

ВВЕДЕНИЕ

Геофизические методы исследований — это научно-прикладной раздел геофизики, предназначенный для изучения верхних слоев Земли, поисков и разведки полезных ископаемых, инженерно-геологических, гидрогеологических, мерзлотно-гляциологических и других изысканий и основанный на изучении естественных и искусственных полей Земли. Геофизика, находясь на стыке нескольких наук (геологии, физики, химии, математики, астрономии и географии), изучает происхождение и строение различных физических полей Земли и протекающих в ней и ближнем космосе физических процессов. Ее подразделяют на физику Земли, включающую сейсмологию, земной магнетизм, глубинную геоэлектрику, геодезическую гравиметрию, геотермию; геофизику гидросферы (физику моря); геофизику атмосферы и космоса и геофизические методы исследования, называемые также региональной, разведочной и скважинной геофизикой. Предметом исследования научно-прикладных разделов геофизики является осадочный чехол, кристаллический фундамент, земная кора и верхняя мантия с общей глубиной до 100 км.

Общее число геофизических методов или модификаций превышает 100 и существуют различные их классификации. По используемым физическим полям Земли их подразделяют на гравиразведку, магниторазведку, электроразведку, сейсморазведку, ядерную геофизику и терморазведку, называемые также гравиметрическими, магнитными, электромагнитными, сейсмическими, ядерно-физическими и термическими геофизическими методами исследований. В первых двух используют естественные, а в остальных — естественные и искусственные физические поля Земли. К естественным (пассивным) физическим полям Земли относят гравитационное (поле тяготения), геомагнитное, электромагнитное (разной природы), сейсмическое (поле упругих колебаний в результате землетрясений), радиоактивное и термическое. К искусственным (активным) относят следующие физические поля: электрическое, электромагнитное, сейсмическое (поле упругих колебаний, вызванных искусственным путем), вторичных ядерных излучений, термическое (поле температур).

Каждое физическое поле определяется своими параметрами. Например, гравитационное поле характеризуют ускорением свободного падения g и вторыми производными потенциала (W_{xz} , W_{yz} , W_{zz} и др.), геомагнитное поле — полным вектором напряженности T и различными его элементами (вертикальным — Z , горизонтальным — H и др.), электромагнитное — векторами магнитной H и электрической E компонент, упругое — временем и скоростями распространения различных упругих волн, ядерно-физические — интенсивностями естественного I_γ и искусственно вызванных ($I_{n\gamma}$, $I_{\gamma\gamma}$ и др.) излучений, термическое — распределением температур и тепловых потоков.

Принципиальная возможность проведения геологической разведки на основе изучения различных физических полей Земли определяется тем, что распределение параметров полей на поверхности или в глубине Земли, в море, океане или в воздушной оболочке зависит не только от общего строения Земли и околоземного пространства, а также происхождения или способа создания полей, т. е. от *нормального поля*, но также и от неоднородностей геологической среды, создающих *аномальные поля*. Иными словами, геофизика служит для выявления аномалий физических полей, обусловленных неоднородностями геологического строения, связанных с изменением физических свойств и геометрических параметров слоев, геологических или техногенных объектов. Геофизическая информация отражает физико-геологические неоднородности среды в плане, по глубине и во времени. При этом возникновение аномалий связано с тем, что объект поисков, называемый возмущающим, либо сам создает поля в силу естествен-

ных причин, например, повышенной намагниченности, либо искажает искусственное поле вследствие различий физических свойств, например, отражение упругих или электромагнитных волн от контактов разных толщ.

Если геологические и геохимические методы являются прямыми, методами близкого действия, основанными на непосредственном, точечном или локальном изучении минерального, петрографического или геохимического состава вскрытых выработками пород, то геофизические методы являются косвенными, дальнодействующими, обеспечивающими равномерность, объемный характер получаемой информации и практически неограниченную глубинность. При этом производительность геофизических работ значительно выше, а стоимость в несколько раз меньше по сравнению с разведкой с помощью неглубоких (до 100 м) и в сотни раз меньше при бурении глубоких (свыше 1 км) скважин. Повышая геологическую и экономическую эффективность изучения недр, геофизические методы исследования являются важнейшим направлением современной геологии.

Выявление геофизических аномалий — сложная техническая и математическая проблема, поскольку оно проводится на фоне не всегда однородного и спокойного нормального поля, а среди разнообразных помех геологического, природного, техногенного характера (неоднородности верхней части геологической среды, неровности рельефа, космические, атмосферные, климатические, промышленные и другие помехи). Измерив те или иные физические параметры по системам обычно параллельных профилей или маршрутов и выявив аномалии, можно судить о свойствах пород и о геологическом строении района исследований.

Получаемые аномалии определяются прежде всего *изменением физических свойств горных пород* по площади и по глубине. Например, гравитационное поле зависит от изменения плотности пород σ ; магнитное поле — магнитной восприимчивости χ и остаточной намагниченности I_r ; электрическое и электромагнитное поля — от удельного электрического сопротивления пород ρ , диэлектрической и магнитной проницаемости, электрохимической активности и поляризуемости; упругое поле — от скорости распространения различных типов волн, а последние, в свою очередь, — от плотности и упругих констант (модуль Юнга и коэффициент Пуассона и др.); ядерные — от естественной радиоактивности, гамма- и нейтронных свойств; термическое поле — от теплопроводности, теплоемкости и др.

Физические свойства разных горных пород меняются иногда в небольших (например, плотность — от 1 до 6 г/см³), а иногда в очень широких пределах (например, удельное электрическое сопротивление — от 0,001 до 10¹⁵ Ом-м). В зависимости от целого ряда физико-геологических факторов одна и та же порода может характеризоваться разными свойствами и, наоборот, разные породы могут не различаться по некоторым свойствам. Изучение физических свойств горных пород и их связи с минеральным и петрофизическим составом, а также водо-нефтегазонасыщенностью является предметом исследований петрофизики.

Известны различные прикладные (целевые) классификации геофизических методов. Региональные геофизические методы предназначены для немасштабных глубинных исследований на глубинах до 100 км (глубинная геофизика), мелко-среднемасштабных структурных исследований на глубинах около 10 км (структурная геофизика) и крупномасштабных картировочно-поисковых съемок на глубинах до 2 км (картировочно-поисковая геофизика). К разведочной относят нефтегазовую, рудную, нерудную и угольную геофизику, применяемую для поисков и разведки месторождений соответствующих полезных ископаемых. Иногда региональную и нефтегазовую геофизику объединяют в структурную. Инженерно-гидрогеологическая геофизика объединяет методы, предназначенные для инженерно-геологических, мерзлотно-

гляциологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и техногенных исследований. Под техногенной геофизикой понимают методы мониторинга, т. е. системы изучения, слежения и контроля за изменением состояния среды в результате деятельности человека (в том числе контроля загрязнения и экологической охраны подземных вод и геологической среды). Сюда же можно отнести методы изучения условий передачи энергии, коррозии металлических конструкций, поисков погребенных объектов, например, археологических и др. Таким образом, возникнув как прикладные геологоразведочные, геофизические методы исследования находят применение и в других областях человеческой деятельности.

По месту проведения работ геофизические методы исследования подразделяют на следующие **технологические комплексы**: аэрокосмические (дистанционные), полевые (наземные), акваториальные (океанические, морские, речные), подземные (шахтно-рудничные) и геофизические исследования скважин (ГИС) или каротаж. Иногда дистанционные методы изучения поверхности и глубин Земли с помощью самолетов, вертолетов, искусственных спутников, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций не считают геофизическими, поскольку при этих работах преобладают съемки в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн (фото- и телевизионная съемки). Однако, кроме таких визуальных наблюдений, все чаще используют дистанционные методы невидимого диапазона электромагнитных волн: инфракрасные, радиолокационные (радарная и радиотепловая), радиоволновые, ядерные, магнитные и другие, которые являются сугубо геофизическими. Особое место занимают геофизические исследования скважин, отличающиеся от прочих геофизических методов специальной аппаратурой и техникой наблюдений и имеющие большое прикладное значение при документации разрезов скважин.

Верхние оболочки Земли являются предметом исследования не только геофизических методов, но и других наук: геологии со всеми разделами, геохимии, географии и др. Геофизические методы исследования, базируясь на этих науках, являются, прежде всего, геологическими. Вместе с тем, давая другим наукам о Земле всевозможную информацию, они изменяют сам характер геологоразведочных работ.

Теория геофизических методов исследований — физико-математическая. Математическое моделирование, т. е. решение геофизических задач с помощью математики, настолько сложно, что здесь используют передовые ее достижения и самый высокий уровень компьютеризации. На геофизических задачах в немалой степени совершенствуется математический аппарат. Математическое решение **прямой задачи** геофизики, т. е. определение параметров поля по известным свойствам и размерам геологических тел, хотя иногда очень сложно, но единственно. Вместе с тем, одно и то же распределение параметров физического поля может соответствовать различным соотношениям физических свойств и размеров геологических объектов. Иными словами, математическое решение **обратной задачи** геофизики, т. е. определение размеров геологических объектов и свойств слагающих их пород по наблюдаемому полю, не только значительно сложнее, но и, как правило, не единственно.

Решение обратной задачи—это основное содержание интерпретации данных разведочной геофизики. Оно с достаточной точностью может быть выполнено лишь тогда, когда кроме наблюдаемого поля из дополнительных источников получены сведения о свойствах пород, залегающих на глубине (например, по данным геофизических измерений в скважинах или на образцах). Большой однозначности интерпретации в определенных условиях можно добиться комплексным изучением нескольких полей.

Методика и аппаратура геофизических методов исследования основаны на использовании механики, электроники, автоматики, вычислительной техники, т. е. спо-

события измерений — физико-технические. При этом современный уровень требований к аппаратуре очень высокий.

Эффективность разведочной геофизики при решении той или иной задачи определяется правильным выбором метода (или комплекса методов), рациональной и высококачественной методикой и техникой проведения работ, качеством геофизической интерпретации и геологического истолкования результатов. Сложность геофизической интерпретации объясняется как неоднозначностью решения обратной задачи, так иногда и приближенностью самого решения. Поэтому из нескольких возможных вариантов интерпретации необходимо выбирать наиболее достоверный, что можно сделать при использовании всех сведений о физических свойствах пород района исследований, их литологии, тектоническом строении, гидрогеологических условиях. Иными словами, лишь при хорошем знании геологии района можно получить наиболее достоверное истолкование результатов геофизических методов исследований, что требует совместной работы геофизиков и геологов при интерпретации. Последнее, очевидно, невыполнимо, если геофизики не имеют прочных знаний по геологическим дисциплинам и слабо знакомы с изучаемым районом, а геологи не разбираются в сущности и возможностях тех или иных методов геофизики.

Возрастание роли геофизики в связи с увеличением глубин и сложности разведки месторождений ведет не к замене геологических методов геофизическими, а к рациональному их сочетанию, широкому использованию всеми геологами данных геофизики. Единство и взаимодействие геофизической и геологической информации — руководящий методологический принцип комплексирования наук о Земле. Объясняется это тем, что возможности каждого частного метода геологоразведки (съёмки, бурения, проходки выработок, геофизики, геохимии и др.) ограничены.

Разведочная геофизика является сравнительно молодой наукой, сформировавшейся в 20-е годы XX века. Однако ее физико-математические основы заложены значительно раньше. Так же давно началось использование полей Земли в практических целях. Ранее других методов возникла магниторазведка. Первые сведения о применении компаса для разведки магнитных руд в Швеции относятся к 1640 г. Теория гравитационного поля Земли берет свое начало с 1687 г., когда И. Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения. В 1753 г. М.В. Ломоносов высказал мысль о связи силы тяжести на земной поверхности с внутренним строением Земли и разработал идеи газового гравиметра. Его же работы в области атмосферного электричества можно считать первыми, относящимися к электромагнитным исследованиям Земли. Первыми работами по электроразведке являются наблюдения Р. Фокса (Великобритания) в 1830 г. естественной поляризации сульфидных залежей и Е.И. Рогозина, который в 1903 г. дал первое изложение основ этого метода. В 1913 г. К. Шлюмберже (Франция) разработал метод электроразведки постоянным током, а в 1918 г. К. Зунберг и Н. Лунберг (Швеция) предложили электроразведку переменным током.

Со времени установления Кулоном закона взаимодействия магнитных масс (1785 г.) начинает развиваться теория земного магнетизма. Первыми магниторазведочными работами в России были съёмки Курской магнитной аномалии (КМА) профессора МГУ Э.Е. Лейста в 1894 г., а в конце IX века - работы на Урале Д.И. Менделеева и в районе Кривого Рога И.Т. Пассальского. Теоретические работы Э. Вихерта (Германия) и Б.Б. Голицына в начале XX века в области сейсмологии имели самое непосредственное отношение к созданию сейсморазведки. В 1919 г. были начаты магнитные исследования на КМА. Эти работы можно считать началом развития не только отечественной, но мировой разведочной геофизики. Среди отечественных ученых, заложивших основы геофизических методов исследования, следует назвать Л.М. Альпина, В.И. Баранова, В.И. Баумана, В.Р. Бурсиана, В.Н. Дахнова, Г.А. Гамбурцева, А.И. Заборовского, А.Н. Крае-

ва, П.П. Лазарева, А.А. Логачева, А.А. Михайлова, Л.Я. Нестерова, П.П. Никифорова, А.А. Петровского, М.К. Полшкова, Е.Ф. Саваренского, А.С. Семенова, Л.В. Сорокина, Ю.В. Ризниченко, Л.А. Рябинкина, А.Г. Тархова, В.В. Федынского, О.Ю. Шмидта, Б.М. Яновского.

В настоящее время по уровню теории и практическому использованию отечественная геофизика занимает передовые позиции в мире. Дальнейший рост минерально-сырьевой базы страны, требующий разведки полезных ископаемых на все больших глубинах и в труднодоступных районах, а также расширение объемов горнотехнических, инженерно-гидрогеологических, мерзлотно-гляциологических, почвенно-мелиоративных, техногенных изысканий приведут к дальнейшему расширению применения геофизических методов исследований, их широкому комплексированию с другими методами, а значит, необходимости их изучения различными специалистами.

Данное учебное пособие подготовлено на основе изданных ранее учебников и учебных пособий по геофизическим методам исследований, приведенных в списке использованной литературы, с необходимыми изменениями и дополнениями и соответствует программе общего курса геофизических методов исследований для студентов геологических специальностей вузов.