.

Самое же ценное, что дала мне геофизика, если не говорить об увлекательной работе, это встречи с неординарными людьми и знакомство с их жизнью.

Помню прилетел я как-то на остров Диксон и зашел на почту отправить письма домой. Здесь, кстати, принято ставить на конверты экзотические штампы, и филателисты рады таким письмам. На улице ко мне подошли двое — мужчина и юноша лет 15—16.

— Скажите, где здесь принимают на работу?

— Не знаю. Спросите на почте — вой в том доме. Вы только что прилетели?

\*Ряд трещины — зазор между скалой и льдом.

— Да нет, мы с сыном пришли из ...

И он назвал небольшой поселок в 500 км от Диксона.

— На собаках?

Нет! Пешком.

Но ведь только вчера кончилась трехдневная пурга.

— Што нам пурга. Куропачили\*, однако. Привышные мы.

— Чем же вы питались?

— Да мешок пельменей заморозили в дорогу, взяли два куска щей и хлебушка.

— Ну, а компас у вас есть?

— Нашто он нам. Солнышко, да звезды! А без них шли по застругам\*\*.

— Как еду-то разогревали?

— Сухим спиртом. Хорошая штука.

И они пошли на почту, а я глядел им вслед с почтением. В ту пору я считал себя бывалым полярником и мерзлый хлеб не раз рубил топором, и щи, завернутые в наволочку, потаскал в рюкзаке, и знал как ориентироваться по звездам и по снежным застругам, но в такой поход без компаса, пешком, да еще с сыном не решился бы идти ни за какие коврижки! Вот это люди! Не из таких ли и вышли великие землепроходцы, открывшие север Евразии для России?

Так же на Севере на зимовье вблизи устья р. Таймыры подружился я с бригадиром артели охотников и рыболовов И.С. Лодыгиным. В юности он заболел туберкулезом и ... уехал на Новую Землю. Охотничал по контракту. Чистейший воздух Арктики, здоровая простая пища и тресковый жир, который в течение первых дней после приготовления очень вкусен, вылечили его. В полярные ночи у зимовщиков много свободного времени, и он не терял его — пристрастился к чтению. Библиотека на зимовке была большая. Увлёкся философией, историей литературы. Из поездок на "большую землю" привозил ящики книг. И стал образованнейшим человеком, интересным собеседником и рассказчиком. Перебрался на Таймыр. Иногда мы охотились с ним на оленей — снабжали мясом зимовку (к весне, когда в рационе почти нет витаминов, оленина очень полезна). До сих пор помню, как мы нашли бивень мамонта, и рассказы Ивана Степановича о творческом методе Золя, о философских взглядах Спенсера и Локка. А как знал он северную природу! В одном из наших походов я увидел вдалеке гусей.

— Не подстрелить ли нам парочку? — спросил Иван Степанович.

— Так ведь до них не меньше километра и летят не к нам!

— А мы их приманим. Замрите!

Тут он повернулся лицом к стае и стал медленно махать руками. И что вы думаете? Гуси развернулись и полетели к нам. Тут мой спутник поднял ружье и в момент, когда они летели прямо над нами, как бы неб-

---

\* Куропачить ( местное слово) — спать в снегу.

\*\* Заструги — волнообразные следы ветра на снежной поверхности, ориентировка которых при постоянном ветре не меняется.

режно выстрелил; два гуся забились на мокрой земле. Он просто знал то, что было невелико мне: оказывается, гуси очень любопытны.

— Где-то Вы сейчас, Иван Степанович?

А тот жаркий день в тысячах километров от Таймыра остался в памяти до мельчайших подробностей, так как утром мне принесли первый kern богатой руды из скважины, заложенной на перспективной территории, — такие дни не забываются. Я помню даже, о чем думал тогда, сидя в машине, несущейся по шоссе в самом сердце Ирана, где-то посередине между городом Иезд (религиозным центром иранских огнепоклонников — зороастрийцев) и древней столицей Ирана — Исфаганом, где по советскому проекту строился металлургический завод.

Когда стрелка термометра дошла до 60 °C, я попросил остановиться у придорожной чайханы и мы с шофером сели за столик. Нам подали ледяную кока-колу и чай, приготовленный с добавкой из сушеных лимонов. Неподалеку сидела группа хиппи, по-видимому, американцев или англичан, настолько грязных, что я переставил стул, чтобы их не видеть. И тут заметил, что за соседним столиком сидят два араба в чалмах и белоснежных широких одеяниях, причем оба огромного роста с красивыми суровыми лицами. Они напоминают орлов, случайно залетевших к людям, — подумалось мне. Вдруг один из них извинился и спросил по английски: "Откуда ты, чужеземец?" — "Я из Советской России". И тогда произошло неожиданное. "Брат мой — разреши мне тебя так назвать — мы знаем, что русские — настоящие братья арабов. Но это первая встреча с представителем вашей великой страны. Позволь же нам с Али обнять тебя. Память об этой встрече будет светить нам в пути". К восточной манере изъясняться я уже привык, искренность его была несомненна. Мы обнялись и расцеловались к немалому удивлению хозяина чайханы... И снова замелькали по сторонам дороги песчаные барханы, развалины древних сторожевых башен и караван-сараев, а вдали у горизонта обычный в этих местах пустынный мираж рисовал нам то пальму, то стада верблюдов... Шофер Султана напевал какую-то тягучую песню, а я под впечатлением разговора с арабами вспоминал о другой встрече совсем в ином месте — в Египте, на берегу Красного моря. Там я купался и нырял за кораллами после тяжелейшего маршрута по восточной Сахаре. Одетые в полосатые пижамки, большеглазые арабские мальчишки из поселка узнали от шофера, что я русский, окружили меня с криками "Сталинград! Сталинград!" и дружно отдали мне честь.

Да! Несмотря на все трудности, наши профессиональные путешествия очень интересны, но путешествовать надо уметь.

Многие из вас ходили в туристские походы. Вспомните — ведь даже отправляясь в легкий пеший туристский маршрут, нужно, как минимум, уметь подобрать одежду, обувь, продукты, уметь правильно распределить вещи в рюкзаке, правильно их упаковать, знать правила ходьбы на длинные дистанции, уметь разжечь костер, приготовить пищу, организовать ночевку. Но полевые работы — это не турпоход. Они выполняются обычно в удаленных от поселений местах, часто со сложными природными условиями, продолжаются зачастую 3—5 месяцев и дольше. Очевидно,



что для успешного выполнения задания мало быть профессионально подготовленным. Чтобы избежать осложнений и несчастий, чтобы труд был по возможности легким, чтобы в партии или отряде был хороший психологический климат, а настроение участников работ было бодрое и веселое, чтобы обеспечить нормальное питание, доступный в поле комфорт и чтобы все благополучно возвратилось домой к своим близким, всем участникам полевых работ надо многое знать. Всем, а не только руководителям. В поле один за всех и все за одного.

Эти особые знания нужны прежде всего вам самим. Без них может быть очень плохо. Дело не только в несчастных случаях, но и в том, что при отсутствии специальных навыков и знания некоторых важных правил можно оказаться в тягость другим участникам и восстановить всех против себя, попасть в сложные ситуации, испытать трудности, страх и мучения там, где опытный полевик чувствует себя как рыба в воде.

Наука о том, как организовать полевые работы, как вести себя в пути и в поле, отнюдь не проста. В институте или техникуме Вы, конечно, получите некоторые полевые навыки на учебной практике. Вам расскажут и о технике безопасности — ее правила надо знать как таблицу умножения; ведь они разрабатывались учеными на основе глубокого изучения реальных несчастных случаев. Однако науку о путешествиях надо осваивать гораздо шире и со всей серьезностью. Об этом написано немало книг — их надо не только читать, но и изучать; очень полезны описания путешествий — их опубликовано немало. Кроме того, надо без стеснений спрашивать опытных людей. Если же Вы хотите узнать основы этой особой науки, то запомните следующее.

В поле посылают минимально необходимый контингент. На месте работ состав партии часто приходится делить на совсем маленькие отряды, работающие в удалении от основной базы. Во многих случаях работа таких отрядов взаимозависима. Второстепенных работ, запасных исполнителей и оборудования, как правило, не бывает. Отсюда вытекает ряд следствий.

Во-первых, выход из строя всего лишь одного человека может сорвать все дело. Поэтому в поле нужно брать лишь здоровых людей, в связи с чем все полевики проходят медосмотры. Скрывать свои болезни ни в коем случае нельзя — это опасно. Ведь в полевых условиях врачебная помощь обычно возможна только с большой задержкой.

Во-вторых, все должны быть технически грамотны в своей области, обязаны уметь ремонтировать порученную им технику. В истории геофизики бывали случаи, когда ничтожные неполадки оборудования приводили неопытных исполнителей к срыву работ или вызывали большие затраты. Желательно, чтобы сотрудники полевых отрядов могли заменять друг друга на основе совмещения профессий и, вообще, уметь делать многое. При работе в удаленных местах на это обращается особое внимание. Так, при подборе состава Первой советской Антарктической экспедиции учитывалось, что умеют делать специалисты помимо основной работы. Каждый участник экспедиции имел три-четыре и более профессий. Это позволило делать многое при малом числе людей. Так, автор этих строк — стар-



ший научный сотрудник экспедиции — выполнял в Антарктиде по мере надобности работу оператора при наземных магнитных, гравиметрических и аэромагнитных съемках, топографа, аэрофотосъемщика, вычислителя, грузчика, столяра, слесаря, маляра, участвовал в сборке и отделке домов, ремонтировал геофизические приборы. Стряпал и вел метеорологические наблюдения во время некоторых походов; снял по заданию одной из студий Ленинграда небольшой фильм о работе экспедиции, сделал несколько тысяч цветных снимков, часть которых потом была передана в Музей истории Ленинграда, делал и многое другое. Так работали все. Даже пожилые профессора, прибывшие в Антарктиду на летний полевой сезон, требовали (именно требовали) допустить их к разгрузке кораблей и строительству поселка Мирного. Так и работали всегда "без чинов" вместе со всем коллективом все настоящие полевики.

Встречаются, к сожалению, и люди другого типа. В январе 1983 г. в "Литературной газете" был описан случай, когда группа молодых геологов Центрально-Кольской экспедиции отказалась перенести на себе на расстояние 5 км (всего 5!) палатку, спальные мешки и продукты, хотя это было нужно для выполнения плана. Они ссылались на то, что плохую организацию работ не следует компенсировать энтузиазмом. Но о каком энтузиазме была речь? Конечно, переноска грузов не входит в обязанности геолога, но требовался-то пустяк. Речь шла не о тоннах и не о сотнях километров. Одно из двух: либо эти молодые геологи абсолютно безответственны, а поэтому непригодны для полевых работ, либо здесь были особые причины. Поскольку в нормальном коллективе эти люди сразу должны были потерять уважение товарищей, можно предположить, что в коллективе партии был плохой психологический климат.

Психологический климат в полевых партиях и в каждом отряде имеет огромное значение, зависит от всех и прежде всего от руководителей, которые должны стремиться стать не только формальными, но и неформальными лидерами для своих подчиненных. Руководителям даже самых маленьких отрядов полезно знать теорию лидерства, которой посвящена теперь обширная литература. При всех обстоятельствах им нужно сознательно, целенаправленно создавать дружный коллектив.

Работоспособность коллектива, общий его климат зависят от психологической совместимости состава. О ней немало и по-разному пишут в литературе, ведутся серьезные исследования. И не удивительно. Ведь установлено, что даже в условиях больших городов 20 % всех уволившихся из институтов и конструкторских бюро уходят из-за психологической несовместимости. Что же говорить о роли этого фактора в маленьких, изолированных коллективах полевиков! Отметим, что по нашим наблюдениям несовместимость людей часто не является чем-то непреодолимым, связанным с врожденными биологическими и психологическими свойствами людей, и совсем не обязательно отражает какие-то серьезные особенности личностей. Во многих случаях заявления о невозможности работать с тем или иным человеком или с определенной группой людей поступают от лиц, не умеющих понять и простить мелкие случайные поступки сослуживцев. Контактность, умение работать с самыми разными

людьми, тактичность и терпимость могут быть достигнуты на основе самовоспитания, внутренней дисциплины, разумного поведения. Это трудно выработать в себе, но сами-то правила в сущности просты.

Прежде всего, не надо наклеивать на людей ярлыки. Каждый человек — целая вселенная чувств, страстей, достоинств и недостатков, каждый раним, а при некоторых ситуациях и незащищен. Кроме того, следует помнить формулу: отношение людей к вам в значительной степени зеркально отражает ваше отношение к людям. Как часто мы забываем об этом! Сколько психологических травм и жалоб на несовместимость связано с забвением этой исходной посылки нормального общения.

Труднее всего работать с людьми равнодушными, эгоистичными и теми, кто делает все кое-как. На основе их поступков часто возникают конфликты и чрезвычайные происшествия. перевоспитать их трудно. Наиболее приятно работать с тем, кто внимателен к окружающим, много знает и умеет, работает добросовестно, обладает чувством юмора, непрерывно совершенствуется, учится, а следовательно, меняется и поэтому интересен для окружающих. Но ведь таким и должен быть настоящий человек. Иначе жить не интересно.

Вообще, если Вы твердо решите стать геофизиком, не мешает заняться специальной подготовкой, самовоспитанием. Остальное добавит практика при условии критического объективного анализа своих действий. Вспомните историю великого полярного исследователя Р. Амундсена, который с юности готовил себя к трудным путешествиям. Подобно ему (он был в юности физически слабым и болезненным) в первую очередь следует закалять свой организм. Очень важно заниматься спортом, особенно теми его видами, которые нужны в поле. Полезно уметь ходить на лыжах, изучить правила альпинизма, необходимо уметь хорошо плавать, грести, желательно уметь водить и ремонтировать автомобили. Будет очень хорошо, если Вы научитесь фотографировать, работать с кинокамерой, изучите основы дешифрирования аэроснимков. Умея фотографировать, Вы сможете зафиксировать и важнейшие события в своих поездках, и красоты природы, снять новый прибор или обнажение горных пород для отчета. При этом Вам не составит труда в случае необходимости проявить осциллографную ленту и пленку аэрофотоаппарата.

Как все люди "романтических" профессий, геофизики избегают ненужного риска, не провоцируют "приключения", избегают бравады. Приключений и без этого не избежать.

Да, друзья! Человек — властелин природы, но обращаться к ней надо на Вы.

Учитесь путешествовать!



## КАКАЯ ЭТО НУЖНАЯ И ВАЖНАЯ, С БОЛЬШИМ БУДУЩИМ НАУКА- ГЕОФИЗИКА

Народному хозяйству нужно все больше  
полезных ископаемых  
Всюду требуется геофизик  
Ваше имя может появиться  
на геофизической карте

Наша страна полностью обеспечена запасами полезных ископаемых всех видов. Для всей территории СССР составлена государственная геологическая карта. Как уже было сказано, при поисках месторождений и составлении карт широко используются геофизические данные. Академик А.В. Сидоренко как-то сказал, что главной заслугой геологической службы страны является создание энергетического и минерально-сырьевого щита Родины. В том, что этот щит у нас сегодня есть, немалая заслуга принадлежит геофизикам. Эти труженики, работая в сложных условиях, внесли большой вклад в развитие страны и ее экономики. Они создали приборы и методики съемок, прошли по нехоженным тропам, пролетели над неизученными территориями с летающими лабораториями, проплыли на кораблях с морскими геофизическими станциями и за короткий срок вместе с геологами обеспечили базу для развития нашей промышленности. Среди них были ветераны, первыми определившие удельное электрическое сопротивление земных слоев, плотность руд, намагниченность минералов, радиоактивные свойства в пределах урановых месторождений и другие физические характеристики горных пород в различных районах страны. Их преданность своему делу всегда должна быть примером для новых поколений геофизиков.

Знание физических полей делало все более ясным устройство земных недр и распределение в них полезных ископаемых. В пределах территории Советского Союза были встречены горные породы всех геологических эпох, обладающие широким спектром физических свойств. Из этих пород сформированы структуры различных типов. Большое разнообразие геологических условий и привело к тому, что в недрах нашей страны обнаружены многочисленные разновидности месторождений полезных ископаемых. Это итог напряженного труда полумиллионной армии геологов и геофизиков. Десятки институтов, большое число экспедиций и полевых партий, территориальные производственные геологические объединения ведут постоянную и напряженную геолого-геофизическую работу.

Как Вы видели, советские геофизики разработали различные методы разведки месторождений полезных ископаемых. Во многих случаях им принадлежит приоритет. В нашей стране самая крупная геофизическая

служба мира, охватывающая различные участки территории страны — от северных до южных и от западных до восточных. Представьте, что мы пролетим на самолете с установленной на нем аэрогеофизической станцией над различными районами страны. Стрелки приборов запишут аномалии от объектов, отличающихся друг от друга по магнитным, электрическим и радиоактивным свойствам. Интерпретируя результаты, можно обнаружить новые месторождения, а над известными — проверить работу приборов. Кладовые Кольского полуострова и Карелии богаты месторождениями медно-никелевых руд, фосфоритов, железа, слюды, керамического сырья, строительных материалов, сланцев, торфа и минеральных подземных вод.

Гул самолета над лесом пугает его обитателей. Они разбегаются, заслышав непривычный для лесной чащи шум. Здесь идет аэрогеофизическая съемка. Из дня в день сюда прилетает самолет: геофизики детализируют выявленные аномалии, делая съемки на разных высотах и маршрутах. Анализ диаграмм показал, что можно предположить наличие рудного тела под каменистыми осыпями. Через неделю на косе горный речки садится вертолет. Из кабины появляются первопроходцы — геофизики с наземными приборами. Они найдут и заверят аномалию, на земле изучат ее, соберут образцы для определения свойств пород. Если предположения о наличии рудного тела подтвердятся, аномалию передадут геологам. И кто знает, может, через какое-то время здесь будет рудник. Там, где прошли геолог и геофизик, вырастают города, поселки, заводы по переработке сырья, школы, дома культуры, кинотеатры и жилые дома.

Урал. Для него характерно большое разнообразие физических свойств горных пород. Магнитный железняк, уголь, медь, каменная соль, слюда и т. д. — все, что нужно человеку, здесь есть. Алтай — шкатулка с месторождениями меди, свинца и других полезных ископаемых. Многие промышленные районы, которые используют уголь Карагандинского и Печорского угольных месторождений, железо Курской магнитной аномалии, Кустанайского, Ангаро-Илимского и других железорудных месторождений, удалось создать при активном участии геофизиков.

А Байкало-Амурская магистраль? Она прошла по ряду разнообразных в геологическом отношении районов с богатыми недрами. В районе трассы БАМ сегодня создаются производственные комплексы, промышленность которых обеспечивается сырьем из местных месторождений. Так, в Южно-Якутском территориально-производственном комплексе имеются запасы коксующихся углей. Около Южно-Якутского угольного бассейна находятся железорудные Южно-Алданский и Чаро-Токкинский районы. А соседство железных руд и угля создает благоприятные условия для развития металлургии. Здесь продолжают геофизические работы, идет поиск новых рудных тел.

На севере Читинской области завершается разведка месторождения медистых песчаников. Условия для работы геологов в этом районе сложны. Месторождений не видно, они находятся на глубине и перекрыты каменистыми осыпями, что мешает передвижению. Геофизики идут в этих местах первыми. Методами электроразведки они находят медистые пес-

чаники, имеющие низкое удельное сопротивление. Достаточно часто применяются приборы для дипольного электромагнитного профилирования. Гравиразведчики изучают плотность горных пород в местах выявленных аномалий — песчаники с медью имеют большую плотность по сравнению с окружающими породами. Применяется и инженерная геофизика при строительстве железнодорожных станций, туннелей, мостов, насыпей и поселков. На востоке страны все время идут поиски руд олова — без геофизики их не найти.

Все полезные ископаемые нашей Родины становятся объектом поиска геофизика, а каждая находка укрепляет могущество нашей страны. Много зависит от искусства геофизика. Анализируя физические свойства, он выбирает наиболее характерные для геологического объекта, что и определяет подбор методов для геофизической съемки. Дальше начинается поиск. К чему он приведет, еще не известно. Но всегда поиск является научно-производственной работой. Как правило, геофизик сталкивается с новыми, практически не дублирующими друг друга, геологическими ситуациями.

Каждое месторождение имеет свою историю, своих героев — первооткрывателей, свои запасы и определенную область применения сырья. В краеведческих музеях различных городов нашей страны часто можно увидеть фотографии геофизиков. Магнитометры, радиометры или электроразведочные приборы, применявшиеся при поисках месторождений в этих краях, стоят рядом. Отгадать физические загадки природы, связанные с обнаружением различных по свойствам руд или пластов горных пород, найти в кажущемся хаосе недр то, что нужно сегодня людям, — все это зависит от опыта и инициативы геофизика.

Даже при обработке данных геофизических наблюдений с помощью электронно-вычислительных машин остается много тайн. Есть ли здесь руда, на какой глубине, сколько ее — на эти вопросы геофизики отвечают, "заглядывая" сквозь непрозрачные земные слои. Все время увеличивается глубина поиска. Очень слабые сигналы приходится регистрировать на фоне помех. Слабый сигнал от месторождения металлических руд низкого удельного сопротивления может быть затупен более сильным сигналом, обусловленным влиянием рельефа или наносов тоже с низким удельным сопротивлением. Поэтому крайне важно выбрать правильную методику работ — оптимальные частоты, разносы генераторов и приемников, измеряемые характеристики, чтобы подчеркнуть полезный сигнал. Живые "приборы" — органы чувств животных работают при отношении полезного сигнала к помехе 30:1, а сделанные руками человека — только при отношении 3:1. Так что понадобится еще много математических программ и аппаратных теорий, развивающих геофизическое приборостроение.

Проводя поиск, изучая физические свойства минералов, составляя геологические карты, работники геофизических экспедиций и лабораторий вместе с тем становятся и первооткрывателями новых геофизических явлений. Современность очень быстро становится историей геофизики, но она же превращается в трамплин для будущих открытий.



В старейшем геологическом научно-исследовательском институте нашей страны — ВСЕГЕИ висят мемориальные доски с именами выдающихся геологов и геофизиков. Золотыми буквами на мраморе высечены имена А.А. Логачева и Л.Я. Нестерова. Они же навечно внесены в списки сотрудников ВСЕГЕИ. Мы говорим, что это старейший институт. Вместе с тем в 1982 г. ему исполнилось всего 100 лет. Тайны Земли создавались миллиарды лет, и, конечно, еще многие загадки Земли остаются неразгаданными. Ведь мы пока изучаем только тонкий верхний слой земной коры. Самолеты с приборами, спутники, батискафы, углубленное изучение физических полей и свойства минералов дадут новые открытия. Геолого-геофизические заповедники, быстросейсмические электронно-вычислительные машины, сложнейшая лабораторная техника, наземные, воздушные, скважинные и шахтные приборы, геофизические обсерватории для наблюдений за закономерностями неживой природы — таковы средства геофизического познания.

В нашей стране существует закон об охране исторических памятников. На основании этого закона перед началом строительства все перспективные участки должны быть опрысканы с тем, чтобы не пострадали исторические памятники, и здесь важную роль должна сыграть археологическая геофизика. Она поможет выявить новые древние города "ольвии" и "херсонесы". Там, где применяется геофизика, эффективность археологических раскопок повышается в несколько раз, и каждому краеведческому музею тут есть над чем подумать.

В планах наших работ на текущее пятилетие и дальнейший период отмечается необходимость развития новых геофизических методов. Значение геофизических работ будет все время возрастать — запасы сырья уменьшаются, а искать его все сложнее. Месторождения будут находиться на все больших глубинах, более сложно маскироваться природой в недрах и содержать все меньше и меньше рудных минералов, иными словами, — будут незначительно отличаться по своим свойствам от вмещающей среды. Геофизические методы становятся все нужнее и нужнее и их надо совершенствовать.

Мы рассказали в этой книге о хорошо и мало изученных явлениях и свойствах, с которыми сталкиваются геофизики. Тем из Вас, кто решится стать геофизиком, желаем решить все задачи — найти нужные людям руду и нефть, изучить сверхглубокие скважины, отыскать археологические памятники и узнать строение Земли. И, кроме того, содействовать сохранению для потомков основных природных ценностей.

Получив геофизическую специальность, Вы можете работать в самых разнообразных организациях — производственных геологических объединениях, по территориальному признаку охватывающих всю страну, экспедициях, институтах, предприятиях различных министерств, руководящих народным хозяйством. Это могут быть горно-обогатительные комбинаты, рудники, шахты и строительные площадки, разбросанные по всей территории нашей Родины. Даже археологическая экспедиция может быть местом Вашей работы, но в ней Вы тоже будете геофизиком. Везде Ваш труд будет нужен народному хозяйству.



А если все же ошиблись в выборе? Бывает и так, что человек выбрал одну специальность, а потом ему захотелось ее изменить. Вы видите, что здесь есть большая возможность для внесения таких поправок.

Инженеры-геофизики, техники и рабочие геофизических партий каждый день проверяют аппаратуру, ведут полевые наблюдения, записывают отсчеты в полевые журналы, анализируют графики, склоняются над лентами самописцев и экранами осциллографов, измеряют те или иные свойства образцов, сопоставляют результаты физических наблюдений с геологическими предпосылками, каждый день увеличивая геолого-геофизическую изученность Земли.

Имена геофизиков увековечиваются в различных названиях. Именем сейсмолога акад. Ю.Н. Година названо геофизическое судно, имеется Годинская перспективная нефтегазоносная площадь в юго-восточной части Каспийского моря. Структурный вал им. Гамбурцева — создателя теории сейсмографов — имеется в Ненецком автономном округе, там же вал им. Сорокина — советского гравиметриста, одним из первых применившего гравиметры при поисках нефтяных месторождений. Месторождение имени Баумана находится в Мончегорском районе Мурманской области.

Улица им. С.А. Петропавловского есть в г. Сибее Башкирской АССР и названа она так в честь советского геолога-геофизика, одного из первооткрывателей Сибайского медноколчеданного месторождения. В поселке Кавалерово Приморского края есть Геофизический переулок. Там живут геофизики, работающие в геофизической экспедиции. И таких геофизических улиц и поселков в нашей стране много. Живут там хорошие люди. Если Вы туда поедете, считайте, что Вам повезло.

Труд геофизиков ценится высоко. За успехи в работе — участие в открытии различных месторождений многие геофизики награждены Ленинскими и Государственными премиями, орденами и медалями, почетным званием "Заслуженный деятель науки и техники". Так, за создание и внедрение высокоинформативных методов акустического и нейтронного каротажа для повышения эффективности поисков, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений была присуждена Государственная премия 1982 г. в области техники В.Х. Ахиярову, О.М. Нелепченко, О.Л. Кузнецову, Л.Г. Петросяну, Д.Ф. Беспалову, Ю.С. Шимелевичу, Л.Н. Воронкову, В.Ю. Зайченко, Е.В. Карусу, Д.А. Крылову, Р.Х. Муслимову, С.А. Султанову.

Итак, в добрый путь. Вы, сегодняшние школьники и студенты, будете геофизиками XXI в. Ваш труд всегда будет нужен. Помните, что трудиться Вам придется в коллективе вместе с представителями других специальностей. Держайте и беритесь за большие дела. Труд этот почетен, но сложен. А дорога к овладению специальностью геофизика одна — через знания и работу. И от Вас будет зависеть изучение физики Земли, открытие новых месторождений и даже сохранение столь важного для всех экологического равновесия.



## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ И ИХ ТОЛКОВАНИЕ

Аномалия —

отклонение геофизического поля от нормального

Бурение —

процесс сооружения горной выработки цилиндрической формы; часто сопровождается геофизическими исследованиями, которые выполняются с помощью специальных приборов (см. "каротаж" и "скважинную геофизику")

Вмещающие породы —

горные породы, в которых находятся рудная залежь, жила или иное тело с полезным ископаемым

Возмущающий объект —

объект, создающий аномалию

Гамма-спектрометр —

прибор для исследования радиоактивности горных пород и руд и для раздельного определения содержания в них урана, тория и калия

Геологическое картирование (г. к) —

метод составления геологических карт

Геологический разрез (г. р.) —

изображение геологического строения исследуемого участка земной коры в вертикальной плоскости с указанием состава, возраста, и физических свойств горных пород

Геофизические методы исследования скважин —

см. "каротаж" и "скважинную геофизику"

Горные породы —

естественные природные образования, слагающие земную кору и состоящие из более простых тел — минералов; например кварц, полевой шпат и слюда составляют граниты; существуют (мономинеральные породы, из одного минерала) например мраморы

Гравиметр —

прибор для измерения ускорения свободного падения

Гравиразведка —

геофизический метод разведки, основанный на изучении гравитационного поля (силы тяжести), аномалии которого вызваны различной плотностью горных пород и руд

Инtruзия —

глубинное магматическое тело, возникшее в результате внедрения магмы в пределы земной коры и последующего остывания, сопровождаемого затвердеванием

Кажущееся удельное сопротивление —

электрическое сопротивление, измеряемое в электроразведке и электрокаротаже, зависящее от соотношения удельных электрических сопротивлений геологических пород, условий их залегания, методов и условий измерения

Каротаж —

геофизические исследования скважин с целью изучения вскрытого скважиной геологического разреза и выявления полезных ископаемых

Коллекторы нефти, газа и воды —

пористые или трещиноватые горные породы, в которых скапливаются нефть, газ, вода

Методы геофизической разведки —

Способы решения геологических задач, основанные на изучении и анализе физических полей на поверхности земли, в скважинах, шахтах, в атмосфере и море

Магнитная восприимчивость горных пород —

величина, характеризующая способность намагничиваться в магнитном поле

Магниторазведка —

геофизический метод разведки, основанный на изучении магнитного поля Земли и его изменений, обусловленных различными магнитными свойствами горных пород

**Магнитометр** —

прибор для измерения напряженности магнитного поля

**Месторождение** —

природное скопление полезного ископаемого в толще горных пород, которое в количественном и качественном отношении может быть предметом промышленной разработки при данном состоянии техники и в данных экономических условиях

**Опорная точка** —

точка (пункт) на местности, на которой периодически выполняются наблюдения для контроля работы геофизических приборов

**Минерал** —

продукт природных процессов химического и физического характера, получивший химическую индивидуализацию в виде простых тел, соединений и смесей таковых

**Моделирование** —

воспроизведение и исследование физических явлений на моделях

**Наносы** —

молодые (четвертичные) отложения, покрывающие коренные породы

**Поиск месторождений полезных ископаемых** —

комплекс работ (геологических, геофизических и др.), направленных на выявление и перспективную оценку месторождений полезных ископаемых

**Разведка месторождений полезных ископаемых** —

комплекс геологических, буровых, геофизических и других работ, проводимых для определения промышленных параметров месторождения с целью решить вопрос о целесообразности передачи его в эксплуатацию

**Радиоактивные методы геофизической разведки** —

методы поисков и разведки, основанные на изучении радиоактивности горных пород

**Радиометр** —

прибор для измерения радиоактивного излучения горных пород

**Региональные геофизические исследования** —

изучение основных особенностей геологического строения крупных участков земной коры в целях составления мелкомасштабных геологических карт и выявления районов, наиболее перспективных для детальных поисков полезных ископаемых, в том числе с помощью геофизических методов разведки

**Сейсмограмма** —

запись сейсмических колебаний по сигналам, поступающим от сейсмоприемника

**Сейсмоприемник** —

электромеханический прибор для преобразования воспринимаемых им механических колебаний земли в электрические сигналы

**Сейморазведка** —

геофизический метод разведки, в основе которого лежат регистрация и расшифровка упругих колебаний горных пород, вызванных взрывом или ударом

**Сеймостанция** —

комплект сейсмической аппаратуры и вспомогательного оборудования, обеспечивающей регистрацию и последующий анализ сейсмических данных

**Скважинная геофизика** —

методы изучения физических полей в скважинах с целью изучения пространства около скважины или между скважинами

**Структура горной породы** —

совокупность признака, определяемая размерами и формой кристаллов, составляющих породу

**Электрод (в электроразведке)** —

специальный заземлитель, применяемых для ввода электрического тока в землю и измерения разности потенциала

**Электроразведка** —

геофизический метод разведки, основанные на изучении естественных и искусственно созданных в недрах электрических или электромагнитных полей

**Ядерные методы геофизической разведки** —

геофизические методы, основанные на использовании внутриядерных свойств различных веществ, составляющих горных пород



## СОДЕРЖАНИЕ

- 3 Геофизика — поэзия недр
- 6 Магнит ищет сокровища недр и разгадывает загадки
- 19 Как электромагнитные волны просвечивают Землю
- 28 Наша планета Земля все время прослушивается геофизиками
- 37 Месторождения могут звучать
- 47 Сила тяжести рассказывает о глубинах Земли
- 54 Секреты гелия и ядерная геофизика
- 63 Сверхглубокие скважины — "космос наоборот"
- 72 Геофизика — "всевидящий глаз" археологии
- 78 Геофизика помогает поискам воды и строительству
- 83 Геофизические приборы в живой природе
- 91 Нужно ли сохранять участки месторождений?
- 96 Миниатюрные молнии изучают физические свойства минералов
- 101 Нравится ли Вам ходить в музеи и библиотеки?
- 105 Для тех, кто захочет стать геофизиком
- 112 Если Вы любите путешествовать
- Какая это нужная и важная, с большим будущим наука — геофизика
- 121
- 126 Специальные термины и их толкование



**КНИГИ,  
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ  
ДЛЯ ЧТЕНИЯ**

1. Брагинский В.Б., Полнарев А.Г. Удивительная гравитация. — Библиотека "Квант", 1985, вып. 39, с. 159.
2. Бублейников Ф.Д., Иванов А.Г. Геофизические методы поисков полезных ископаемых. — М.: Гостоптехиздат, 1961.
3. Дахнов В.Н. К познанию недр Земли (Геофизические исследования скважин). — М.: Недра, 1968.
4. Друянов В. Загадочная биография Земли. — М.: Недра, 1975.
5. Друянов В. Прозрачные недра. — М.: Советская Россия, 1979.
6. Иванов А.Г. Физика в разведке земных недр. — М.: Недра, 1972.
7. Козловский Е.А. Геологи открывают богатства недр. — М.: Недра, 1980.
8. Ларионов А.К. Занимательная инженерная геология. — М.: Недра, 1974.
9. Новиков Э.А. Планета загадок. — Л.: Недра, 1980.
10. Олейников А.Н. В недра Земли. — Л.: Недра, 1979.
11. Почтарев В.И. Земля — большой магнит. 3-е изд., испр. и доп. — Л.: Гидрометеониздат, 1974.
12. Темко С.В., Соловьев Г.А., Милантьев В.П. Физика раскрывает тайны Земли. Пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1978.
13. Франтов Г.С. Геология и живая природа. — Л.: Недра, 1982.
14. Франтов Г.С., Пинкевич А.А. Геофизика в археологии. — Л.: Недра, 1966.



35 коп.

# Занимательная ГЕОФИЗИКА



НЕДРА