

Министерство образования и науки Республики Казахстан

ГККП Геологоразведочный колледж



Базовый (опорный) конспект

по предмету:

«Общий курс геофизических методов поисков и разведки МПИ»

для специальности:

0704000 – «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых»

Переработан преподавателем:
Апсеитовой Ж.Ж.
Рассмотрен на заседании
геофизической ПЦК
Протокол № 4
от « 18 » 12 2019 г.

г. Семей

Базовый (опорный) конспект составлен в соответствии с рабочим учебным
планом, утвержденным в 2018 году и рабочими учебными программами,

0704000 - 196 уч. ч., в том числе теоретических занятий - 126 ч., практических
занятий - 70 ч., две обязательные контрольные работы и 2 экзамена, зачет 2

В том числе

I семестр _____

II семестр _____

III семестр ___ 48_ 34+14 (-2)_

IV семестр ___ 36_ 22+14 (-4)_

V семестр ___ 42_ 30+12 (-4)_

VI семестр ___ 70_ 40+30 (-4)_

VII семестр _____

Количество обязательных

контрольных работ 2 в _ IV , _ VI _ семестре (ах)

Итоговый контроль: 2 зачета (III, IV семестр); 2 экзамена (V, VI семестр)

(зачет, экзамен)

3 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование разделов, тем и подтем	Количество часов при очной форме обучения	
		Всего	В т. ч. лабора торно- практич. занятий
1	2	3	4
	Введение.	2	-
	Раздел 1. Основные понятия и положения разведочной геофизики		
1.1	Физические поля и аномалии. Геолого-геофизические разрезы	2	-
1.2	Общие сведения о полевых геофизических исследованиях	2	-
	Итого по разделу:	4	-
	Раздел 2. Магниторазведка		
2.1	Физико-геологические основы магниторазведки	6	-
2.2	Аппаратура для измерения элементов геомагнитного поля	4	4
2.3	Методика и техника проведения магнитных съемок.	10	2
2.4	Обработка и интерпретация полевых материалов	8	4
	Итого по разделу:	28	10
	Раздел 3. Гравиразведка.		
3.1	Физико-геологические основы гравиразведки.	6	-
3.2	Аппаратура для измерения элементов поля силы тяжести.	2	2
3.3	Методика и техника проведения гравиразведочных работ.	10	4
3.4	Обработка и интерпретация полевых материалов.	10	4
	Итого по разделу:	28	10
	Раздел 4. Электроразведка		
4.1	Физико-геологические основы электроразведки.	4	-
4.2	Электроразведочная аппаратура и оборудование.	4	4
4.3	Методы постоянного тока.	14	4
4.4	Методы полей физико-химического происхождения.	10	4
4.5	Методы низкочастотного электромагнитного поля.	6	4
4.6	Методы высокочастотного электромагнитного поля (радиоволновые методы)	4	4
	Итого по разделу:	42	20
	Раздел 5. Сейсморазведка.		
5.1	Физико-геологические основы сейсморазведки.	10	
5.2	Сейсморазведочная аппаратура и оборудование.	6	2
5.3	Методика и техника проведения сейсморазведочных работ.	10	4
5.4	Обработка и интерпретация полевых материалов.	10	4
	Итого по разделу:	36	10

	Раздел 6. Радиометрические ядерно-физические методы поисков и разведки		
6.1	Физико-геологические основы радиоактивных методов.	6	-
6.2	Полевая радиометрическая аппаратура и оборудование.	2	2
6.3	Радиометрические методы разведки.	8	2
6.4	Ядерно-физические методы.	8	2
	Итого по разделу:	24	6
	Раздел 7. Геофизические исследования в скважинах		
7.1	Методы электрического каротажа	6	2
7.2.	Методы радиоактивного каротажа	6	2
7.3.	Другие методы каротажа и исследования в скважинах.	8	4
7.4.	Геолого - технические методы в скважинах.	10	4
7.5.	Комплексирование геофизических исследований в скважинах	2	2
	Итого по разделу:	32	14
	Всего по дисциплине:	196	70

Оглавление.

Урок 1. Введение	7
Раздел 1. Основные понятия и положения разведочной геофизики	
Урок 2. 1.1 Физические поля и аномалии. Геолого-геофизические разрезы	9
Урок 3. 1.2 Общие сведения о полевых геофизических исследованиях	10
Раздел 2. Магниторазведка	
Урок 4. 2.1 Физико-геологические основы магниторазведки	14
Урок 5. Магнитное поле Земли.	16
Урок 6. Нормальное и аномальное магнитные поля	18
Урок 7. 2.2 Аппаратура для измерения элементов геомагнитного поля	21
Урок 8. 2.3 Методика и техника проведения магнитных съемок	25
Урок 9. Контрольный пункт.	27
Урок 10. Полевая опорная сеть.	29
Урок 11. Область применения магнитной съемки.	30
Урок 12 (практика) Методика и техника проведения магнитных съемок	32
Урок 13. 2.4 Обработка и интерпретация полевых материалов	33
Урок 14. Определение элементов залегания геологических объектов	35
Урок 15,16. (практика 4 часа) Обработка и интерпретация полевых материалов	37
Раздел 3. Гравиразведка	
Урок 17. 3.1 Физико - геологические основы гравиразведки	40
Урок 18. Гравитационный потенциал и его производные.	43
Урок 19. Нормальное гравитационное поле Земли.	44
Урок 20. (практика) 3.2 Аппаратура для измерения элементов поля силы тяжести	49
Урок 21. 3.3 Методика и техника проведения гравиразведочных работ	51
Урок 22. Методика оценки точности гравиметрической съемки	54
Урок 23. Уравнивание опорных сетей	55
Урок 24. (практика) Методика и техника проведения гравиразведочных работ.	58
Урок 25. (практика) Методика и техника проведения гравиметрой съемки	59
Урок 26. 3.4 Обработка и интерпретация полевых материалов	60
Урок 27. Поправки Буге, Прея.	63
Урок 28. Геологическое истолкование гравитационных аномалий.	64
Урок 29. (практика) Введение поправок. Расчет нормального гравитационного поля	66
Урок 30. (практика) Обработка и интерпретация полевых материалов.	67
Раздел 4. Электроразведка	
Урок 31. 4.1 Физико - геологические основы электроразведки	68
Урок 32. Электрические свойства горных пород и руд.	71
Урок 33. (практика) 4.2 Электроразведочная аппаратура и оборудование	73
Урок 34. (практика) Электроразведочные станции	76
Урок 35. 4.3 Методы постоянного тока	78
Урок 36. Электропрофилирование.	80
Урок 37. Метод вертикального электрического зондирования.	81
Урок 38. Интерпретация кривых электрического зондирования	83
Урок 39 (практика) Качественная интерпретация результатов ЭП.	85
Урок 40 (практика) Обработка данных методов сопротивлений	87
Урок 41 4.4 Методы полей физико - химического происхождения	89
Урок 42. Метод вызванной поляризации.	91
Урок 43 (практика) Аппаратура и оборудование.	92
Урок 44. (практика) Обработка материалов.	93
Урок 45. 4.5 Методы низкочастотного электромагнитного поля	94
Урок 46 (практика) Магнитотеллурические методы.	96
Урок 47,48 (практика) Обработка материалов.	100
Урок 49. (практика) Методы высокочастотного электромагнитного поля (радиоволновые методы)	101

Раздел 5. Сейсморазведка	
Урок 50 5.1 Физико - геологические основы сейсморазведки	105
Урок 51 Законы отражения и преломления.	109
Урок 52 5.2 Сейсморазведочная аппаратура и оборудование	112
Урок 53 (практика) Сейсморазведочная аппаратура и оборудование	117
Урок 54. 5.3 Методика и техника проведения сейсморазведочных работ	119
Урок 55 Методика и техника проведения работ методом преломленных волн.	121
Урок 56(практика) Методика и техника проведения сейсморазведочных работ	122
Урок 57. (практика) Методика и техника проведения сейсморазведочных работ	124
Урок 58 5.4 Обработка и интерпретация полевых материалов	126
Урок 59 Особенности обработки сейсморазведочных материалов	129
Урок 60(практика) Обработка и интерпретация полевых материалов	131
Урок 61. (практика) Обработка и интерпретация полевых материалов	132
Раздел 6. Радиометрические ядерно-физические методы поисков и разведки	
Урок 62 6.1 Физико - геологические основы радиоактивных методов	135
Урок 63 Радиоактивные элементы.	137
Урок 64. (практика) 6.2 Полевая радиометрическая аппаратура и оборудование	139
Урок 65. 6.3 Радиометрические методы разведки	142
Урок 66. Полевые методы радиометрии.	143
Урок 67. (практика) Аппаратура и оборудование	145
Урок 68. 6.4 Ядерно - физические методы	148
Урок 69. (практика) Ядерно-физические методы	149
Раздел 7. Геофизические исследования в скважинах	
Урок 70 Геофизические исследования в скважинах	151
Урок 71. 7.1 Метод кажущегося сопротивления	156
Урок 72 Метод естественного поля.	158
Урок 73. (практика) Изучение теоретических и фактических кривых каротажа. Оформление и графика каротажных диаграмм. Геологическое истолкование полученных результатов.	160
Урок 74. (практика) Изучение устройства каротажной станции, скважинных приборов, каротажного оборудования.	162
Урок 75 Боковой каротаж	165
Урок 76 Индукционный каротаж	167
Урок 77 7.2 Методы радиоактивного каротажа	169
Урок 78 Гамма-гамма каротаж.	171
Урок 79. Нейтронный каротаж	173
Урок 80. (практика) Методы радиоактивного каротажа.	175
Урок 81. 7.3 Магнитный каротаж. Термометрия.	177
Урок 82. Акустический каротаж	180
Урок 83. Кавернометрия. Инклинометрия.	181
Урок 84. (практика) Кривые акустического каротажа, термометрии.	182
Урок 85. (практика) Качественная интерпретация ГИС	185
Урок 86. 7.4 Геолого - технические методы в скважинах	188
Урок 87. Газовый каротаж Отбор грунтов, перфорация и торпедирование скважин.	191
Урок 88 (практика) Геолого - технические методы в скважинах	195
Урок 89. (практика) Геолого - технические методы в скважинах	196
Урок 90. 7.5 Комплексирование геофизических исследований в скважинах	198
Урок 91 Комплексирование геофизических исследований в скважинах	199

Урок 1.

Тема Введение.

План

1. Геофизика – как наука.
2. Классификация геофизических методов.
3. Этапы геофизических работ.
4. Задачи решаемые в геофизике.

1. Геофизика - наука о физических процессах и связанных с ними явлениях, происходящих в твердой и жидкой оболочках Земли. Геофизические данные используют в геологии для изучения строения Земного шара.

Геофизические методы разведки – сравнительно молодой вид исследований. Они развились в 20 веке и совершенствуются до настоящего времени, хотя физико-математические основы были созданы значительно раньше. Так ранее других методов возникла магниторазведка, впервые применили этот метод при поисках магнетитовых руд в Швеции в 1640 г.

Разработка теории гравитационного поля началась с 1687 г. после того, как И.Ньютон сформировал закон всемирного тяготения, однако способы измерения свободного падения были развиты позднее.

Электрические методы разведки при исследованиях рудных месторождений стали использоваться в конце 19 века, хотя еще в 18 веке в трудах М.В.Ломоносова имеются упоминания об электрическом поле Земли. К концу 20 века относится развитие сейсморазведки на базе сейсмологии, а радиометрические и ядернофизические методы являются наиболее молодыми.

Геофизические методы разведки являются наиболее передовыми современными методами поисков и разведки полезных ископаемых. Исследования различных физических явлений, происходящих на поверхности земли и в земной коре, позволяют судить о строении земли, о наличии залежей руд, нефти, угля и других полезных ископаемых. Геофизические методы разведки позвол

яют изучать природные ресурсы и обнаруживать месторождения ценных видов промышленного сырья и топлива.

Решение любой геологической задачи сводится к построению геолого-геофизических разрезов, выделению того или иного геологического объекта во вмещающей среде, изучению вещественного состава и геометрической формы, структуры и возрастных (взаимодействий) взаимосвязей его с вмещающими геологическими образованиями. Выделение геологических тел базируется на том, что объекты отличаются от вмещающей среды вещественным составом или физическим состоянием. В условиях, когда геологические объекты выходят на дневную поверхность или вскрыты горными выработками (канавы, шурфами, скважинами) информацию о них получают путем визуального наблюдения. Если подобной возможности нет, решение задачи обнаружения и определения местоположения, формы таких объектов достигается геофизическими методами разведки.

2. Разведочная геофизика по изучению различных физических полей Земли разделена на ряд **методов** - магниторазведку, гравиразведку, электроразведку, сейсморазведку, радиометрию. Геофизические

методы разведки основаны на изучении физических полей, как естественных, так и искусственно созданных.

С помощью *магниторазведки* изучают особенности магнитного поля.

Гравиразведка - основана на изучении гравитационного поля Земли.

Электроразведка - изучает электромагнитные поля естественного и искусственного происхождения.

Методами *сейсморазведки* исследуют особенности распространения упругих колебаний в горных породах.

Ядерно-геофизическая разведка включает в себя группу методов, основанных на изучении естественной и искусственной радиоактивности пород.

Геофизические методы, используемые для исследования в скважинах и около скважинном пространстве, называют *скважинной геофизикой*.

Геофизические методы применяют в различных условиях – на земле, в воздухе, космическом пространстве, морских средах, скважинах, шахтах и других горных выработках. Для более эффективного решения геологических задач необходимо использовать в каждом районе не один, а несколько методов геофизики, т. е. применять комплекс геофизических методов.

- 3. В геофизике разработаны** математические основы решения двух главных задач: 1) определение физических полей по известным параметрам геологических объектов - это *прямая задача геофизики*;
- 2) определение параметров геологического объекта его размеров, формы по наблюдаемому физическому полю – это *обратная задача* геофизики.

Во всех геофизических методах способы изображения физических полей одинаковы и сводятся к построению графиков, карт графиков, карт изолиний, геолого - геофизических разрезов.

Контрольные вопросы

1. Что изучает геофизика?
2. Перечислите геофизические методы?
3. Прямая задача геофизики?
4. Обратная задача геофизики?
5. Назначение сети наблюдения?
6. Каким масштабом проводятся детальные геофизические исследования?
7. Определение аномального геофизического поля?

РАЗДЕЛ 1.

Урок 2.

Тема 1.1: *Физические поля и аномалии. Геолого-геофизические разрезы.*

План:

1. Основные достоинства геофизических методов, обеспечивающих их широкое применение при геологоразведочных работах.
2. Физические поля и аномалии.

1. Основные достоинства геофизических методов

К достоинствам геофизических методов, обеспечивающих их широкое внедрение в практику геологоразведочных работ, в первую очередь относятся:

- 1- получение информации об объемах объектов залегающих на глубине;
- 2- возможность изучения геологических объектов, перекрытых накосами, экранами;
- 3-объективность информации о физических полях, создаваемые геологическими объектами;
- 4- относительно низкая стоимость и высокая производительность.

Основой геофизических методов разведки является то, что геологические объекты и окружающие их горные породы, имеют различные физические свойства, или сами создают вокруг себя в пространстве физические поля, отличающиеся от полей окружающей среды, или неодинаково реагируют на разнообразные, искусственно создаваемые физические воздействия.

1. Физические поля и аномалии.

Поля физические - это формы материи, связывающие частицы вещества друг с другом в единые системы и передающие с конечной скоростью действия одних частиц на другие.

Физическое поле Земли или отдельных его территорий называется геофизическим полем.

Различают геофизические поля нормальные и аномальные.

При решении геологических задач геофизическими методами используется отличие объекта от вмещающей среды по физическим свойствам (плотностным, магнитным, электрическим, упругим и др.). Если объект со свойствами, отличающимися от свойств вмещающей среды, находится в физическом поле, то вокруг него будет наблюдаться перераспределение поля. *Нарушения в распределении физических полей, связанные с наличием геологических объектов, принято называть – геофизическими аномалиями.* Выделяют геофизические аномалии на фоне **нормального поля**, под которым понимают такое физическое поле, которое отмечалось бы в данной точке пространства, если бы не существовало объекта создающего изучаемую аномалию. В простейшем случае, когда объект находится в совершенно однородной толще пород, нормальным полем будет поле над этой однородной физической средой. Практически всегда

нормальное поле и аномалии сложены помехами, связанными с многообразными факторами, неоднородностью состава горных пород, влиянии покровных отложений, наложением полей от объектов, имеющих различное простирание, а также техническими, аппаратными и другими помехами.

Нормальное поле получают в результате усреднения измеренных величин на какой-то территории.

Аномальное геофизическое поле - поле отклонения наблюдаемых величин от значений нормального поля. Для измерения физических полей используют различные приборы. Геофизические поля в большинстве случаев изучают по прямолинейным направлениям, называемым профилями или маршрутами.

Геофизическая аномалия может иметь различную амплитуду, форму и размеры в зависимости от многих факторов, из которых основными являются:

а) *отличие физических свойств объекта от свойств вмещающих пород;*

б) *размеры, глубина залегания, формы и другие геометрические характеристики целевого геологического объекта.*

Зная эти параметры, можно рассчитать физическое поле, иными словами, решить **прямую задачу геофизики**. Вместе с тем одно и то же распределение параметров физического поля может соответствовать различным соотношениям физических свойств, а также размерам геологических объектов. В этом случае решение **обратной задачи геофизики**, т.е. определение размеров геологических объектов и свойств слагающих их пород по измеренным параметрам поля, как правило, неоднозначно.

Контрольные вопросы.

1. Что изучают геофизические методы разведки?
2. Какие геологические задачи эффективно решаются с помощью методов геофизики?
3. Основное применение геофизических методов исследования?

Урок 3

Тема 1.2: Общие сведения о полевых геофизических исследованиях.

План:

1. *Классификация методов по типам измеряемого физического поля.*
2. *Классификация методов по способу проведения работ.*

Классификацию геофизических методов чаще всего проводят в зависимости от природы и типа измеряемого физического поля на естественные и искусственные (вызванные).

К **естественным полям** Земли относят: магнитные, гравитационные (поля тяготения), электрическое, электромагнитное, сейсмическое (поле упругих колебаний, возникающих в результате землетрясений), поле ядерных излучений и термическое;

к искусственным полям относят: электрическое, электромагнитное, сейсмическое (вызванное исследователем), термическое (поле нагрева и охлаждения), поля вторичных ядерных взаимодействий с изучаемыми геологическими объектами. Каждое геофизическое поле характеризуется своими параметрами, которые зависят от физических свойств геологической среды.

2. Все исследования проводят в три этапа: геологическое картирование, поиск и разведка. Геологическое картирование позволяет определить перспективные участки в пределах которых проводят поисковые работы. Обнаруженные месторождения полезных ископаемых передают разведки, целью которой является определение строения, формы и размеров залежей и запасов месторождения.

К основным методам разведочной геофизики относят: магнито-, грави-, электро-, сейсморазведку, а также радиометрию и ядерную геофизику.

Основная классификация методов	Магниторазведка	Гравиразведка
Физические поля: естественные искусственные	Магнитное □	Поле силы тяжести □
Измеряемые параметры физических полей	Векторы напряженности магнитного поля (I,Z,H)	Ускорение свободного падения и его градиенты Δg , W плотность ρ
Физические свойства горных пород и руд	Магнитная восприимчивость H, остаточная намагниченность I _n	Наземные, подземные, морские, скважинные
Способ проведения работ	Космические, воздушные, наземные, подземные, скважинные	

Электроразведка	Сейсморазведка	Радиометрия и ядерная геофизика
<p>Электрическое и электромагнитное</p> <p>□</p> <p>Векторы напряженности электрического E и магнитного H полей</p> <p>Удельное электрическое сопротивление ρ, диэлектрическая ϵ и магнитная μ относительная</p>	<p>□</p> <p>Поле упругих колебаний</p> <p>Время t и скорость распространения упругих волн v</p> <p>Плотность σ, модуль Юнга E, коэффициент Пуассона σ_l</p>	<p>Естественные и искусственные радиоактивные распады</p> <p>Мощность дозы ядерных превращений</p> <p>Естественная радиоактивность, гамма-лучевые, нейтральные свойства среды</p>

проницаемость, электрохимическая активность α , поляризуемость η Космические, воздушные, наземные, подземные, морские, скважинные	 Наземные, подземные, морские, скважинные	 Космические, воздушные, наземные, подземные, морские, скважинные
---	---	---

Кроме того, геофизические методы подразделяют по способам проведения работ, масштабам (мелко-, средне-, крупномасштабные, детальные), а также **решаемыми задачами** (рудная, нефтегазовая, нерудная и угольная, инженерно-геологическая, горнотехническая).

Геофизические работы проводятся главным образом с целью поисков и разведки полезных ископаемых. При решении этих задач выделяются **прогнозные исследования, геологическое картирование, поиски и разведки**. Основными задачами *при проведении региональных исследований* в масштабах 1:1000000-1:5000000 являются: изучение глубинного геологического строения, исследование земной коры по всей ее мощности; геотектоническое районирование – выделение глубинных разломов, блоков, плутоно-магматических формаций; региональный прогноз месторождений полезных ископаемых, базирующихся на изучении закономерностей размещения полезных ископаемых в связи с особенностями глубинного строения, и выделение перспективных площадей для последующих работ. **Геологическое картирование** проводят в средних (1:200000-1:100000) и крупных (1:50000-1:25000) масштабах. Решаемыми задачами являются: глубинное и объемное картирование, выделение перспективных площадей для поисков различных полезных ископаемых.

Поисковые работы подразделяются на две подстадии – **поиски и поисково-оценочные работы**. При поисках в масштабе 1:50000-1:25000 геофизические методы наряду с выявлением рудопроявлений решают задачи изучения рудоносных структур, формаций зон метаморфизма, гидротермально и контактово-измененных пород и пр.

Поисково-оценочные работы, проводимые чаще всего в масштабах 1:10000-1:2000 позволяют с помощью геофизических методов изучать перспективы площадей и участков; оценивать прогнозные запасы и выделять месторождения для последующей разведки с частным подсчетом запасов по категории С2.

При разведке месторождений геофизические методы применяют для выделения рудных тел и изучения условий их залегания, морфологии, строения, качественной и количественной оценки оруденения в естественных условиях, гидрогеологических условиях месторождения и некоторых других задач.

Контрольные вопросы.

1. Как классифицируют методы геофизики в зависимости от типа изучаемого физического поля?
2. Назовите основные методы разведочной геофизики?
3. Как подразделяются методы геофизики по способам проведения работ?
4. Что принято в геофизике называть нормальным полем, и аномалией?
5. Когда возникли геофизические методы разведки?

РАЗДЕЛ 2.

Магниторазведка.

Урок 4

Тема 2.1: Физико-геологические основы магниторазведки.

План:

1. *Физико-геологические основы метода.*
2. *Магнетизм.*
3. *Параметры характеризующие магнитное поле.*

Физико-геологические основы магниторазведки.

Магнитная разведка (магниторазведка) – один из методов разведочной геофизики, основанный на изучении изменений геомагнитного поля в пространстве, возникающих вследствие различной намагниченности горных пород и руд.

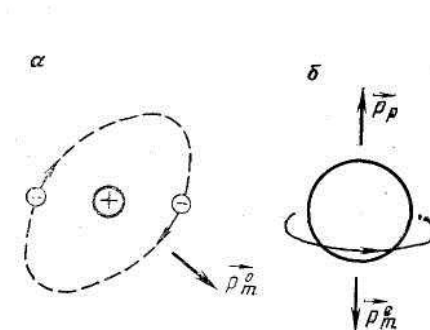
Большинство горных пород относятся к слабомагнитным или практически немагнитным. Магнитное поле над такими комплексами горных пород имеет спокойный, слабопеременный характер. Повышенная намагниченность горных пород и руд обуславливает интенсивные магнитные поля, называемые аномальными. Изучая выявленные аномальные поля и отдельные локальные аномалии, можно по ним определить контуры распространения, форму и размеры, глубину залегания и другие параметры геологических тел. По спокойным, слабопеременным, так называемым нормальным полям, можно определить контуры распространения вмещающих пород. Следовательно, сущность магниторазведки заключается в измерении и последующем использовании магнитного поля.

В сочетании с другими геолого-геофизическими и геохимическими методами исследований магниторазведка решает широкий круг задач на всех этапах геологоразведочных работ – от мелкомасштабного геологического картирования до крупномасштабных поисков и разведки месторождений

Магнетизм – одна из форм материальных взаимодействий, возникающих между движущимися электрически заряженными частицами. Согласно теории Ампера, магнитные свойства физических тел обусловлены движением электрических зарядов и различных токов.

Известно, что при пропускании электрического тока по проводнику вокруг него образуется магнитное поле. Горные породы основного и ультраосновного состава и железосодержащие руды являются источниками высокоинтенсивных магнитных полей. Проявление магнетизма геологических объектов также объясняется движением электрических зарядов.

Любое вещество состоит из атомов отдельных элементов. В свою очередь, атомы состоят из ядер и электронов, вращающихся вокруг атомного ядра по определенным орбитам. Обладая



отрицательным

Рис. 4.1. Схематическая модель магнетизма электрона.

a — орбитальный магнитный момент p_m электрона; *б* — спиновый магнитный момент p_m и механический момент p_p электрона

электрическим зарядом, электрон в результате вращения по орбите вокруг ядра создает *орбитальный магнитный момент*. Кроме того, электрон вращается вокруг своей оси и создает так называемый *вращательный магнитный момент*. Такими магнитными моментами обладают также ядра атомов и все микрочастицы – протоны, нейтроны и другие. Установлено, что магнетичность вещества обуславливается согласной ориентировкой вращательных и орбитальных магнитных моментов атомов. Таким образом, магнетизм присущ практически всем газообразным, жидким и твердым телам. *Пространство, в котором действуют силы магнетизма, называется - магнитным полем.*

Суммарное магнитное поле, обусловленное внешними источниками поля и собственной намагниченностью тела или среды, называют – магнитное индукцией B :

→ →

$$B = \mu_0 T + \mu_0 J = \mu_0 (T + J),$$

где μ_0 – абсолютная проницаемость вакуума, называемая – магнитной постоянной; в СИ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м (генри на метр) в системе СГС $\mu_0 = 1$, безразмерная величина; J – намагниченность; T – напряженность внешнего магнитного поля.

Напряженность магнитного поля T представляет собой силу притяжения или отталкивания, действующую на пробный заряд, помещенный в данную точку внешнего магнитного поля. Напряженность магнитного поля характеризует поле, не искаженное влиянием среды, т.е. определяет тот вклад в магнитную индукцию, который дают внешние источники поля. В вакууме магнитная индукция B и напряженность T связаны соотношением $B = \mu_0 T$, в реальной среде $B = \mu \mu_0 T$, где μ – относительная магнитная проницаемость, показывающая, во сколько раз поле в данной среде больше, чем в вакууме, безразмерная величина, зависящая от состава и состояния среды. Значение μ в СИ и в СГС одинаковы, для воздуха и воды они практически равны единице.

Единицей измерения магнитной индукции в СИ является тесла (Тл), в системе СГС – гаусс (Гс); 1 Гс = 10^{-4} Тл. В магниторазведке используется более мелкая единица магнитной индукции – нанотесла (нТл), 1 нТл = 10^{-9} Тл.

В реальных условиях среды измеряемой величиной всегда является магнитная индукция B . Современные измерительные приборы регистрируют полное значение и приращения магнитной индукции. При измерениях магнитного поля прибор в большинстве случаев находится в немагнитной среде – воздуха, воде.

Урок 5

Магнитное поле Земли.

План

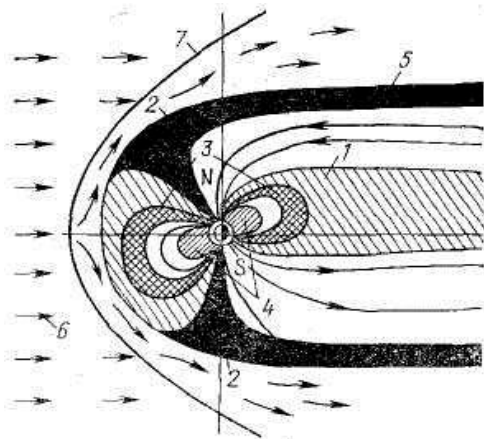
1. Магнитосфера.
2. Элементы магнетизма.

Согласно теории Ампера, основное магнитное поле создается электрическими токами, протекающими в жидком ядре Земли, современные теории геомагнетизма исходят из предположения, что геомагнитное поле создается и поддерживается за счет так называемого *Динамо-механизма*. Считается, что создание магнитного поля в ядре Земли происходит так же, как и в динамо-машине с самовозбуждением. Принципы работы машины такой: катушка проводов вращается во внешнем магнитной поле. За счет электромагнитной индукции в катушке возникает электрический ток, который создает магнитное поле. Это магнитное поле может усилить внешнее магнитное поле, что в свою очередь усилит ток в катушке и т.д.

На этом принципе Я.И. Френкелем и В. Эльзассером была предложена гипотеза «гидромагнитного динамо». Согласно этой гипотезе, реальное магнитное поле Земли создается при магнитогидродинамических течениях в земном ядре.

Рис.5. 1. Меридиональное сечение магнитосферы Земли.

1 — плазменный слой; 2 — полярная щель; 3 — радиационный пояс; 4 — плазмосфера; 5 — плазменная мантия; 6 — солнечный ветер; 7 — фронт ударной волны



Геомагнитное поле приближенно рассматривают как поле однородно намагниченного шара или поле диполя, помещенного в центр Земли. Дипольный характер магнитного поля Земли установлен по результатам наземных и космических исследований. Обнаружена довольно сложная конфигурация силовых линий поля Земли Рис. 5.1.

Основной фактор, искажающий картину магнитного поля,— солнечный ветер, состоящий из протонов, электронов, альфа-частиц, ионов гелия. Эти частицы обладают очень высокой энергией и движутся радиально от Солнца со скоростью 300—1000 км/с. Магнитное поле Земли является препятствием для солнечного ветра 6, поэтому основная масса заряженных частиц обтекает это препятствие. В результате вокруг Земли образуется своеобразная магнитная полость в межпланетной среде, сильно вытянутая в направлении от Солнца, называемая *магнитосферой земли*.

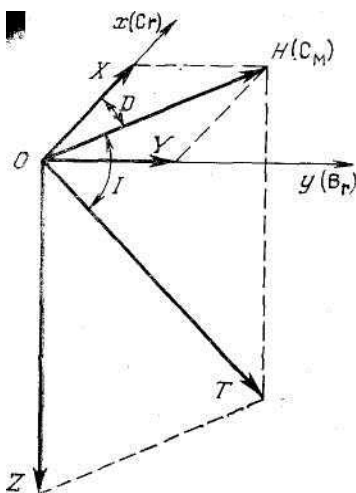


Рис. 5.2. Элементы геомагнитного поля

Элементы магнитного поля Земли.

Полную напряженность магнитного поля Земли T разлагают на составляющие, которые называют *элементами магнитного поля*. В прямоугольной системе координат ось Ox горизонтальна и направлена на географический север C_T , ось Oy также горизонтальна и направлена на географический восток B_T , ось Oz вертикальна и направлена вниз (рис. 5.2). Полный вектор T в большинстве случаев не совпадает ни с одной из осей координат.

Проекция вектора T на горизонтальную плоскость называется *горизонтальной составляющей* H , на вертикальную плоскость — *вертикальной составляющей* Z .

Угол между вектором H и осью Ox называется *магнитным склонением* D , которое имеет положительное значение, если вектор H отклоняется от оси Ox к востоку, и отрицательное — к западу. Угол между вектором T и плоскостью XOY называется *магнитным наклоением* и обозначается I .

Величины T, H, Z, D, I — *элементы магнитного поля*.

Урок 6

Нормальное и аномальное магнитные поля

План

- 1) Нормальное и аномальное магнитное поле,
- 2) Вариации геомагнитного поля.
- 3) Магнитные свойства горных пород и руд.

Нормальное и аномальное магнитные поля. Дипольное магнитное поле T_d Земли называется нормальным. Отклонения магнитного поля от нормальных его значений называются *аномальными*. Такое различие объясняется сложностью и неоднородностью геологического строения Земли, а также изменением магнитного поля в пространстве и времени.

Отклонения фактического поля T от поля диполя T_d на очень больших площадях, соизмеримых с площадями континентов, получили название *континентальных*, или *материковых* T_m , аномалий.

Региональное магнитное поле T_r также искажает магнитное поле Земли.

Суммарное поле $T_d + T_m$ в магниторазведке принимают за нормальное поле. Фактическое поле T в некоторой точке наблюдения, приведенное к определенному моменту времени, отличается от нормального поля T_0 на величину, определяемую как разность между ними. Разность между измеренными и нормальными значениями поля представляет собой магнитную аномалию T_a :

$$\vec{T}_a = \vec{T} - \vec{T}_0. \quad (1.9)$$

Вектор T_a характеризует величину аномального магнитного поля, создаваемого геологическими неоднородностями земной коры. Это поле является главным объектом исследований в магниторазведке.

Фактическое поле T (и других элементов магнетизма) измеряется с помощью приборов, а нормальные значения снимаются с карт нормального магнитного поля. Для определения нормальных полей элементов магнитного поля Земли проводятся планомерные магнитные съемки Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук. Карты нормального геомагнитного поля составляются через каждые пять лет с обязательным указанием, для какого года (эпохи) данная карта справедлива. Карты нормального поля используются в

магниторазведке для выделения аномальных значений поля T_a , введения поправок за нормальный градиент, построения карт магнитных аномалий, оценки намагниченности горных пород и руд магнитным полем Земли в данном районе, настройки аппаратуры на определенном районе работ.

Вариации геомагнитного поля. Изменения геомагнитного поля во времени получили название *магнитных вариаций*. Причинами возникновения вариаций являются солнечный ветер, магнитосфера, ионосфера и внутренние процессы, протекающие в ядре Земли. Классификация вариаций осуществляется по скорости их изменения во времени и интенсивности. Магнитные вариации с периодом 1 сут. называются *суточными*, их амплитуда в разные дни и годы изменяется в широких пределах от 10—15 до 40—60 нТл. Амплитуда *годовых вариаций*, определяемых по изменениям среднемесячных значений поля T , достигает 30 нТл. *Лунно-суточные вариации* имеют период, равный времени между двумя последовательными прохождением Луны через меридиан места, т. е. лунным суткам.

Апериодические вариации высокой частоты и интенсивности, достигающей нескольких тысяч нанотесл, называются *магнитными бурями*. Интенсивность и продолжительность их до 2—5 сут. связывают с солнечной активностью. Полевые измерения в это время не проводятся, а измеренные значения поля бракуются.

Для определения величины вековых вариаций рассчитывают среднегодовые значения элементов геомагнитного поля по наблюдениям разных лет. Изменение их относят к одному году, а усредненную величину изменений за один год называют *вековым ходом*. Карты изолиний векового хода элементов магнетизма называются *картами изопор*. Причины вековых вариаций по современным представлениям связаны не с земной корой, а с границей ядра и оболочки Земли.

Учет геомагнитных вариаций необходим, поскольку они вносят значительные искажения в наблюденные значения поля, измеренные высокоточными приборами.

Магнитные свойства горных пород и руд

Основными характеристиками магнитных свойств горной породы являются общая намагниченность J , магнитная восприимчивость α , естественная остаточная намагниченность J_n . Следует отметить, что при определении намагниченности тела приходится учитывать его форму.

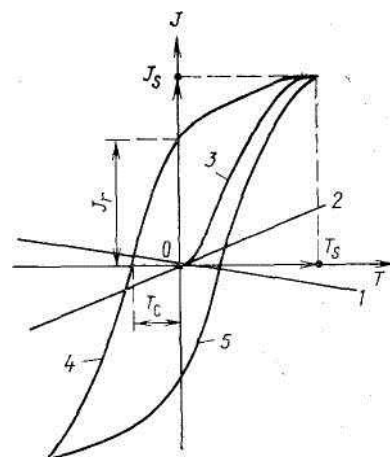


Рис. 6.1 Графики намагничивания:

1 — диамагнетиков, 2 — парамагнетиков, ферромагнетиков; 3 — 5 — петля гистерезиса (3 — основная кривая)

Все вещества, в том числе и породообразующие минералы, по магнитным свойствам делятся на *диамагнитные* ($\chi < 0$), *парамагнитные* ($\chi > 0$, $\mu > 1$) и *ферромагнитные* ($\chi \geq 0$, $\mu > 1$).

Графики зависимости интенсивности намагничивания \vec{J} от напряженности внешнего намагничивающего поля T называются *кривыми намагничивания* (рис. 6.1).

Магнитные свойства ферромагнитных минералов приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Минералы	%, ед. СИ	$\vec{J}_s \cdot 10^3$, А/м	$T_c \cdot 10^3$, А/м	Точка Кюри, °С
Магнетит	4—25	490	0,8—12	578
Титаномагнетит	10^{-5} —25	75—490	—	100—578
Гематит	10^{-4} — $2 \cdot 10^{-3}$	1,5—2,5	560—640	675
Маггемит	4—25	435	0,8—10	—
Пирротин	10^{-2} — 10^{-1}	17—70	1,2—9	300—325

Контрольные вопросы.

1. Что принято называть нормальным и аномальным магнитным полем Земли?
2. Какие знаете аномалии геомагнитно поля?
3. Дайте определение понятию вариация магнитного поля?
4. Виды и способы измерения вариаций?

Урок 7 (практика)

Тема 2.2: Аппаратура для измерения элементов геомагнитного поля.

План:

1. Принцип наименования приборов.
2. Оптико-механические магнитометры.
3. Феррозондовые магнитометры.
4. Протонные магнитометры.
5. Квантовые магнитометры.

Принципы наименования приборов

Приборы, предназначенные для измерения магнитной индукции B , называются *тесламетрами*; для измерения потока магнитной индукции — *веберметрами*.

В практике магниторазведки приборы, измеряющие модуль полного вектора магнитной индукции или составляющие этого вектора, а также их приращения, называются *магнитометрами*.

По принципу действия измерительного преобразователя магнитометры, измеряющие магнитную индукцию, делятся на *оптико-механические, феррозондовые, протонные и квантовые*.

К *оптико-механическим* магнитометрам относятся приборы с магнитной системой, изменяющей свое положение в пространстве под действием магнитного поля. К ним относятся М-27, М-27м, H -весы и др.

В феррозондовых магнитометрах принцип измерения магнитного поля основан на быстром намагничивании магнитомягкого пермаллового сердечника под действием внешнего магнитного поля. Некоторые из них: М-29, ТСМК-30, ТСМК-40, АМФ-21 и др.

Протонные магнитометры основаны на измерении полного вектора магнитной индукции T и его приращений ΔT по частоте свободной прецессии (вращению) протонов ядер атомов водорода в магнитном поле. На этом принципе работают магнитометры АМП-3, ЯМП-3, АМП-7, ММП-203.

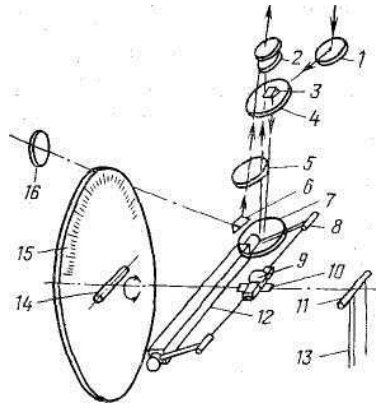
В *квантовых магнитометрах* принцип работы базируется на явлении оптической ориентации атомов щелочных металлов или гелия под действием поляризованного монохроматического света. К ним относятся магнитометры М-33м, ММА-301, КАМ-28, ММ-305 и др.

По условиям, применения магнитометры делятся на пешеходные, автомобильные, аэромагнитометры, морские, шахтные, скважинные.

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ МАГНИТОМЕТРЫ

Магнитометры, работающие по принципу магнитных весов и отклонений, относятся к *оптико-механическим*. Чувствительным элементом этих магнитометров является постоянный магнит, который под действием поля вращается вокруг вертикальной или горизонтальной оси, представляющей собой металлизированную кварцевую нить. Принцип измерения величины поля основан на уравнивании момента вращения, возникающего под действием поля, моментом силы кручения нити. Если магнитная ось магнита строго горизонтальна, наибольший момент вращения будет создаваться вертикальной составляющей Z (такие весы называются *вертикальными*). При вертикальном расположении магнитной оси магнита наибольший момент вращения будет обусловлен горизонтальной составляющей H (магнитные весы при этом называются *горизонтальными*).

Рис. 1.13. Принцип устройства и действия магнитометра М-27м



Магнитометр М-27м. Полевой переносный магнитометр М-27м предназначен для измерения приращений вертикальной составляющей ΔZ магнитного поля.

Чувствительным элементом магнитометра является подвижной постоянный магнит 10, вращающийся на горизонтальной металлизированной нити 8, подвешенной на пружинных амортизационных стойках металлического стержня 12. Магнит закреплен в оправе, в верхней части которой приклеено зеркало 9. Вращающий магнитный момент, создаваемый полем Z -составляющей, уравнивается вращающимися моментами полей компенсационных постоянных магнитов и моментом кручения нити 8. Влияние горизон-

тальной составляющей H магнитного поля исключается горизонтальностью оси вращения и магнитной оси магнита.

ПРОТОННЫЕ МАГНИТОМЕТРЫ

Протонные магнитометры применяются для дискретных измерений модуля вектора напряженности поля T или ΔT .

Из теоретической физики известно, что протоны, находясь во внешнем магнитном поле T , прецессируют вокруг направления поля, описывая своей осью вращения коническую поверхность. Частота прецессии протонов определяется соотношением Лармора

$$\dot{f} = \gamma' T / 2\pi, \quad (1)$$

где \dot{f} — частота прецессии протонов; γ' — *гиромагнитное отношение* магнитного момента.

Рассмотрим принцип свободной ядерной прецессии на примере работы магнитометра ММП-203.

Пешеходный протонный магнитометр ММП-203. Этот магнитометр предназначен для измерения абсолютного значения магнитной индукции поля T или ΔT . В качестве протонсодержащего вещества применен керосин.

Конструктивно магнитометр выполнен в виде двух основных блоков — магнитоизмерительного преобразователя, укрепляемого на штанге, и измерительного пульта управления. Основные технические данные: диапазон измерений 20000—100000 нТл; погрешность отсчета ± 1 нТл, систематическая составляющая погрешности измерений не более $\pm 2,5$ нТл; среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерений не более $\pm 1,5$ нТл; время установления рабочего режима не более 60 с; максимальное быстродействие — одно измерение за 3 с; диапазон рабочих температур от — 30 до 50 °С; напряжение питания 13 ± 3 В от элементов типа 373.

КВАНТОВЫЕ МАГНИТОМЕТРЫ

Магнитометры, основанные на принципе оптической ориентации атомов или оптической накачки рабочего вещества под действием внешнего поля, называются *квантовыми магнитометрами*, по зарубежной терминологии — *оптическими магнитометрами*.

В магнитометрах с оптической ориентацией атомов используют *эффект Зеемана*. Под воздействием внешнего поля T атомы вещества приобретают дополнительную энергию, строго пропорциональную их магнитным моментам и моментам количества движения (спинам). В результате этого атомы получают определенные и разные по величине порции дополнительной энергии, а следовательно, переходят на разные подуровни. Таким путем возникает зеемановское энергетическое расщепление. Получив порцию энергии, атомы переходят из основного состояния в возбужденное. Обратный переход сопровождается испусканием такой же порции энергии.

Принцип действия квантовых преобразователей основан на выделении частоты поглощения или испускания электромагнитной энергии при переходе атомов рабочего вещества с одного подуровня на другой энергетический подуровень, расстояние между которыми, а следовательно, и частота перехода зависят от величины внешнего магнитного поля.

Принцип оптической накачки реализован в пешеходном квантовом магнитометре ММП-303 (М-33М). Этот магнитометр представляет собой дальнейшую модификацию магнитометра М-33. Он предназначен для измерения и регистрации магнитной индукции поля T Земли, а также для автоматического измерения и регистрации вариаций δT магнитной индукции. Области применения — производство наземных магнитных измерений с целью геологического картирования и детализации магнитных аномалий - при поисках широкого круга полезных ископаемых, в том числе представленных слабомагнитными рудами.

Условия эксплуатации — работа на открытом воздухе в диапазоне температур от — 10 до 40°С при относительной влажности 65 ± 15 % и атмосферном давлении 100 ± 4 кПа. Режимы управления работой магнитометра — ручной и автоматический. В автоматическом режиме магнитометр может быть использован в качестве магнитовариационной станции. Результаты

измерений фиксируются на световом табло и автоматически регистрируются в цифровом виде на бумажной ленте магнитометра.

В комплект прибора входят: блок магниточувствительный (МЧБ), блок измерительно-регистрирующий, блок аккумуляторов 2НКП-20У2, кабель соединительный, комплект запасных частей, инструмента и принадлежностей.

Основной частью прибора является МЧБ, преобразующий величину измеряемой магнитной индукции в частоту. В качестве рабочего вещества применен парообразный щелочной металл цезий ^{133}Cs . Частота резонансного излучения атомов, генерируемая квантовым преобразователем 1, измеряется электронным частотомером 2 дискретного действия. В соответствии с выбранным временным интервалом измеренная частота фиксируется непосредственно в единицах магнитной индукции (в нТл или в десятых долях нТл). Значение магнитной индукции автоматически регистрируется в цифровом виде на бумажной ленте печатающего механизма 3. Питание магнитометра осуществляется от блока аккумуляторных батарей 4 через преобразователь напряжения 5.

Контрольные вопросы.

1. Как называются приборы, предназначенные для измерения магнитной индукции?
2. Что измеряют магнитометры?
3. На какие типы делятся магнитометры, по принципу действия измерительного преобразователя?
4. На чем основывается принцип работы оптико-механических магнитометров?
5. На чем основывается принцип работы феррозондовых магнитометров?
6. На чем основывается принцип работы протонных магнитометров?
7. На чем основывается принцип работы квантовых магнитометров?

Урок 8

Тема 2.3: Методика и техника проведения магнитных съемок.

План:

1. Методика магнитных съемок.
2. Абсолютные и относительные измерения.
3. Наземная магнитная съемка:
 - а) Автомобильная магнитная съемка,
 - б) Аэромагнитная съемка,
 - в) Гидромагнитная съемка.

Методика магнитных съемок

Под методикой полевых работ понимается комплексная система положений, правил и приемов выполнения съемок, направленная на решение проектных геологических задач. Весьма важно обосновать рациональную методику и технику, полевых работ, при которой геологическое задание выполняется с максимальной геологической и экономической эффективностью. Основой этого являются знания физических свойств горных пород и руд изучаемого региона, участка работ,

наличие высокоточной аппаратуры и оборудования, знание геологической обстановки и организационно-технических условий.

Основными элементами методики магнитной съемки являются:

- а) выбор вида, масштаба и точности съемки;
- б) выбор и увязка контрольных пунктов КП, разбивка опорной сети точек наблюдения и получение высокоточных значений измеряемого элемента поля;
- в) выбор формы и густоты сети наблюдений и рациональное производство рядовых наблюдений при основной и детальной съемках;
- г) оценка качества полевых измерений и дополнительные наблюдения на расчетных интерпретационных профилях;
- д) ведение необходимой полевой документации. Существенное значение имеет выбор элемента геомагнитного поля и вида измерений (абсолютные или относительные).

Абсолютные и относительные измерения геомагнитного поля

Абсолютные измерения основаны на прямой регистрации полного мгновенного значения элемента геомагнитного поля — T , H , Z , D , I . В настоящее время модуль вектора индукции T измеряется протонными и квантовыми магнитометрами. Определение склонения D осуществляется по разности между астрономическим и магнитным азимутами удаленного ориентира. Астрономический азимут находят астрономическими или геодезическими методами магнитный — с помощью буссолей или специальных приборов деклинаторов. Относительные измерения основаны на сравнении измеряемой величины с одноименной, принятой за исходную. Разности значений элементов в двух различных пунктах наблюдения называются приращениями (ΔT , ΔZ , ΔH , ΔD , ΔI).

Для определения относительных значений элементов геомагнитного поля выбирают исходный пункт, в котором измеряемый элемент принят за условное нулевое значение. При этом полное значение элемента поля в данном пункте знать не требуется.

Наземная магнитная съемка

Наземные магнитные съемки проводятся в комплексе с геолого-геофизическими, ядерно-физическими и геохимическими исследованиями. Съемки могут выполняться также самостоятельно для решения узких задач, например для детального изучения высокомагнитных тел. Круг решаемых наземными съемками задач достаточно широк и разнообразен: а) крупномасштабное геологическое картирование в масштабах 1 : 50000, 1 : 25000, 1 : 10000 (картировочно-поисковые съемки); б) прямые поиски рудных месторождений (железа, бокситов и пр.); в) выявление и детальное изучение рудоконтролирующих факторов, геологических границ, рудных тел (поисково-разведочные съемки); г) изучение отдельных рудных тел, элементов их залегания, подсчет запасов (разведочные, детализационные съемки в масштабах 1 : 5000 и крупнее). Вид, масштаб и точность съемки выбирают исходя из поставленных задач, размеров и формы аномалий, их интенсивности, погрешности аппаратуры. Площадные

магнитные съемки различных масштабов по определенной сети наблюдений являются самыми предпочтительными. Расстояние между профилями и пунктами наблюдений зависит от размеров и формы искомых объектов и аномалий, частоты смены пород и сложности ожидаемого магнитного поля.

Стандартные размеры прямоугольных сетей наблюдений (при: которых расстояние между профилями значительно больше шага наблюдений по линии профиля) для различных масштабов приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Масштаб съемки	Расстояние между профилями, м	Расстояние между пунктами наблюдений, м	Масштаб съемки	Расстояние между профилями, м	Расстояние между пунктами наблюдений, м
1 : 100 000	1000	100—200	1 : 5000	50	5—20
1 : 50 000	500	50—100	1 : 2000	20	5—10
1 : 25 000	250	20—50	1 : 1000	10	2—5
1 : 10 000	100	10—25			

Указанные сети применяются для выявления и изучения сильно-вытянутых в одном направлении геологических тел и магнитных, аномалий. Профили в этом случае ориентируются вкрест простирания изучаемых объектов. Если тела и аномалии имеют в плане изометричную форму, близкую к окружности или эллипсу, сеть наблюдений должна быть квадратной. Искажения магнитного поля и линейных размеров тел в этом случае будут минимальными. Профильная магнитная съемка с определенным шагом наблюдений применяется при рекогносцировочных исследованиях, при разбивке опорной сети, на расчетных профилях.

Точность полевых измерений указывается в проекте работ и зависит от интенсивности ожидаемых магнитных аномалий, уровня помех, сложности изучаемого магнитного поля и прочих условий. Классификация наземных съемок по точности приведена в таблице.

Таблица 1.3

Точность съемки	Предельная погрешность показаний прибора, нТл	Средняя квадратическая погрешность наблюдений, нТл	Сечение изолиний магнитных карт, нТл
Пониженная	15—20	15	100, 250
Средняя	10	5—15	20, 50, 100
Высокая	5	5	10, 20

Магнитные съемки со средней квадратической погрешностью не более 1 нТл принято называть прецизионными. Средняя квадратическая погрешность определяется по разностям основных и контрольных наблюдений по линии профиля. К прецизионным съемкам специального назначения относятся микромагнитная съемка, наблюдения на

интерпретационных профилях, измерения градиентов магнитного поля, выполняемые в крупных масштабах.

Контрольные вопросы.

- 1) Задачи решаемые магниторазведкой.
- 2) От чего зависит точность съемки.
- 3) Какие работы называют прецизионными.

Урок 9

План

Контрольный пункт.

1. Контрольный пункт.
2. Увязки КП и ОП.
3. Полевая опорная сеть.
4. Оценка качества полевых наблюдений.

Перед началом полевых измерений производятся выбор и увязка контрольных пунктов КП между собой. Контрольные пункты служат для приведения результатов наблюдений к единому уровню, а также для контроля технических характеристик магнитометров. Местоположение КП должно быть удобным для работы, располагаться в спокойном, нормальном поле, в условиях отсутствия магнитных помех (металлических предметов, линий электропередач и пр.). В полевой период магнитные съемки могут проводиться на нескольких, удаленных друг от друга участках, поэтому КП удобнее располагать либо на самих участках (КПу) работ, либо на новых стоянках отряда (базы, КПб). В данных случаях КП необходимо увязывать друг с другом, а также с опорным пунктом, на котором известно абсолютное значение измеряемого элемента магнитного поля (генеральный пункт ОПг).

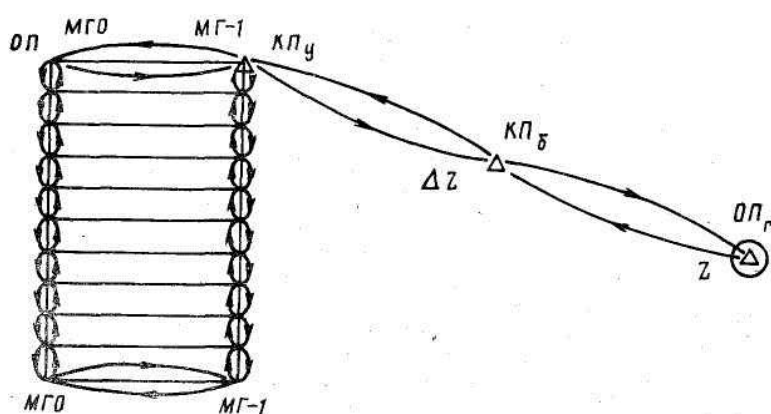


Рис. 8.1. Схема увязки ОП и КП, разбивки опорной сети наблюдений

Передача на КП приращений магнитного поля или полных значений элементов поля осуществляется многократными измерениями несколькими магнитометрами, обычно двумя-тремя, по цикловой схеме (рис. 1.24). При увязке нескольких КП сначала берут отсчеты по шкале магнитометров на основном КП, где известно опорное значение поля (ОП), а затем с использованием транспортных средств (автомобиль, вертолет) последовательно проводят наблюдения на других КП. Далее возвращаются на основной КП и вновь берут отсчеты по приборам. Указанная система наблюдений образует замкнутый цикл или цикловую схему. Методика увязки КП может быть иной, например путем постепенной передачи поля одним циклом из одного пункта наблюдений в другой, путем маршрутных наблюдений несколькими приборами со 100 %-ным повторением и пр. Маршрутные (профильные) съемки выполняются чаще всего относительно КП по отдельным прямолинейным или криволинейным линиям. Измерения на КП проводятся непосредственно перед выездом (выходом) в маршрут и после возвращения на него. В результате значения поля в каждом пункте маршрута (профиля) определяются относительно значения поля на КП.

При отсутствии опорного пункта с абсолютным значением поля в качестве опорного значения поля на КП для последующего приведения к нему измеренных значений поля, как условному нулевому уровню, может приниматься среднемесячное значение поля на КП. В зависимости от точности съемки (пониженная, средняя) отработка рядовых пунктов в маршруте (профиле) может производиться от КП с наблюдением вариаций магнитного поля или без них. При высокоточных измерениях, выполняемых протонными и квантовыми магнитометрами, введение поправок за вариации обязательно. С этой целью на КП устанавливается аналогичный прибор для наблюдений вариаций.

Контрольные вопросы.

1. Назначение контрольных пунктов.
2. Методика увязки КП.
3. Местоположение контрольных пунктов.

Урок 10

Полевая опорная сеть.

План

1. Полевая опорная сеть.
2. Контрольные измерения.

При производстве площадных магнитных съемок средней и высокой точности на участках работ могут разбиваться опорные сети.

Полевая опорная сеть — это сеть пунктов наблюдений повышенной точности, служащая для контроля качества наблюдений, учета смещения нуля приборов, а также приведения съемки к единому уровню. Пункты опорной сети служат жесткой основой для привязки к ним наблюдений на пунктах рядовой сети. Опорные пункты располагаются равномерно по площади участка относительно пунктов рядовых наблюдений. Опорные пункты должны располагаться в спокойном, нормальном поле, вблизи жестко привязанных ориентиров — пунктов триангуляции,

геодезических знаков, мостов, перекрестков дорог, высот, излучин рек и пр. При высокоточных съемках опорная сеть точек должна создаваться по инструментально проложенным профилям. Опорную сеть разбивают перед началом рядовой съемки или во время нее по мере отработки площади участка. Точность измерений на опорных точках должна быть в 1,5—2 раза выше точности рядовых наблюдений. Повышение точности обеспечивается применением протонных и квантовых магнитометров, многократными повторениями наблюдений по цикловой схеме, применением быстроходного транспорта. Расстояние между опорными точками должно быть таким, чтобы оператор при производстве рядовых

наблюдений мог через 2—3 часа работы с магнитометром. Ориентировка съемочных профилей зависит от геологического строения участка, рельефа и задачи съемки. Профили прокладывают перпендикулярно к магистралям. Магистрали задают параллельно простиранию пород и аномалий. При съемке на участках с резко переменными по знаку градиентами поля производят детализацию аномалии путем сгущения шага наблюдений по линии профиля. Площадная детализация в более крупном масштабе предусматривается проектом работ в пределах 5—30 % в зависимости от сложности магнитных полей и аномалий.

Для оценки качества полевых измерений проводят контрольные наблюдения в объеме 5 %, при сложных условиях ведения работ — 10 %. Контрольные наблюдения выполняют операторы и ответственные исполнители работ через несколько дней после проведения рядовых (основных) измерений. Контрольные измерения проводят по всей длине профиля или его части. Они могут быть расположены на секущих профилях, ориентированных под острым углом к основным профилям, равномерно по площади участка.

Качество рядовых измерений оценивается величиной средне-квадратической погрешности (в нТл) по формуле для двойных равноточных измерений

$$\sigma_{p. c} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 / 2n},$$

где Δ_i — разность между основными и контрольными измерениями в нТл; n — число контролируемых точек.

Точно по такой же формуле производится расчет среднеквадратической погрешности разбивки опорной сети $\sigma_{o. c}$ и увязки контрольных пунктов КП $\sigma_{кп}$. Итоговая оценка погрешности съемки

складывается из погрешностей измерений на опорных, рядовых и контрольных пунктах:

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\sigma_{o. c}^2 + \sigma_{p. c}^2 + \sigma_{кп}^2}.$$

Проектом работ предусматриваются величины $\sigma_{пр}$, $\sigma_{o. c}$, $\sigma_{p. c}$. Качество съемки считается удовлетворительным, если расчетное значение σ_c меньше проектного $\sigma_{пр}$. В противном случае при $\sigma_c > \sigma_{пр}$ съемка бракуется.

Контрольные вопросы.

1. Назначение контрольных пунктов.
2. Назначение опорной сети.
3. Способы создания опорной сети.
4. Расчет среднеквадратической погрешности.

Урок 11

План

Область применения магнитной съемки.

1. Методика проведения автомобильной магнитной съемки.
2. Аэромагнитная съемка.
3. Гидромагнитная съемка.
4. Область применения магнитной съемки.

Автомобильная магнитная съемка. Автомобильная съемка находит широкое применение в степных и полупустынных районах, доступных для проезда автотранспорта. Основное преимущество автомобильной съемки перед пешеходной заключается в высокой производительности и более низкой стоимости работ. Измерения магнитного поля производятся в движении, автоматически, в условиях влияния несущей платформы (прицепа) и автомобиля, с постоянным интервалом между точками наблюдений. Решаемые геологические задачи, условия применения, выбор участков работ, масштабов съемки аналогичны приведенным для пешеходной съемки. Автомагнитные измерения проводятся в площадном и профильном (маршрутном) вариантах. Площадные съемки масштаба 1 : 25000, 1 : 10000, 1 : 5000, 1 : 2000 позволяют в кратчайшие сроки решать задачи геолого-структурного картирования больших площадей, участков детализации аэромагнитных и аэрогамма-спектрометрических аномалий.

Аэромагнитная съемка — метод, измерения магнитного поля Земли с применением определенных типов летательных аппаратов самолет, вертолет). В настоящее время проводятся комплексные аэрогеофизические исследования, в том числе и аэромагнитные. «Они позволяют в кратчайшие сроки с максимальной геологической и экономической эффективностью изучать большие по размерам территории.

Физико-геологические основы аэромагнитной и наземной съемок одинаковы, поэтому они подробно не рассматриваются. Благоприятными условиями для производства работ являются спокойный рельеф местности, невысокие градиенты магнитного поля, высокая дифференцированность горных пород по магнитным свойствам. Круг решаемых геологических задач самый разнообразный: геолого-структурное картирование осадочных отложений, поиски нефтегазоносных структур, районирование и картирование эффузивов и интрузий различного состава, картирование рудовмещающих и рудоконтролирующих структур и т. д. Аэромагнитные съемки геологического назначения подразделяются на маршрутные и площадные. Маршрутные исследования используются для рекогносцировки района работ, составления опорных геолого-геофизических разрезов, создания опорной сети маршрутов, выбора стоянок радиогеодезических систем и магнитовариационных станций (МВС), контроля стабильности работы аппаратуры.

Площадные съемки выполняются по системе параллельных прямолинейных маршрутов в масштабах от 1 : 200 000 до 1 : 10000.

гидромагнитная съемка

Геомагнитные измерения магнитометрами, выполняемые с применением плавательных средств (корабль, катер, лодка) на океанах, морях, реках, озерах, называются гидромагнитными измерениями или гидромагнитной съемкой.

Контрольные вопросы.

1. Что понимается под методикой полевых работ?
2. Что такое абсолютные и относительные измерения магнитного поля?
3. Что такое сеть и шаг наблюдения?
4. От чего зависит точность съемки?
5. Перечислите виды магнитных съемок?

Урок 12 (практика)

Методика и техника проведения магнитных съемок (практика)

План

1. Получить индивидуальное задание.
2. Выполнение работы.
3. Проверка задания.

При решении предлагаемых задач рекомендуется найти ответы на следующие вопросы:

- 1) Расстояние между профилями;
- 2) Расстояние между точками;
- 3) Число пунктов на 1 км²;
- 4) Масштаб съемки;
- 5) Точность съемки;
- 6) Среднеквадратическая погрешность определения высот пунктов наблюдений;
- 7) Среднеквадратическая погрешность определения координат пунктов наблюдений;

- 8) Точность рядовой съемки;
- 9) Точность опорной сети; расстояния между магистралями;
- 10) Число рядовых точек (физических точек съемки);
- 11) Число контрольных точек;
- 12) Число опорных точек;
- 13) Число погонных километров профилей;
- 14) Число погонных километров по магистралям.

Урок 13

Тема 2.4: Обработка и интерпретация полевых материалов.

План:

1. Общие положения по ведению документации.
2. Обработка данных магнитных съемок.
3. Определение элементов залегания.
4. Прямая и обратная задача в магниторазведке

ОБРАБОТКА ДАННЫХ МАГНИТНЫХ СЪЕМОК

Наземная пешеходная магнитная съемка. Общая формула для вычисления аномального значения поля Z_a в точке наблюдения по данным измерений с магнитометрами М-27м имеет вид

$$Z_a = \Delta Z - \Delta Z_T - \delta Z - \Delta Z_0 - \Delta Z_{гр} - \Delta Z_{н}, \quad (13.1)$$

где ΔZ — значение приращения поля между точками; ΔZ_T — по-

правка за влияние температуры; δZ — поправка за вариации;

ΔZ_0 — поправка за смещение нуля прибора, $\Delta Z_{гр}$ - поправка за аномальный градиент геомагнитного поля; $\Delta Z_{н}$ - поправка за различие базисного поля на КП и нормального поля.

Знаки минус между основными членами формулы имеют условное значение, так как поправки могут иметь положительные и отрицательные значения. Величина приращения поля

$$\Delta Z = c(n - n_0) + P_{ст}, \quad (13.2)$$

где c — цена деления шкалы в нТл/дел; n — отсчет в точке измерения в дел. шк.; n_0 — отсчет на КП или опорной точке в дел. шк.; $P_{ст}$ — поправка за ступенчатую компенсацию поля диапазонным магнитом в нТл.

Поправки за вариации для каждого момента времени снимают с магнитограмм магнитовариационных станций. При наблюдениях вариаций полевыми магнитометрами (М-27м,

ММП-303) строят кривые δZ , δT в интервале между утренним и вечерним измерениями на КП. Величина вариаций для данного момента времени

$$\delta Z = c_k (n - n_0), \quad (13.3)$$

где c_k — цена деления контрольного магнитометра, установленного на КП для измерений вариаций; n — отсчет по шкале прибора, снятый в заданный момент времени; n_0 — отсчет по прибору, произведенный раньше, чем утренние контрольные измерения рабочими приборами.

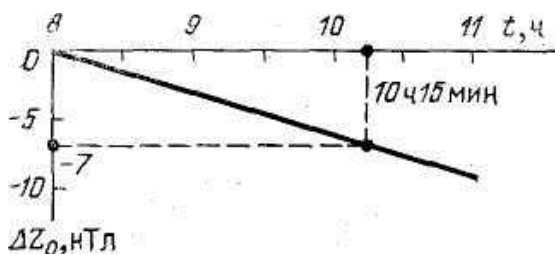
Поправку за смещение нуля ΔZ_0 прибора вычисляют по разности между известным значением приращения поля между опорными точками и измеренным приращением поля в рядовом рейсе, опирающемся на эти же точки. Если полевые измерения производились относительно КП без разбивки опорной сети, поправка за смещение нуля

$$\Delta Z_0 = c (n_2 - n_1), \quad (13.4)$$

где n_2 и n_1 — соответственно вечерний и утренний замеры поля на КП.

Величину поправки за смещение нуля в каждую точку измерения определяют по графику (рис. 1). По оси абсцисс откладывают время начала и конца рейса, по оси ординат — величину смещения нуля-пункта ΔZ_0 . Проводят прямую линию из начала координат в точку с координатами ΔZ_0 и временем конца рейса. Указанным способом можно построить график смещения нуля-пункта прибора за рабочую смену по нескольким рейсам или профилям съемки.

Рис. 1. График смещения нуля-пункта магнитометра М-27м



Для введения поправки за нормальный градиент используют карты нормального поля Z_0 , T_0 ближайшей к сезону работ геомагнитной эпохи.

При обработке полевых измерений, выполненных прецизионными магнитометрами (ММП-303, ММП-203), вычисляют значения

ΔT либо T_a . Общие формулы для вычисления:

$$\Delta T = T_{\text{набл}} - T_{\text{КП}} - \delta T - \Delta T_{\text{н.г}} - \Delta T_{\text{н}}; \quad \Delta T_a = T_{\text{набл}} - \delta T - T_{\text{н}}$$

где $T_{\text{набл}}$ — показание прибора в точке наблюдения; $T_{\text{КП}}$ — то

же, при утреннем измерении на КП; δT — поправка за вариации поля; $\Delta T_{H, r}$ — поправка за нормальный градиент поля; ΔT_H — поправка за различие базисного поля на КП и нормального поля.

Контрольные вопросы

- 1) Сущность полевой обработки материалов.
- 2) Сущность камеральной обработки материалов.
- 3) Сущность интерпретации материалов.

Урок 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

План

1. Методы решения обратных задач.
2. Способ касательных.

Существует большое разнообразие методов решения обратных задач: а) характерных точек; б) интегральные; в) предельные (оценочные); г) амплитудные; д) сравнения; е) подбора; ж) векторные; з) использующие функции комплексного переменного. Все указанные методы предназначены для производства качественной и количественной интерпретации магнитных полей и аномалий.

При количественной интерпретации магнитных аномалий определяются элементы залегания геологических тел: глубины залегания нижней и верхней кромки магнитовозмущающего объекта, горизонтальная мощность, углы падения и пр.

Рассмотрим простейшие способы решения обратных задач для изолированных, локальных аномалий, обусловленных одиночными телами.

Способ касательных. Способ находит широкое применение для быстрой оценки глубины залегания магнитовозмущающего тела. К характерным точкам кривой магнитного поля проводят пять касательных: в точке максимума, две в точках минимумов, две в точках перегибов ветвей кривой (рис. 1). Относительно условного начала координат в точке максимума аномалии x_0 определяются абсциссы точек пересечения горизонтальных и

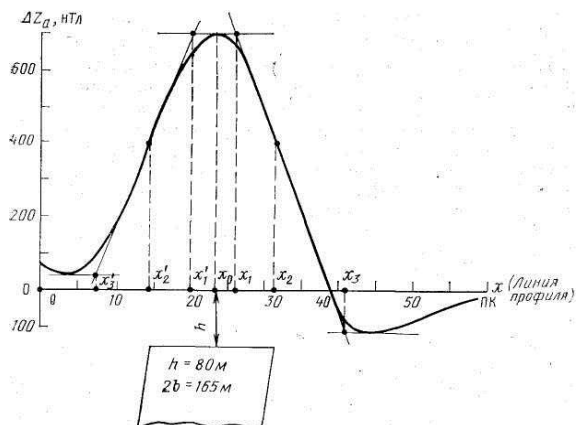


Рис. 1. К интерпретации кривой ΔZ_a способом касательных

наклонных касательных, а также абсциссы точек перегибов кривой — $x_1, x_2, x_3, x'_1, x'_2, x'_3$. Глубину до верхней кромки тела вычисляют по формул

$$h = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} (x_3 - x_1) + \frac{1}{2} (x'_3 - x'_1) \right].$$

Для пастообразных тел В. К. Пятницким рассчитаны поправочные коэффициенты, учитывающие форму тела при определении глубины залегания h и мощности $2b$ (табл. 1).

Таблица 1.4

$\frac{x_3 - x_1}{x_1}$	x_1/h	x_2/h	x_3/h	b/h	$\frac{x_3 - x_1}{h}$	$\frac{Z_a \text{ max}}{J}$
9,86	0,16	0,58	1,74	0,1	1,58	0,41
6,80	0,25	0,71	1,95	0,5	1,70	1,86
4,62	0,42	1,08	2,36	1,0	1,94	3,14
2,10	1,10	2,03	3,40	2,0	2,30	4,40
1,34	1,90	3,00	4,44	3,0	2,54	4,95
1,00	2,70	4,00	5,40	4,0	2,70	5,32
0,74	3,73	5,00	6,50	5,0	2,77	5,48
0,44	6,60	8,00	9,50	8,0	2,90	5,76
0,34	8,56	10,00	11,50	10,0	2,94	5,92

Рассчитав отношение $(x_3 - x_1)/x_1$ в соответствующей строке таблицы, находят отношения $x_1/h, x_2/h, x_3/h, b/h$, по значениям которых определяют элементы залегания тела и его намагниченность J . На рис. 1. по результатам количественной интерпретации кривой ΔZ_a , построенной в масштабе 1 : 5000, показаны средние значения мощности $2b = 165 \text{ м}$ и глубины залегания $h = 80 \text{ м}$ геологического тела. Поскольку правая ветвь кривой имеет

минимум с отрицательными значениями поля, а левая ветвь кривой — минимум с положительными значениями поля, следует предположить наклонное падение пласта в сторону меньших пикетов профиля (при намагниченности пласта по падению). Угол падения способом касательных определить нельзя.

Глубина залегания нижней кромки пласта может быть определена по методу Булиной:

$$h_{\text{н}} = 2x_{\text{min}} - 1,8(h + b), \quad (1.56)$$

где x_{min} — абсцисса минимума кривой; b — горизонтальная полумощность пласта; h — глубина залегания верхней кромки пласта.

Контрольные вопросы

1. Методы решения обратных задач.
2. Сущность решения обратной задачи.
3. Сущность количественной интерпретации материалов.

Урок 15, 16 (практика 4 часа)

Обработка и интерпретация полевых материалов

План

1. Принципы решения прямой и обратной задачи магниторазведки для тел различной формы.
2. Получение и решение индивидуальных задач.
3. Проверка выполнения работ.

Прямая и обратная задачи магниторазведки. Магнитное поле геологического объекта можно рассчитать по теоретическим формулам, зная его форму, объем, элементы залегания, характер намагничения. Задача определения магнитного поля по заданным (известным) параметрам геологического тела называется *прямой задачей*. Прямая задача всегда решается однозначно, поскольку уравнения составляющих напряженности магнитного поля имеют единственное решение. Определение формы, размеров, элементов залегания, намагниченности тела по данным измерений магнитного поля — *обратная задача* магниторазведки. Сложность решения обратной задачи состоит в том, что одна и та же форма аномалии может быть вызвана

различными геологическими объектами или одним 'сложным по форме телом. Для однозначного решения обратной задачи применяют широкий комплекс геофизических методов с привлечением всех имеющихся геологических данных. При интерпретации материалов магниторазведки полагают, что искомый объект намагничен однородно.

Магнитное поле любого геологического тела на поверхности измерений имеет положительные и отрицательные значения относительно нулевого уровня съемки, принятого условно. Форма аномалий и соотношения между магнитными полями различных знаков зависят от направления и интенсивности намагничивания, глубины залегания, формы и размеров магнитовозмущающих объектов. Бесконечные сочетания различных комплексов пород, их отдельных минералогическо-петрографических разновидностей, условий залегания, многообразие форм и размеров структур обуславливают сложные магнитные поля и аномалии. Следовательно, необходимо знать интерпретационные критерии и признаки распределения магнитного поля над отдельными геологическими телами. Для этих целей разработана и постоянно совершенствуется теория магнитного поля намагниченных тел.

Для общего ознакомления ниже рассмотрены аналитические выражения напряженности магнитного поля некоторых тел простейших форм при однородной намагниченности, расположенных в немагнитной среде.

Тонкий вертикальный стержень. Под «тонким» стержнем понимается геологическое тело, имеющее малый диаметр d по сравнению с глубиной залегания h верхнего конца стержня. Соотношение d/h должно быть не больше 0,1—0,2, или глубина залегания должна быть в 10—20 раз больше диаметра тела d . Длина стержня бесконечно большая, так что нижний конец располагается на большой глубине и его влиянием на магнитную аномалию пренебрегают.

При однородной и вертикальной намагниченности магнитные массы будут располагаться на концах стержня. Магнитная масса m , сосредоточенная на верхнем конце стержня, численно равна $m = \sigma_m S$, где σ_m — поверхностная плотность магнетизма; S —

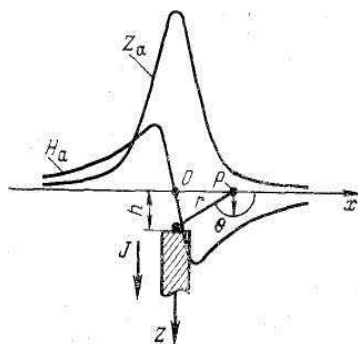


Рис. 1. Кривые Z_a и H_a над вертикальным стержнем

площадь торцевой поверхности стержня. Уравнения для вертикальной составляющей Z_a и горизонтальной составляющей H_a аномального магнитного поля по профилю, проходящему через центр стержня, будут иметь вид

$$Z_a = (m/r^2) \sin \theta = \frac{mh}{(h^2 + x^2)^{3/2}}; \quad H_a = (m/r^2) \cos \theta = \frac{-mx}{(h^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (1.13)$$

где θ — угол, отсчитываемый от положительного направления оси x по часовой стрелке до радиуса-вектора r .

Кривая Z_a (рис. 1) положительная, имеет максимум при $x = 0$ ($\theta = 90^\circ$), т. е. $Z_a^{\max} = m/h^2$. По $0,5 Z_a^{\max}$ находят расстояние между точками на профиле от максимума до полумаксимума $x_{0,5}$, которое имеет величину $x_{0,5} = 0,77 h$. Вычислив h , определяют m затем S по известной интенсивности намагниченности \vec{J} из выражения $m = \vec{J}S$.

Магнитное поле над стержнем для вертикальной составляющей Z_a в силу осевой симметрии будет иметь в плане изометричную форму — в виде концентрических окружностей. Горизонтальная составляющая H_a слева от стержня положительная, т. е. по направлению совпадает с осью Ox ; справа от стержня — отрицательная. Над стержнем при $x = 0 H_a = 0$ и меняет знак. Максимальные значения H_a^{\max} устанавливаются при $x_{\max} = \pm 0,7 h$ т. е. $H_a^{\max} = 0,38 Z_a^{\max}$. По кривой H_a можно определить глубину h , используя расстояние между точками с экстремальными значениями l , $h = 0,7 l$. Векторы \vec{T}_a во всех точках профиля будут направлены на полюс. Поэтому, если имеются обе кривые Z_a и H_a положение верхнего конца стержня можно найти по точке пересечения направлений полных векторов \vec{T}_a .

К аномалиям над бесконечным вертикальным стержнем в природных условиях относятся аномалии над кимберлитовыми трубками небольших размеров, над апофизами основной магмы (в виде тонких вулканических трубок, располагающихся по периферии жерла вулкана, Камчатка, Якутия и др.), над мелкими отдельными геологическими образованиями вертикального падения с малой площадью поперечного сечения.

Шар.

Форма кривых Z_a и H_a показана на рис. 2. Кривая Z_a отличается более пологим максимумом и крутым спадом крыльев аномалии. Если пласт имеет большое распространение на глубину и намагничен по падению вертикально, то по $Z_a = 0,5 Z_a^{\max}$

$$Z_a = \vec{p}_m \frac{2h^2 - x^2}{(h^2 + x^2)^{5/2}}; \quad H_a = \frac{3\vec{p}_m h x}{(h^2 + x^2)^{5/2}};$$

$$T_a = \frac{\vec{p}_m}{(h^2 + x^2)^2} \sqrt{4h^2 + x^2}, \quad (1.17)$$

где h — глубина до центра шара; $\vec{p}_m = \vec{J}V$ — магнитный момент шара объемом V ; x — расстояние от точки проекции центра шара на поверхность до точки наблюдения на профиле.

Кривые Z_a , H_a над вертикально намагниченным шаром изображены на рис. 2.

Расстояние от максимума до полумаксимума $x_{0,5}$ у кривой Z_a приблизительно равно $0,5 h$. В точке с абсциссой $x = x_0 = h/\sqrt{2}$ кривая Z_a переходит через нуль.

Глубину до центра шара можно определить по $x_{0,5}$ кривой Z_a или по кривой H_a : $h = 2x_{0,5}$, $h = l$. Магнитный момент шара

$\vec{p}_m = 0,5 Z_a^{\max} h^3$. Зная намагниченность \vec{J} , можно вычислить объем шара $V = \vec{p}_m / \vec{J}$, его радиус $R = \sqrt[3]{3V/4\pi}$, залегания

верхней кромки $h_1 = h - R$. При необходимости можно вычислить

количество руды P по зависимости $P = \sigma V$, где σ — плотность руды.

Если интенсивность намагничивания неизвестна, то по одной аномалии нельзя найти объем шара V и глубину h_1 . Поэтому \vec{J} находят лабораторным путем на образцах, отобранных из аналогичных руд, известных в районе месторождений.

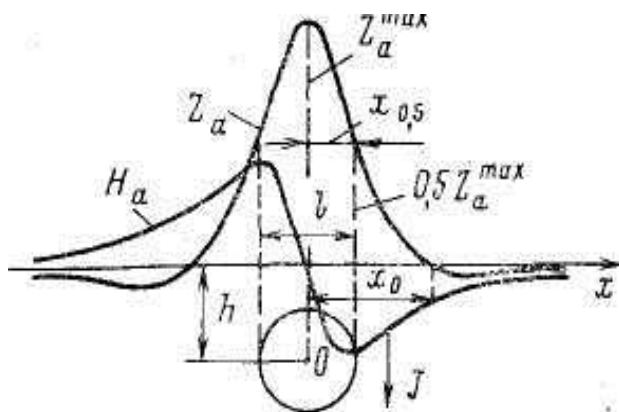


Рис. 2. Кривые Z_a и H_a над вертикально намагниченным шаром

Контрольные вопросы.

1. По какой формуле рассчитывается аномальное магнитное поле?
2. Для чего вводят поправки и какие при расчетах аномального поля?
3. Что такое количественная и качественная интерпретация?
4. Что такое способ касательных?
- 5.

РАЗДЕЛ 3.

Гравиразведка.

Урок 17

Тема 3.1: Физико-геологические основы гравиразведки.

План:

1. Общие сведения.
2. Физико-геологические основы гравиразведки.
3. Гравитационное поле Земли.
4. Аномалии силы тяжести.
5. Плотность горных пород и руд и способы ее определения

Общие сведения

Гравитационная разведка (гравиразведка) является одним из методов разведочной геофизики, основанным на изучении поля силы тяжести на поверхности Земли и вблизи нее. Физическая основа гравиразведки – различие плотностей пород, рудных и нерудных полезных ископаемых. В гравиразведке измеряются плотности горных пород, выполняются абсолютные и относительные измерения ускорения свободного падения и его производных, выделяются аномалии гравитационного поля и проводится их геологическое истолкование.

Эффективность применения гравиразведки определяется физико-геологическими условиями залегания изучаемого объекта, точностью и детальностью гравиразведочных работ, изученностью района геолого-геофизическими методами. Благоприятными физико-геологическими условиями для применения гравиразведки являются достаточная дифференцированность горных пород по плотности, относительно большие размеры изучаемых объектов, небольшая глубина их залегания, отсутствие помех.

Основные задачи и объекты исследований гравиразведки следующие: а) изучение глубинного строения земной коры; б) изучение регионального геологического строения геосинклиналей и платформ; в) геологическое картирование закрытых территорий; г) поиски структур, перспективных на нефть и газ, на рудные и нерудные полезные ископаемые.

Широко используется гравиразведка для решения инженерно-геологических, гидрогеологических, геодезических задач.

Гравиразведку применяют в комплексе с магниторазведкой, электроразведкой, сейсморазведкой, радиометрией, ядерной геофизикой и другими геолого-геофизическими методами.

В настоящее время изучение гравитационного поля и фигуры Земли производится не только наземными методами, но и с помощью искусственных спутников, космических пилотируемых кораблей и станций

Физико-геологические основы гравиразведки.

В основе теории гравиразведки лежит закон всемирного тяготения Ньютона (1642-1727 гг.). Согласно этому закону, все тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной их массе и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Закону всемирного тяготения подчинено движение и взаимодействие всех небесных тел, а также распределение масс внутри них. Притяжение, оказываемое Землей на отдельные массы, также подчинено закону всемирного тяготения. Сила, с которой любое физическое тело притягивается к Земле, называется *силой тяжести*.

Сила тяжести обусловлена двумя составляющими: силой притяжения всей массой Земли и центробежной силой, создаваемой вращением Земли вокруг своей оси.

Согласно закону Ньютона, сила притяжения F между двумя точечными массами m_1 и m_2 , находящимися на расстоянии r друг от друга, определяется выражением:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1.)$$

где $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ – гравитационная постоянная (постоянная тяготения), широко используемая в физике, механике, геофизике и астрономии.

→

Сила притяжения F – векторная величина, характеризующаяся численным значением и направлением в пространстве.

Под *точечной массой* понимается масса тела, сосредоточенная в определенном объеме, размер которого бесконечно мал по сравнению с расстоянием от тела до точки наблюдения.

Сила F численно равна ускорению силы притяжения всей массы Земли:

$$g = -GM/R^2,$$

где M – масса Земли;

R – расстояние от центра Земли до притягиваемой точки.

Составляющие F_x, F_y, F_z – частные производные по координатам притягиваемой точки от функции W_p , называемой *потенциалом* (по Гауссу) или *потенциальной функцией притяжения*.

Гравитационное поле Земли.

Если каждой точке на поверхности Земли и во внешнем пространстве соответствует единственное значение силы тяжести, отнесенное к единичной массе, такое пространство называется *полем силы тяжести Земли*. Сила, действующая в данной точке на единичную массу,

называется *напряженностью поля силы тяжести*. Следовательно, напряженность поля равна ускорению свободного падения в той же точке. На тела, находящиеся в околоземном пространстве, центробежная сила не действует – на них действует лишь сила притяжения Земли. Очевидно, что поле сил притяжения Земли есть *гравитационное поле*. В гравиразведке для краткости ускорение свободного падения называют *силой тяжести*. За единицу ускорения свободного падения на XV ассамблее Международного союза геодезии и геофизики в Москве в 1971 г. принята единица под названием «галилео» (G1). Эта единица очень крупная – все земное поле силы тяжести составляет 9,81G1. Поэтому в практике гравиразведки применялась единица свободного падения, в 100 раз меньшая, - внесистемная единица, называемая Гал. Тысячная доля гала называется миллигал (1мГал = 10^{-3} Гал = 10^{-5} м/с²).

В СИ за единицу ускорения свободного падения принимается такое ускорение, которое испытывает масса в 1 кг под действием силы в 1 Н (м/с²). На практике используется дробная доля, см/с².

Контрольные вопросы

- 1) Сущность гравиразведки.
- 2) Закон Ньютона.
- 3) Потенциал силы тяжести.
- 4) Единицы измерений.
- 5)

Урок 18

Гравитационный потенциал и его производные

План

- 1) Гравитационный потенциал и его производные.
- 2) Свойства гравитационного потенциала.
- 3) Вторые производные потенциала силы тяжести.

Гравитационный потенциал и его производные. Потенциал силы тяжести W равен сумме потенциалов притяжения W_n и центробежного ускорения U : $W(x, y, z) = W_n(x, y, z) + U(x, y, z)$.

Первые (частные) производные от потенциала силы тяжести по координатным осям x, y, z равны составляющим силы тяжести g_x, g_y, g_z :

$$\partial W/\partial x = g_x; \quad \partial W/\partial y = g_y; \quad \partial W/\partial z = g_z$$

Рассмотрим свойства гравитационного потенциала.

При $cos(g, s)=0$ имеем $dW=0$, т.е. приращение равно нулю, а, следовательно, потенциал силы тяжести постоянен ($W=const$). Выражение $W=const$ является уравнением некоторой поверхности в системе координат x, y, z .

Если в уравнении $W=const$ задавать постоянными различные значения, получим семейство уровневых поверхностей, одна из которых совпадает с уровнем невозмущенной воды в океанах. Такая поверхность, мысленно продолженная под континенты, называется поверхностью геоида, фигура, ограниченная - геоидом.

Сила тяжести во всех точках направлена по нормали к поверхности геоида. Геоид, близкий по форме к фигуре Земли, введен для практических целей: можно определить высоты физической поверхности Земли над геоидом. Высоты определяют относительно уровня моря. Поскольку уровни морей и океанов неодинаковы, счет высот ведется относительно некоторой условной метки, обычно совпадающей со средним за много лет уровнем океана. В СССР в качестве начала счета высот принимается отметка Кронштадтского футштока, проведенная по среднему уровню Балтийского моря. Таким образом, получаемые при нивелировании высоты являются превышением над уровнем геоида.

Вторые производные потенциала силы тяжести. В гравитационной разведке при изучении деталей геологического строения участка работ, поисках и оконтуривании малых и неглубоко залегающих рудных тел и структур широко используют вторые, а иногда и третьи производные гравитационного потенциала.

Вторые производные W_{xz} , W_{yz} , W_{zz} являются градиентами силы тяжести по осям x , y , z . Производные W_{xz} , W_{yz} характеризуют изменение силы тяжести в горизонтальных направлениях x и y и поэтому называются *горизонтальными градиентами силы тяжести*. Производная W_{zz} характеризует изменение силы тяжести в вертикальном направлении, т.е. вертикальный градиент силы тяжести. Производные W_{xz} , W_{yz} обычно представляют в виде векторов, направленных по координатным осям.

Единицей измерения вторых производных в системе СГС служит этвеш (Е). Единица 1 Е названа в честь изобретателя вариометра венгерского физика Р.Этвеша (1849-1919). Численно $1 \text{ Е} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-2}$, характеризует изменение силы тяжести в 1 Гал на 1 м [$(\text{м}/\text{с}^2) : \text{м} = (1/\text{с}^2) = \text{с}^{-2}$].

В СИ единицей измерения вторых производных служит с^{-2} .

Контрольные вопросы

- 1) Гравитационный потенциал и его производные.
- 2) Свойства гравитационного потенциала.
- 3) Вторые производные потенциала силы тяжести.

Урок 19

Нормальное гравитационное поле Земли.

План

- 1) Нормальное гравитационное поле Земли.
- 2) Уравнение Клеро.
- 3) Аномалии силы тяжести.
- 4) Плотность горных пород и руд и способы ее определения.

Нормальное гравитационное поле Земли. Под нормальным полем силы тяжести понимается теоретически рассчитанное поле в предположении, что Земля представляет собой геометрически правильное тело, состоящее из однородных по плотности концентрических слоев.

Современное значение сжатия Земли, определенное по результатам космических исследований и наземных гравиметрических измерений, составляет 1:298,26.

Переход от шара к эллипсоиду позволил приблизить теоретическую поверхность Земли к истинной ее поверхности. Отклонение поверхности эллипсоида от истинной фигуры Земли определяется рельефом местности и оценивается сотнями метров, реже – первыми километрами.

Впервые в 1743 г. Клеро была установлена зависимость распределения силы тяжести на поверхности Земли от ее формы, сжатия и от широты точки наблюдения. Эта зависимость описывается уравнением:

$$\gamma_0 = g_e(1 + \xi \sin^2 \varphi), \quad \xi = (5\omega^2 a / 2g_e) - \alpha \quad (2.14)$$

где γ_0 – нормальное значение силы тяжести;

g_e – значение силы тяжести на экваторе (экваториальная постоянная);

φ – широта пункта наблюдения;

$\alpha = (a-b)/a$ – сжатие Земли; a и b – большая и малая полуоси эллипсоида, представляющего Землю.

Формулы нормального распределения значения силы тяжести выводились многими авторами, но практическое применение нашла лишь формула Гельмерта (1901-1909 гг.) для эллипсоида вращения:

$$\gamma_0 = 978030 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) \quad (2.15)$$

Нормальные значения силы тяжести (в м/с^2) относятся к уровню геоида и могут быть рассчитаны по формуле:

$$\gamma_0 = 978030 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) - 14 \cdot 10^{-5} \quad (2.15)$$

где $14 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ – поправка в значение силы тяжести на мировом исходном пункте в Потсдаме, введенная в 1971 г.

В практике гравиразведочных работ нормальные значения силы тяжести определяются по специальным таблицам.

Аномалии силы тяжести.

Нормальные значения силы тяжести γ_0 рассчитываются для идеальной формы Земли, представленной эллипсоидом вращения. Наблюдаемые значения силы тяжести (в точке A) относятся к истинной физической поверхности Земли, которая не совпадает с поверхностью эллипсоида. Для сопоставления нормальных и наблюдаемых значений силы тяжести их

необходимо приводить (редуцировать) к единому уровню – либо к поверхности эллипсоида, либо к точкам наблюдения.

Редуцирование осуществляется путем введения поправок за высоту точки наблюдения над уровнем моря и плотность промежуточного слоя. Поправка за высоту точки наблюдения учитывает убывание силы тяжести с высотой в предположении, что между точкой наблюдения и уровнем моря массы отсутствуют. Такая поправка называется *поправкой в свободном воздухе*. Пусть точка наблюдения А имеет высоту h над уровнем моря.

После подстановки известных значений $R = 6378,16$ км, $g_0 = 9,78$ м/с² и уточнения расчетного значения по высшим членам ряда окончательно получим формулу поправки за высоту: $\Delta g_h = -0,3086h \cdot 10^{-5}$

Из формулы видно, что сила тяжести уменьшается на $0,3086 \cdot 10^{-5}$ м/с² на 1м высоты.

Зная высоту h точки наблюдения, рассчитывают величину поправки Δg_h которую вводят в нормальное значение γ_0 . Такой пересчет называется редуцированием силы тяжести или редуцией в свободном воздухе.

Значение нормальной силы тяжести γ_h на высоте h в точке наблюдения определяется путем суммирования нормального значения γ_0 поля на эллипсоиде и редуции в свободном воздухе: $\gamma_h = (\gamma_0 - 0,3086h) 10^{-5}$

Аномалия силы тяжести в свободном воздухе определяется как разность наблюденного g_h и редуцированного к точке наблюдения нормального значения силы тяжести: $\Delta g_{ca}^a = g_h - \gamma_h = (g_h - \gamma_0 + 0,3086h) 10^{-5}$

Поправка за промежуточный слой учитывает влияние масс, находящихся между точкой наблюдения и уровнем моря. Гравитационный эффект от промежуточного слоя рассчитывается как от плоскопараллельной пластины, безграничной и однородной по составу. Гравитационное влияние такой пластины $\Delta g_n = 2\pi G\sigma h$, где σ – плотность промежуточного слоя в г/см³; h – толщина слоя в м.

Подставляя в эту формулу значение гравитационной постоянной G , получим расчетную формулу для поправки за промежуточный слой:

$$\Delta g_n = 0,0419\sigma h 10^{-5}.$$

Данная поправка вводится со знаком «минус», так как наличие промежуточного слоя при наблюдениях на дневной поверхности увеличивает массу Земли, а следовательно, и силу тяжести. Суммарная поправка за высоту точки наблюдения и за притяжение промежуточного слоя называется *поправкой Буге*:

$$\Delta g_B = \Delta g_h + \Delta g_n = (0,3086 - 0,0419\sigma) h \cdot 10^{-5}$$

где h – высота пункта наблюдения над уровнем моря.

Аномалия силы тяжести Буге вычисляется по формуле:

$$\Delta g_{\text{Б}}^{\text{а}} = g_{\text{h}} - \gamma_0 + \Delta g_{\text{Б}} = g_{\text{h}} - \gamma_0 + (0,3086h - 0,0419\sigma g) \cdot 10^{-5}$$

Аномалии Буге относятся к пунктам наблюдений. По результатам гравиметровых съемок строятся карты аномалий Буге с плотностью промежуточного слоя 2,3 и 2,67 г/см³ для мелкомасштабных съемок, включая масштаб 1:50000. При этом карты с плотностью 2,3 г/см³ составляются без введения поправки за рельеф местности.

Для геологической интерпретации строятся карты и графики аномалий Буге с истинной (реальной) постоянной или переменной, или кажущейся плотностями промежуточного слоя. Неправильный выбор плотностей промежуточного слоя приведет к ложным результатам, поэтому в каждом конкретном случае плотность слоя должна быть строго обоснована и доказана.

Поправка за рельеф местности $\Delta g_{\text{р}}$ вводится при значительных превышениях рельефа, окружающего точку наблюдения. В равнинных степных районах поправка за рельеф незначительная и может не вводиться. Данная поправка всегда положительная, так как отрицательные и положительные формы рельефа уменьшают измеряемое значение силы тяжести. Введение поправки за рельеф в измеренные значения силы тяжести обязательно при любых редуциях.

При наблюдениях силы тяжести под землей и под водой вводится *редукция Пряя*, которая показывает изменение силы тяжести при погружении в глубь Земли. Она учитывает притяжение масс, находящихся выше точки наблюдения, уменьшающих значение силы тяжести.

Формула для ведения редуции Пряя получается в результате вычитания из редуции в свободном воздухе двойной поправки за влияние промежуточного слоя: $\Delta g_{\text{ПР}} = (0,3086 - 0,0838\sigma) h \cdot 10^{-5}$

где $\Delta g_{\text{ПР}}$ – редуция Пряя; σ – плотность морской воды или вышележащих пород в г/см³.

Удвоение поправки за влияние промежуточного слоя вызвано тем, что этот слой уменьшает значение силы тяжести в точке наблюдения, а на поверхности геоида должен ее увеличивать.

Аномалии силы тяжести вычисляются по формуле, учитывающей поправку Пряя: $\Delta g_{\text{а}} = g_{\text{h}} - \gamma_0 - (0,3086 - 0,0838\sigma) h \cdot 10^{-5}$

Существует много других редуций и поправок, вносимых в наблюдаемые значения силы тяжести для усиления или ослабления гравитационного эффекта от изучаемого объекта и помехи.

Плотность горных пород и руд и способы ее определения.

Геологической основой гравиразведки является неравномерное распределение масс различной плотности в земной коре под действием геологических процессов.

Гравитационный эффект от тела объемом V и плотностью σ , находящийся в среде с плотностью σ_0 , определяется его избыточной массой

$$\Delta m = (\sigma - \sigma_0) V$$

где $\sigma - \sigma_0$ – избыточная плотность;

V – объем тела;

Δm – избыточная масса тела;

σ_0 – плотность среды;

σ – плотность изучаемого тела.

Плотность г/п зависит от минерального состава. Так, высокая плотность у интрузивных пород варьируется от 2,5 до 3,5 г/см³, затем у эффузивных варьируется от 2,44 до 2,5 г/см³. Наименьшая – у осадочных 1,2-2 г/см³. Рудные минералы имеют высокую плотность от 3 до 5 г/см³. Затем в магматических породах плотность не меняется, а в эффузивных и осадочных зависит от насыщения пор, т.е. повышается, тоже влияет на величину плотности внешние факторы давления и температура.

Значение плотности необходимо для истолкования аномалий силы тяжести. При проведении поправки за рельеф используют σ ист значение плотности она получится путем измерения силы тяжести и ее производных.

Определяется несколькими способами:

1. путем измерения массы объема г/п;
2. по результатам рассеяния и поглощения γ – квантов;
3. по эмпирическим зависимостям между плотностью и другими факторами;
4. по результатам подземной регистрации.

Истинная плотность породы определяется:

$$\sigma \text{ ист} = (m_{\Gamma} + m_m + m_{\Gamma}) / V_{\Gamma} + V_m + V_{\Gamma}$$

Массы и объемы в жидкой, твердой и газовой фазе. В лабораторных условиях плотность определяется с помощью денситометра. Плотность образца вычисляют по формуле: $\sigma = P_1/P_1 - P_2$

P_2 – плотность образца в воде.

Контрольные вопросы.

1. Что понимают под нормальным гравитационным полем Земли?
2. Какую форму имеет Земля, что называют геоидом?
3. Что такое аномалии силы тяжести и чем они вызваны?
4. От чего зависит плотность горных пород и способы ее определения?

Урок20 (практика)

Тема 3.2 Аппаратура для измерения элементов поля силы тяжести.

План:

1. Измерения силы тяжести:
 - а) способы относительных измерений силы тяжести;
 - б) маятниковый способ измерения.
2. Гравиметр астазированный кварцевый (ГАК)
3. Порядок подготовки гравиметров к работе.

Измерения силы тяжести:

Способы относительных измерений силы тяжести

В настоящее время применяются три способа измерений силы тяжести: маятниковый, свободного падения и взвешивания на пружинных весах. Маятниковый способ предусматривает применение математического маятника. Основным преимуществом маятникового способа является повторяемость процесса и свойство изохронности, т. е. период маятника можно определить не по одному колебанию, а с помощью, например тысячи, а длительность одного получить делением всего интервала на число колебаний. Причем точность определения периода находится в прямой зависимости от длины нити маятника, т.е. простым удлинением нити можно повысить точность определения периода колебаний маятника. С помощью этого метода можно получать не только абсолютные, но и относительные значения.

Гравиметр астазированный кварцевый (ГАК).

Для измерения силы тяжести используют динамические и статические приборы. К динамическим приборам относят математические и физические маятники. Гравиметры называются статическими приборами. Их классифицируют следующим образом:

- А) по признаку действия упругой системы гравиметра;
- В) по материалу, из которого выполнена упругая система гравиметра;
- С) по способу устранения внешних воздействий.

По признаку действия упругой системы гравиметра, гравиметры делятся:

- 1) Системы, в которых масса, в следствие изменения силы тяжести, совершает поступательные перемещения, пропорциональные этому изменению, т.е

$$mg = \tau(l - l_0), \quad (3.2)$$

где m -масса груза, g -ускорение силы тяжести, τ – коэффициент, характеризующий упругие свойства пружины, l_0 -первоначальная длина пружины, l -длина пружины после растяжения;

2) Системы гравиметров, в которых груз совершает вращательные движения около некоторой точки подвеса.

Чувствительность таких систем можно очень хорошо повышать. Искусственное повышение чувствительности прибора называется астазированием.

По материалу, из которого выполнена упругая система, гравиметры делятся на металлические, кварцевые и газовые. Металлические гравиметры выполнены из сплава, который называется элинвар. В состав элинвара входят 36 % никеля, 63 % железа и множество присадок. Упругие свойства элинвара очень высоки, но с повышением температуры элинвар теряет свои свойства.

Более приемлимым материалом является плавленый кварц, т. к. он обладает высоким коэффициентом упругости. Пружины, сделанные из кварца, если и имеют растяжение, однако оно небольшое и пропорционально времени. У кварца также есть свои недостатки: ухудшение упругих свойств при повышении температуры, гигроскопичность, электризация при трении о воздух.

В газовых гравиметрах упругим элементом является газ, т. е. изменение силы тяжести компенсируется упругими свойствами газа.

Гравиметры классифицируют также и по способу устранения внешних воздействий. Внешними воздействиями считают изменение температуры, давления, магнитного поля. Магнитное поле действует, в основном, на металлические гравиметры.

Воздействие температуры можно уменьшить с помощью термостата, а остаточные воздействия убираются с помощью введения в наблюдаемые значения силы тяжести поправок, учтенных с помощью температуры.

Измеряется приращение силы тяжести от исходной точки к искомой по приращению периода колебания маятника называется относительным. При этом необходимо знать значение силы тяжести в исходной точке.

В отличие от него определение силы тяжести в одной точке по измеренным периоду колебания и длине маятника называют абсолютным значением силы тяжести.

Маятниковый способ позволяет определить как относительное, так и абсолютное значение силы тяжести. Однако из сказанного выше, очевидно, что определение абсолютного значения силы тяжести значительно сложнее относительного, так как при этом требуется измерить длину с высокой степенью точности.

Порядок подготовки гравиметров к работе.

Гравиметры состоят из измерительного блока, кожуха с ножками и крышки. Измерительный блок содержит основание с кварцевой системой, нивелировочные, измерительное и диапазонное устройства, оптическую систему, теплоизоляционный стакан, несущую плату и днище.

В приборах применена кварцевая система ВИРГ-61, в которой действие измерительной и диапазонной пружин и температурного компенсатора передается непосредственно на главную

пружину. На дюралюминиевом основании смонтированы стойки кварцевой системы и ограничителей маятника, репера кварцевой системы.

В основании имеются четыре функциональных канала, в которых расположены измерительный и диапазонный микрометрические винты и микрообъектив. В верхней части основания предусмотрены отверстия для закрепления теплоизоляционного станка, расположены вакуумный кран и фокусирующая линза для подачи света на призму репера. Изображение репера (отсчетного индекса) с помощью 40х микрообъектива проектируется на индикаторную шкалу с 500 делениями и далее передается в поле зрения 20х окуляра.

Таким образом, изображение индекса рассматривается при увеличении в 800 раз, а шкалы – в 20 раз. Счетчик состоит из стеклянного цилиндра диаметром 29,5 мм, размеченного на 500 делений, и призмы 23, позволяющей отсчитывать обороты винта с точностью 0,001.

На лицевой панели размещены отсчетное устройство, лампочка осветителя, окуляр микроскопа, клеммы вывода термосопротивления. Уровни и регулировочные винты установлены на верхнем основании теплоизолятора под платой прибора.

Работа с гравиметром на точке наблюдения состоит в следующем. На ровную горизонтальную площадку устанавливают гравиметр; подключают питание к осветителю (напряжение 2,5-3 В); нивелируют гравиметр с помощью подъемных винтов установочных ножек; путем вращения ручки привода измерительного устройства совмещают середину светлой полосы индекса с нулевым делением индикаторной шкалы: если репер находится правее нулевого штриха, ручку надо вращать по часовой стрелке, если левее – против часовой стрелки, перейти нулевой штрих и подводить к нему репер слева, вращая ручку по часовой стрелке (для исключения люфта в микрометрической паре); проверив уровни и уточнив положение индекса, снимают отсчет по счетчику измерительного устройства [для чего суммируют показания счетчика целых оборотов n по шкале неподвижной призмы и показания по шкале подвижного цилиндра в долях оборота ($n-0,1+l-0,01+r-0,001$)]; необходимо помнить, что 0,001 оборота цилиндра равна 0,5 малого деления.

Контрольные вопросы.

1. Способы измерения силы тяжести?
2. Маятниковый способ измерения?
3. Гравиметр астазированный кварцевый (ГАК)?
4. По материалу, из которого выполнена упругая система гравиметры подразделяются?
5. Порядок подготовки гравиметров к работе?

Урок 21

Тема 3.3: Методика и техника проведения гравиразведочных работ.

План:

1. Съёмки по решаемым задачам.

2. Виды съёмок. (по масштабу)

Виды масштабы гравиметрических съёмок

Гравиметрическая съемка применяется, главным образом, для решения геологических задач. Она проводится с целью получения данных:

при геологическом картировании;

для выделения зон и участков, перспективных для постановки на них более детальных геологических и геофизических работ;

для выявления локальных структур, в которых могут скапливаться полезные ископаемые;

для определения формы и размеров найденных локальных структур.

В соответствии с указанными геологическими задачами гравитационная съемка применяется:

1) при геологическом картировании;

2) при исследованиях земной коры на большой глубине;

3) при поисках и разведке месторождений нефти и газа, угля, руд.

В зависимости от поставленных задач проводятся региональная, рекогносцировочная и детальная съемки. Каждая съемка характеризуется геологическими задачами, густотой наблюдений и точностью. Результатами работ являются карты гравитационного поля, причем для каждого вида работ определены следующие масштабы и сечение изоаномал (таблица 5.1)

Таблица 5.1

Гравиметрическая съемка	Решаемая геологическая задача	Масштаб карты	Сечение изоаномал, мГл
Региональная	Изучение глубинного строения земной коры, геологическое картирование	1: 1000000 - 1:5000000	5 -10
Рекогносцировочная	Тектоническое районирование геосинклинальных и платформенных областей. К их числу принадлежат изучение структурных элементов земной коры: впадин, поднятий, дизъюнктивных и пликативных нарушений.	1:200 000 - 1:1 000000	1 – 2
Детальная	Поиски нефте-газоперспективных структур.	1:100000 - 1: 200000	0,1 - 0,5
	Поиски полиметаллических руд, меди, месторождений угля.	1:25000, 1:5000, 1:2000.	

Гравиметрические работы делятся на площадные и профильные съемки. Площадная съемка дает полную и достоверную характеристику исследуемого района, поэтому предпочтительнее при всех видах гравиметрических работ. Профильная съемка проводится по отдельным, далеко отстоящим друг от друга профилям и дает информацию только об изменении силы тяжести в данном направлении. Такие работы целесообразно проводить в труднодоступных, горных областях.

Гравиметрические работы проводят с использованием специальных сетей. Гравитационные сети делятся на опорные и рядовые. Опорные сети являются вспомогательными. Они строятся на основе трех классов опорных точек: 1, 2, 3 класса. Рядовые же точки являются основными.

Опорные точки 1 класса отличаются очень высокой точностью. Они являются основными международными точками. Например, расположенная в Потсдаме точка 1 класса имеет точность $\pm 0,3$ мГл. Между высокоточными точками 1 класса определяется более густая сеть точек 2 класса, которая имеет точность до $\pm 0,2$ мГл (если сравнивать с точками 1 класса). Основываясь на эти точки, строится опорная сеть точек 3 класса. Их называют местными точками. Расстояние между местными точками должно быть 5 – 16 км. Если сравнивать эти точки с точками более высоких классов, то их точность достигает $\pm (0,1 - 0,3)$ мГл.

Так как основным видом современных гравиметрических исследований является съемка с гравиметрами, остановимся на полевой методике.

Поскольку у всех видов гравиметров наблюдается смещение нуля-пункта, то это явление необходимо учитывать и исключать с предельной тщательностью. График смещения нуля-пункта должен быть линейным. Если это условие не выполняется, то в не зависимости от вида работ и поставленных геологических задач, длина профиля делится на ряд коротких рейсов, а далее на звенья, тогда можно рассматривать график смещения нуля-пункта линейным. Во всех случаях, рейсы или звенья должны замыкаться на опорных точках 3 класса, поэтому построение опорной сети этого класса можно считать первым этапом гравиметрических работ. Опорная сеть 3 класса предназначена для уменьшения ошибок измерений и учета смещения нуля-пункта.

Для качественного построения опорной сети 3 класса необходимо учитывать следующие принципы:

- 1) Точность точек опорной сети должна быть одинаковой. Этого можно добиться, проведя многократные измерения одним и тем же гравиметром на одной и той же точке наблюдения;
- 2) Значения силы тяжести на опорных точках 3 класса должны быть привязаны к общегосударственным точкам 1 и 2 классов;
- 3) При выполнении рядовой съемки, внутри рейсов должны быть 2 - 3 опорные точки 3 класса. Обычно при детальном съемках расстояние между опорными точками составляет 2-3 км, а при рекогносцировочных – 8 - 12 км;
- 4) При создании опорной сети создают систему замкнутых полигонов.

После создания опорной сети приступают к наблюдениям на рядовой сети, для которых опорные точки служат жестким каркасом.

Рейсы с гравиметром могут иметь следующую структуру:

- 1) Рейс начинается и заканчивается в одной и той же точке. Все пункты рейса повторяются на обратном пути. Такое построение рейса дает возможность наиболее точно определить смещение нуля-пункта, однако снижается производительность труда;

2) Рейс начинается и заканчивается в одной и той же точке наблюдения. При обратном ходе измерения повторяются в половине точек наблюдения;

3) Внутри рейса определяются не менее 3 опорных точек. Поправка за смещение нуля-пункта вводится на основе расхождения с твердыми значениями на опорных пунктах.

Контрольные вопросы

- 1) Область применения гравиразведки.
- 2) Виды съемок.
- 3) Назначение опорной сети.
- 4) Назовите на какие классы делятся опорные сети.
- 5) Что называют рейсом?

Урок 22

Тема: Методика оценки точности гравиметрической съемки

План

- 1) Методика вычисления средней квадратической ошибки.
 - a. Вычисление среднего значения.
 - b. Вычисление точности среднего значения.
 - c. Вычисляется отклонение δ_i каждого измерения.

Оценка инструментальной точности является частью процедур обработки первичных материалов. Мерой точности съемки является средняя квадратичная ошибка m среднего результата Δg съемки.

Методика вычисления m заключается в следующем:

1) Вычисляется среднее значение Δg из результатов измерения каждого оператора. Их может быть 2, 3, 4 и т. д. Существует 2 понятия средней квадратической ошибки: средняя квадратичная ошибка ε единичного измерения и средняя квадратичная ошибка m среднего результата измерения. ε характеризует точность единичного измерения Δg_i каждого оператора. m характеризует точность среднего значения $\Delta g_{ср}$ из n наблюдений операторов. Естественно, что $\Delta g_{ср}$ точнее Δg_i . Если измерений было произведено q , то существует следующая зависимость

$$m = \frac{\varepsilon}{\sqrt{q}}. \quad (1)$$

2) Вычисляется Δg_{icp} из P наблюдений по формуле

$$\Delta g_{icc} = \frac{\sum \Delta g_i}{P_i} \quad (2)$$

3) Вычисляется отклонение δ_i каждого измерения от среднего значения Δg_{icp} по следующей формуле

$$\delta_i = \Delta g_i - \Delta g_{icc} \quad (3)$$

Среднеквадратичная ошибка единичного наблюдения определяется по формуле Эйлера

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-k}} \quad (4)$$

где k – количество точек, в которых было не менее двух измерений,

n – количество всех измерений на этих точках.

Величина q может быть дробной.

Контрольные вопросы.

- 1) Методика вычисления среднеквадратической ошибки.
- 2) Как обозначается отклонение?
- 3) Понятия средней квадратической ошибки?

Урок 23

Тема 3.3: Уравнивание опорных сетей

План:

- 1) *Уравнивание опорных сетей.*
- 2) *Уравнивание гравиметрических сетей.*
- 3) *Методом узлов.*

Уравнивание опорных сетей

Когда гравиметрические измерения проводят по замкнутому полигону, то сумма истинных приращений силы тяжести от точки к точке по всему полигону должна равняться нулю. Однако практически все измерения содержат какую-нибудь ошибку, в результате сумма измеренных приращений равна не нулю, а некоторой величине U , называемой невязкой полигона. Под уравниванием понимается вычисление наивероятнейших поправок, после введения которых сумма

измеренных приращений силы тяжести будет равна нулю. Существуют различные способы уравнивания опорных сетей: способ полигонов или коррелят и способ узловых точек.

Уравнивание гравиметрических сетей

Если гравиметрические определения произведены по замкнутому полигону, т. е. точки расположены так, что последняя из них совпадает с первой, то сумма истинных приращений силы тяжести от точки к точке по всему периметру полигона равна нулю. Однако в силу ошибок, возникающих при измерениях с гравиметром, измеренные разности будут как-то отличаться от истинных, и сумма их будет равна некоторой отличной от нуля величине V , называемой невязкой полигона. *Уравнивание состоит в нахождении наименьших поправок в наблюдаемые значения разностей силы тяжести g .* При этом после введения их сумма разностей силы тяжести по полигону должна обращаться в нуль. Если сеть состоит из многих, связанных между собой полигонов, то ищется такая система поправок, которая обратила бы в нуль суммы разностей g во всех полигонах. При этом ищут такую систему поправок, сумма квадратов которых была бы наименьшей.

Уравнивание приводит к переопределению ошибок, в результате чего материал наблюдений становится более однородным, но при этом точность пунктов повышается незначительно. Больше того, если в сети было несколько грубо определенных пунктов с большими ошибками, то в результате уравнивания эти пункты получают некоторые поправки и оценку, общую с оценкой всей сети, так что их ненадежность будет трудно заметить. В этом случае истинное повышение точности путем переопределения ненадежных пунктов заменится кажущимся повышением точности, маскирующим большие ошибки путем искусственного перераспределения ошибок.

В силу изложенного уравнивать следует достаточно однородный материал, а все «выскакивающие», ненадежные определения следует переопределять, а не включать механически в уравнивание. Если определения достаточно однородны, то уравнивание можно применять, так как перераспределение ошибок не улучшит существенно качество материала.

Учитывая сказанное, а также громоздкость вычислений при уравнивании, работу по определению опорных сетей следует строить так, чтобы материал получался достаточно однородным и не было необходимости в его уравнивании. Простейшим случаем уравнивания является разбрасывание невязки в изолированном полигоне пропорционально числу пунктов. Уравнивание, исключая его простейший случай, следует производить только при построении опорных сетей. Совершенно нерационально применять его на рядовых гравиметрических съемках.

Уравнивание гравиметрических сетей методом узлов.

Рассмотрим сеть, состоящую из ряда точек, в которых пересекаются гравиметрические рейсы (рис. 81). Такие точки назовем узлами. Среди узлов есть опорные пункты высших классов с твердым, не подлежащим изменению в результате уравнивания значением силы тяжести. Такие пункты обозначены буквами A, B, C . Остальные узлы будем обозначать цифрами. Между узлами

располагается ряд точек, между которыми определены разности силы тяжести. Этот ряд разностей будем называть звеном. При уравнивании определяет-

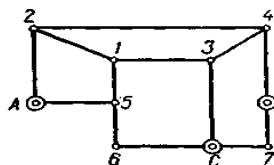


Рис. 81. Пояснения к формулам (XI.35), (XI.36) при уравнивании сетей методом узлов.

ся поправка в звено. Эта поправка разбрасывается между пунктами, расположенными внутри звена. Через $\Delta g_{A2}, \Delta g_{21}, \Delta g_{13}$ и т. д. обозначим измеренные разности силы тяжести по звеньям между узлами. Обратим внимание, что $\Delta g_{ij} = -\Delta g_{ji}$. Введем также веса звеньев и обозначим их через p_{A2}, p_{21}, p_{13} и т. д. За веса будем принимать число связей, выполненных по этому рейсу.

Пользуясь наблюдаемыми разностями силы тяжести, вычислим приближенные значения силы тяжести во всех узлах, идя по звеньям от твердых точек. Эти

приближенные значения обозначим через g° . Тогда

$$\begin{aligned} g_2^0 &= g_A + \Delta g_{A2}, \\ g_1^0 &= g_2^0 + \Delta g_{21}, \\ g_3^0 &= g_C + \Delta g_{C3}, \\ &\dots \end{aligned}$$

Вероятнейшие значения искомых величин g получим, если к приближенным значениям g° прибавим некоторые поправки x , которые мы и должны найти в результате уравнивания.

Контрольные вопросы.

1. Для решение каких геологических задач применяется гравиметрическая съемка?
2. На чем основывается выбор масштаба съемки?
3. Что понимается под уравниванием опорных сетей?
4. Из чего состоит процедура уравнивания гравиметрических сетей?
5. Какие способы уравнивания гравиметрических сетей существуют?

Урок 24 (практика)

Методика и техника проведения гравиразведочных работ.

Наземная съемка с гравиметрами иногда называется гравиметровой. Чаще всего применяется пешеходная съемка, реже для перемещения между пунктами используется автотранспорт. Его применение позволяет сократить промежутки времени между наблюдениями на разных точках, что повышает производительность работ, а также их точность, поскольку позволяет снижать влияние сползания нуля-пункта. Однако использование автотранспорта повышает стоимость работ и часто неосуществимо из-за отсутствия дорог. Эпизодически (как правило, при мелкомасштабных съемках) применяется авиатранспорт.

Обычно используется площадная съемка, при которой некоторый участок покрывается сетью наблюдений. Маршрутная съемка проводится по отдельному профилю и не дает достаточной информации о структуре поля. Она применяется лишь при рекогносцировочных и поисковых работах.

Одним из важнейших этапов методики является выбор масштаба съемки. От него зависит и густота сети, поскольку расстояние между профилями на итоговой карте не должно превышать 1 см в масштабе съемки. Например, при проведении разведочной съемки в масштабе 1 : 10 000 расстояние между профилями должно составлять не более 100 м. Шаг по профилю (т.е. расстояние между точками профиля) либо равен расстоянию между профилями (при квадратной съемке), либо меньше него, но не более чем в 5 раз (при прямоугольной съемке). Профили располагаются вкрест ожидаемого протекания объектов аномальной плотности. Длина профиля должна в 5 - 10 раз превышать ширину искомых тел.

Для привязки точек на местности, внесения редуций необходимо проведение геодезических работ, предшествующих гравиметрическим. Наличие заранее подготовленных топографических карт и карт редуций существенно облегчает работу. Привязка точек производится по аэрофотоснимкам или с помощью теодолитных работ и нивелировки местности. Однако наиболее высокую точность обеспечивает привязка с помощью спутников. Для этого имеется специальная аппаратура, например, *GPS*.

Методическими инструкциями рекомендуется выполнять определенные соотношения между масштабами съемок, погрешностью топопривязок, густотой сети наблюдения и проектной точностью.

Съемки проводятся рейсами, начинающимися и заканчивающимися на опорных пунктах. Часть рейса между двумя опорными пунктами называется звеном. Опорная сеть разбивается для учета сползания нуля-пункта и нахождения абсолютных значений ускорения силы тяжести. Она включает до 5 - 10% от общего числа точек наблюдения, равномерно распределенных по площади. Точность определения ускорения силы тяжести на опорных точках должна в 1,5 - 2 раза превышать точность рядовых наблюдений. Это достигается использованием более высокоточных приборов, многократными измерениями на опорных точках, сокращения промежутка времени между измерениями на соседних точках путем использования транспорта. При создании опорной сети от 50 до 100% всех наблюдений должны составлять повторные (контрольные). Существует несколько способов разбивки опорной сети. Широко распространены измерения по центральной системе, когда один из опорных пунктов (центральный) имеет связи со всеми остальными, т.е. соединен с

каждым из них одним звеном. Иногда разбивка сети осуществляется по системам, не предусматривающим наличия центральной точки.

В нашей стране существует так называемая государственная сеть, включающая в себя пункты 1, 2 и 3 классов точности, на которых ускорение силы тяжести измерено с высокой точностью. Расстояния между этими пунктами составляют около 10 км, что не позволяет использовать их для выявления аномальных значений поля силы тяжести. Однако, поскольку на них известны абсолютные значения ускорения силы тяжести, к ним осуществляется привязка опорных сетей.

Необходимо определять точность опорной сети, характеризующуюся средней квадратичной ошибкой $\epsilon_{оп}$. Она получается по контрольным наблюдениям и рассчитывается по формуле:

$$\epsilon_{оп} = \pm \sqrt{\sum \delta^2 / (m - n)},$$

где δ - погрешности ускорения силы тяжести по контрольным наблюдениям (разность между основным и контрольным замером), m - общее число всех наблюдений, включая контрольные, n - число контрольных точек.

Съемкам на рядовой сети предшествует исследование гравиметров, включающее в себя определение сползания нуля-пункта. По этим данным выделяют промежуток времени, в течение которого сползание нуля-пункта можно считать линейно зависящим от времени. При рядовой съемке по истечении данного промежутка (1 - 2 часа) необходимо брать замер на одном из опорных пунктов. Съемка на рядовых пунктах ведется как путем однократных наблюдений, так и с повторениями при обратном ходе, позволяющем более гибко учитывать сползание нуля-пункта. Для контроля точности рядовой съемки используются повторные наблюдения на контрольных точках, составляющих не менее 5 - 10 % от общего числа точек. По ним рассчитывается среднеквадратичная ошибка рядовой сети по формуле:

$$\epsilon_{ряд} = \pm \sqrt{\sum \delta^2 / (2n - 1)},$$

где n - число контрольных точек.

Урок 25 (практика)

Методика и техника проведения гравиметрой съемки.

1. Получить индивидуальное задание.
2. Выполнение работы.
3. Проверка задания.

При решении предлагаемых задач рекомендуется найти ответы на следующие вопросы:

- 1) Расстояние между профилями;
- 2) Расстояние между точками;
- 3) Число пунктов на 1 км²;
- 4) Масштаб съемки;
- 5) Точность съемки;
- 6) Среднеквадратическая погрешность определения высот пунктов наблюдений;
- 7) Среднеквадратическая погрешность определения координат пунктов наблюдений;
- 8) Точность рядовой съемки;
- 9) Точность опорной сети; расстояния между магистралями;
- 10) Число рядовых точек (физических точек съемки);
- 11) Число контрольных точек;
- 12) Число опорных точек;
- 13) Число погонных километров профилей;
- 14) Число погонных километров по магистралям.

Урок 26

Тема 3.4 Обработка и интерпретация полевых материалов.

План:

1. Понятие аномалии силы тяжести, виды редукиций
2. Поправка за высоту и редукиция в свободном воздухе.
3. Поправка за рельеф и редукиция Фая.

Понятие об аномалии силы тяжести, редукиции и их виды.

Если геологическое тело отличается от вмещающих пород по своим физическим свойствам, то такое тело называют аномальным. Гравитационное поле, возмущенное таким телом, называется гравитационной аномалией. Понятие «гравитационная аномалия» принесено из теоретической геодезии, однако применяемое в гравиметрии понятие «гравитационной аномалии» имеет некоторые отличия. Рассмотрим их. Главной задачей геодезии является определение фигуры Земли, как планеты, фигура которой характеризуется геоидом. Поверхность геоида в соответствии с теоремой Стокса можно определить, если известно расстояние между геоидом и сфероидом, а также вычислена аномалия силы тяжести Δg , которую можно определить следующей формулой:

$$\Delta g = g_0 - \gamma_0, \quad (1)$$

где Δg - аномалия силы тяжести, g_0 - приведенное значение наблюдаемой силы тяжести с физической поверхности к поверхности геоида, γ_0 - нормальное значение силы тяжести, вычисленное по нормальной формуле для Земли идеальной формы. Для того чтобы приведенное значение силы тяжести соответствовало теореме Стокса, необходимо выполнение следующих условий:

- 1) Полное удаление всех масс вне геоида.
- 2) Сохранение полной массы Земли неизменной.
- 3) Сохранение неизменной поверхности геоида.
- 4) Плавное изменение кривой аномалии силы тяжести, возможность интерполяции между точками профиля.

Главной задачей гравиметрии является определение распределения масс внутри Земли и определение плотностных характеристик этих масс. В связи с этим аномалия силы тяжести вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta g = g_n - \gamma_0. \quad (2)$$

где Δg - аномалия силы тяжести, g_n - приведенное значение нормальной силы тяжести с поверхности сфероида к физической поверхности, γ_0 - нормальное значение силы тяжести, вычисленное по нормальной формуле для Земли

Процедура приведения значения силы тяжести для сфероида к физической поверхности называется приведением или редуцированием. Приведенное значение силы тяжести можно получить, введя в наблюдаемое значение силы тяжести соответствующие поправки или редукции. Это делается по следующим причинам:

1. Наблюдаемые значения силы тяжести зависят, прежде всего, от координат точки и высоты, в меньшей степени от рельефа окружающей местности и в последнюю очередь от распределения плотностных неоднородностей внутри Земли. Последний аспект является основным вопросом гравиразведки, поэтому бывает удобно разделить наблюдаемое гравитационное поле на некоторую плавно изменяющуюся часть - нормальное поле, а также на часть гравитационного поля, несущего в себе информацию о внутреннем строении верхней части Земли.

2. Определения силы тяжести производятся в точках, расположенных на физической поверхности Земли. Разные точки наблюдения могут располагаться на разных высотах, и когда возникает вопрос сравнения этих значений между собой или для использования их для других целей, например, для определения фигуры Земли, является необходимым иметь значения силы тяжести на некоторой поверхности, например, на уровне моря.

Поправка за высоту и редукция в свободном воздухе.

Первая поправка, введение которой является обязательной, называется **поправкой за высоту**. Она приводит наблюдаемое значение силы тяжести к уровню моря, т.е. к геоиду, при условии, что между физической поверхностью Земли и поверхностью геоида нет масс. Получается, что физическая точка как бы висит в воздухе, поэтому эту поправку называют еще редукцией в свободном воздухе. Вычислим эту поправку

$$\Delta_1 g = 0,3086h . \quad (3)$$

Аномалия силы тяжести, вычисленная с учетом поправки за высоту, называется аномалией или редукцией в свободном воздухе и записывается следующим образом

$$\Delta g_{св.в.} = \Delta g_n - \gamma_0 + 0,3086h . \quad (4)$$

Поправка за рельеф и редукция Фая

Вторая поправка называется **поправкой за рельеф**. Эту поправку называют еще топографической поправкой. Ее вводят в случае сильно всхолмленной, или гористой, или овражистой местности. Эта поправка приводит наблюдаемое значение силы тяжести к тому случаю, как если бы наблюдения проводились на равнинной местности. Необходимо отметить, что эта поправка положительная, и она всегда уменьшает значение силы тяжести.

Аномалия, вычисленная с помощью поправки за рельеф, называется аномалией Фая и записывается следующим образом

$$\Delta g = g_n - \gamma_0 + 0,3086h + \Delta_2 g . \quad (5)$$

Контрольные вопросы.

- 1) Гравитационная аномалия?
- 2) Что мы называем редуцированием?
- 3) Виды редукций?
- 4) Сущность поправки Фая?

Урок 27

Тема 3.4 Поправки Буге, Пря.

План

- 1) *Поправка Буге.*
- 2) *Поправка Пря.*

Поправка Буге.

Поправки за высоту и рельеф не учитывают влияния масс, расположенных внутри Земли. Поэтому аномалии в свободном воздухе и Фая очень сильно зависят от рельефа и в некоторых случаях практически повторяют форму рельефа, поэтому перечисленные аномалии не используются для однозначной интерпретации гравитационных аномалий. Существует поправка, которая учитывает плотность промежуточного слоя, расположенного между геоидом и физической поверхностью Земли. Эта поправка называется поправкой за промежуточный слой. Сумма поправок за высоту и промежуточный слой дает поправку Буге

$$\Delta_3 g = 0,0418\sigma h . \quad (6)$$

Так как притяжение промежуточного слоя увеличивает значение силы тяжести в точке А, вычисленная поправка должна быть отрицательной. Аномалия силы тяжести с учетом поправки за промежуточный слой называется редукцией или аномалией Буге и записывается как

$$\Delta g = g_n - \gamma_0 + 0,3086h - 0,0418\sigma h . \quad (7)$$

Если аномалия вычислена еще и с учетом поправки за рельеф, то аномалия называется топографической и описывается следующей формулой

$$\Delta g = g_n - \gamma_0 + 0,3086h + \Delta_2 g - 0,0418\sigma h . \quad (8)$$

Поправка Прея.

Эту поправку вводят при гравитационных работах под водой или под землей (в шахтах) с целью приведения всех точек наблюдения на уровень геоида. Для этого необходимо выполнить следующие операции:

- 1) Сглаживание рельефа введением топографической поправки;
- 2) Снятие влияния промежуточного слоя введением поправки за промежуточный слой;
- 3) Перенос точки наблюдения на уровень геоида введением поправки за высоту;
- 4) Восстановление влияния промежуточного слоя введением поправки за промежуточный слой, т. е.

$$\Delta g_{II} = 0,3086H - 4 \cdot 0,0418\sigma H . \quad (9)$$

Контрольные вопросы

- 1) Сущность поправки Буге?
- 2) сущность поправки Прея?

Урок 28

Тема 3.4 Геологическое истолкование гравитационных аномалий.

План

1. *Методика составления гравиметрических карт*
2. *Приведение съемок к единому гравиметрическому уровню*
3. *Геологическое истолкование гравитационных аномалий.*

Методика составления гравиметрических карт

В настоящее время гравиметровыми съемками покрыты большие территории. Съемки проводились различными приборами с различной целью и степенью детальности. Результаты их обычно представляются в виде карт изоаномал силы тяжести. Карты составляются как по отдельным участкам, так и сводные на обширные районы, целые страны и даже континенты.

Результаты гравиметровых съемок используются для решения геодезических и других задач. При геологической интерпретации гравиметрических данных наиболее употребляемой редукцией является редукция Буге. Поэтому у нас в стране принято составление гравиметрических карт именно с этой редукцией.

Для гравиметрических карт обычно используется нормальная формула Гельмерта 1901—1909 гг. На картах масштабов 1:200000, 1 : 500 000 и 1 : 1 000 000 с правой стороны рамки даются поправки для перехода к нормальной формуле Кассиниса, являющейся международной. За исходное значение силы тяжести принято абсолютное значение силы тяжести, полученное в Потсдаме. За нуль-пункт приведения высот принят уровень Балтийского моря.

Составление гравиметрических карт состоит из следующих основных операций:

- 1) приведения всех используемых съемок к единому гравиметрическому уровню;
- 2) выбора масштаба и сечения карты;
- 3) выбора значения плотности промежуточного слоя;
- 4) построения карты.

Приведение съемок к единому гравиметрическому уровню

При составлении гравиметрических карт, в особенности сводных для больших территорий, наиболее важным моментом является приведение всех используемых съемок в единую гравиметрическую систему. В большинстве стран для приведения гравиметрических съемок в единую систему созданы специальные высокоточные опорные сети. Опорные сети, выполненные в различных странах на различных материках, при помощи специальных мировых гравиметрических связей увязаны в единую мировую систему. До настоящего времени в качестве исходного для мировой съемки служит абсолютное значение силы тяжести, полученное в Потсдаме.

Составление сводных гравиметрических карт начинают с анализа основных данных для всех используемых съемок, а именно с оценки точности опорных сетей, исходных пунктов и связей с

ними. При отсутствии связей между съемками при наличии перекосов в их уровнях материалы камерально перерабатываются, в случае необходимости проводятся дополнительные полевые ревизионные работы. Увязка опорных сетей и приведение съемок к единому гравиметрическому уровню являются первым этапом картографо-составительских работ.

Геологическое истолкование гравитационных аномалий.

С качественной и количественной интерпретацией неразрывно связано геологическое истолкование гравитационных аномалий. Оно должно проводиться геологами и геофизиками совместно на основе учета всех геологических, и в частности, петроплотностных, свойств пород района. При этом необходимо учитывать следующее.

1. Эффективность гравirazведки повышается тем больше, чем сильнее геологический разрез отличается от горизонтально слоистого.

2. Строго решить прямую задачу, а значит, и дать способы интерпретации можно лишь для возмущающих масс в виде простых геометрических моделей (шар, цилиндр, уступ и т.д.), а в более сложных случаях задача не имеет аналитического выражения и решается численно с помощью ЭВМ.

3. Для интерпретации и геологического истолкования гравитационных аномалий требуется детальное изучение плотностей пород, закономерностей их изменения как по простиранию, так и с глубиной. Избыточная плотность аномалосоздающих объектов должна быть тем больше, чем глубже они залегают.

4. Если неизвестны плотность и форма тел, то математическое решение обратной задачи гравirazведки неоднозначно и количественная интерпретация дает несколько ответов.

5. Основным приемом геологического истолкования данных гравirazведки является сопоставление гравиметрических карт и графиков, отражающих глубинное строение, с геологическими картами. Между гравиметрическими и известными геологическими аномалиями может наблюдаться корреляционная связь, что свидетельствует чаще всего о тождественности этих геологических образований и выявленного источника гравитирующего поля. Если такой связи нет, то поле обусловлено более глубокими и неизвестными геологическими образованиями.

В зависимости от степени выполнения отмеченных особенностей меняется точность интерпретации. Для повышения надежности интерпретации гравirazведку следует применять в комплексе с другими геофизическими методами, бурением, геологическими изысканиями.

Контрольные вопросы.

1. Что является главной задачей гравиметрии?
2. Что такое редукция и их виды?
3. Для чего вводится поправка за высоту в свободном воздухе?
4. Когда вводится поправка Фая, Прея, Буге?
5. Из чего состоит изостатическая поправка?

6. Из каких основных операций состоит составление гравиметрических карт?
7. Для чего гравиметрические съемки приводят к единому уровню?
8. На чем основывается геологическое истолкование гравитационных аномалий?

Урок 29 (практика)

Введение поправок. Расчет нормального гравитационного поля.

План

1. Получить индивидуальное задание.
2. Выполнение работы.
3. Проверка задания.

Задание. Аномалии силы тяжести в редукции Буге.

Общие положения: Основную величину в наблюдаемых значениях силы тяжести составляет нормальная сила тяжести γ . При измерениях поля силы тяжести в воздухе (на склонах гор) на высоте H нормальное поле γ будет уменьшено на величину $\Delta\Phi=0.3086H$. Эта величина носит название поправки за приведение силы тяжести в свободном воздухе (редукции Фая). Аномалии силы тяжести в свободном воздухе в некоторой степени обусловлены влиянием масс, слагающих рельеф Земли, поэтому они непригодны для решения прикладных задач гравиметрической разведки.

При вычислении гравитационных аномалий с целью изучения аномальных масс в недрах Земли учитывают составляющую силы тяжести, которая соответствует слою масс между поверхностью теоретической Земли и физической поверхностью. Ее исключают путем введения поправки за притяжение промежуточного слоя масс, которая составляет $\Delta B=0.0418\sigma H$ (где σ - плотность слоя пород, обычно $\sigma = 2.67$ г/см³).

Аномалии силы тяжести, вычисленные с учетом изменения силы тяжести в свободном воздухе и учетом притяжения плоского промежуточного слоя масс, называют аномалиями Буге (французский ученый, середина XVIII в.) и имеют вид:

$$\Delta g_B(\phi, \lambda, H) = g_H(\phi, \lambda, H) - \gamma(\phi, \lambda, 0) + 0.3086H - 0.0418\sigma H, \quad (1)$$

где $g_H(\phi, \lambda, H)$ – наблюдаемые значения силы тяжести в данной точке, мГл;

$\gamma(\phi, \lambda, 0)$ – нормальное значение силы тяжести в данной точке, оно равно

$$\gamma(\phi, \lambda, 0) = 978049(1+0.0052884\sin 2\phi - 0.0000059 \sin 22\phi), \text{ мГл};$$

H – высота, м;

ϕ – широта точки наблюдения;

λ - долгота точки наблюдения (в рассматриваемой ситуации $\lambda = \text{Const}$).

Исходные данные:

$\sigma = 2.67$ г/см³ (плотность промежуточного слоя);

$\phi = 56030', 56040', 56050', 570, 57010', 57020', 57030', 57040', 57050', 580, 58010', 58020', 58030', 58040', 58050', 590$ – значения широты в точках наблюдения вдоль профиля Тюмень–Тыпкуль (ХМАО);

$g_H(\phi, \lambda, H) = 990, 990.2, 990.7, 990, 990.1, 989.4, 990.4, 990.1, 990.1,$

$990.3, 990, 990.1, 990.6, 990.8, 990.2, 989.7$ – наблюдаемые значения силы тяжести в каждой точке профиля, Гл;

$\Delta g_H = -0.4 (1), -0.35(2), -0.3(3), -0.25(4), -0.2(5), -0.15(6), -0.1(7), -0.05(8),$

$0.(9), 0.05(10), 0.1(11), 0.15(12), 0.2(13), 0.25(14), 0.3(15), 0.35(16), 0.4(17) –$

приращение наблюдаемого поля силы тяжести для вычисления соответствующего варианта наблюдаемой кривой $g_H(\phi, \lambda, H)$, с; **в скобках приведены варианты**:
 $H = 377, 680, 914, 1000, 417, 272, 195, 490, 800, 101, 570, 165, 763, 880, 180, 391$ – высота для расчета редукиций Фая и Буге, м.

Содержание работы:

1. Вычислить в каждой точке профиля нормальное значение поля силы тяжести и редукиции Фая и Буге, сложить их с наблюдаемыми значениями $g_H(\phi, \lambda, H)$ согласно формуле (1).
2. Построить графики наблюдаемых приращений (относительно первой точки наблюдения на профиле) значений поля силы тяжести без учета редукиций Фая и Буге Δg_1 и учетом их Δg_2 . Выполнить качественный анализ геологического разреза по графикам Δg_1 и Δg_2 .

Урок 30 (практика)

Обработка и интерпретация полевых материалов.

План

1. Получить индивидуальное задание.
2. Выполнение работы.
3. Проверка задания.

Ускорение силы тяжести над шаром по профилю, находящемуся на дневной поверхности и проходящему через его центр, определяется по формуле:

$$g = kMh / (x^2 + h^2)^{2/3},$$

где $k = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{гс}^2$ – гравитационная постоянная; h – глубина до центра шара (см); x – расстояние от начала координат системы до точки наблюдения (см); M – избыточная масса (г), определяется в виде:

$$M = V\delta = 4/3 \pi R^3 \delta,$$

Где $V = 4/3 \pi R^3$ – объем шара (см³); R – радиус шара (см); δ – избыточная плотность (г/см³).

Задание 1. Вычисление ускорения силы тяжести (прямая задача) для шара.

По исходным данным которые согласно варианту выбираются из таблицы задания.

Задание 2. Решение обратной задачи по гравиразведки для шара.

РАЗДЕЛ 4.

Электроразведка.

Урок 31

Тема 4.1: Физико–геологические основы электроразведки.

План:

1. Общие сведения.

2. Физико-геологические основы

а) Удельное электрическое сопротивление горных пород

б) Факторы влияющие на электрическое сопротивление пород.

Общие сведения

Электроразведка (электрическая, или точнее электромагнитная разведка) объединяет физические методы исследования геосфер Земли, поисков и разведки полезных ископаемых, основанные на изучении электромагнитных полей, существующих в Земле в силу естественных космических, атмосферных или физико-химических процессов или созданных искусственно.

Электромагнитными свойствами геологических сред и их геометрическими параметрами определяются геоэлектрические разрезы. Геоэлектрический разрез однородного по тому или иному электромагнитному свойству полупространства принято называть нормальным, а неоднородного— аномальным.

Изменение глубинности электроразведки достигают изменением мощности источников и способов создания поля.

Классификации методов электроразведки. Вследствие многообразия используемых полей, свойств горных пород электроразведка отличается от других геофизических методов большим числом (свыше 50) методов. Их можно сгруппировать в методы естественного переменного электромагнитного поля, геоэлектрохимические, сопротивлений, электромагнитные и радиоволновые зондирования и профилирования, пьезоэлектрические, радиолокационные зондирования, а также радиотепловые, инфракрасные и спектрометрические съемки, которые хотя и принято относить к терморазведке, но по природе полей, методике и технике измерений они близки к электроразведке.

Физико-геологические основы

электроразведки

Физико-математическая теория электроразведки базируется на теории электро-магнитного поля и, в частности, на теории постоянных и переменных электромагнитных полей.

Электромагнитные свойства горных пород

К электромагнитным свойствам горных пород относятся удельное электрическое сопротивление ρ , электрохимическая активность α , поляризуемость η , диэлектрическая ϵ и магнитная μ проницаемости.

Удельное электрическое сопротивление горных пород. В электроразведке используют многие электрические свойства горных пород, но важнейшим из них, измеряемым почти во всех методах, является удельное электрическое сопротивление ρ . Его размерность определяют по формуле сопротивления проводника

$$R = \rho l / s, \quad \rho = R s / l,$$

где l – длина проводника, м; s – площадь поперечного сечения проводника, м^2 .

Удельное электрическое сопротивление ρ – это сопротивление, которое оказывает кубический метр горной породы электрическому току, направленное перпендикулярно к одной из граней. Измеряется в ом-метрах ($\text{Ом}\cdot\text{м}$), является наиболее известным электромагнитным свойством и изменяется для горных пород и руд в очень широких пределах: от 10^{-5} до 10^{15} $\text{Ом}\cdot\text{м}$. Для наиболее распространенных осадочных, изверженных и метаморфических горных пород оно зависит от минерального состава, физико-механических и водных свойств горных пород, а также от некоторых других факторов

(температуры, глубины залегания, степени метаморфизма, техногенных воздействий и др.).

Факторы влияющие на сопротивление пород.

1. Удельное электрическое сопротивление минералов зависит от их внутрикристаллических связей. Для минералов-диэлектриков (кварц, слюды, полевые шпаты и др.) с преимущественно характерны очень высокие сопротивления (10^{12} — 10^{15} $\text{Ом}\cdot\text{м}$). Минералы-полупроводники (карбонаты, сульфаты, галоиды и др.) имеют ионные связи и отличаются высокими сопротивлениями (10^4 — 10^8 $\text{Ом}\cdot\text{м}$).

Глинистые минералы (гидрослюды, монтмориллонит, каолинит и др.) обладают ионно-

ковалентными связями и характеризуются достаточно низкими сопротивлениями

($\rho < 10^4$ $\text{Ом}\cdot\text{м}$). Рудные минералы (самородные, некоторые оксиды) с электронной проводимостью очень хорошо проводят ток ($\rho < 1$ $\text{Ом}\cdot\text{м}$). Первые две группы минералов

составляют «жесткий» скелет большинства горных пород. Глинистые минералы создают «пластичный» скелет. Характерно, что «пластичные» минералы способны адсорбировать связанную воду, а породы с «жесткими» минералами могут насыщаться лишь свободной водой.

2. Удельное электрическое сопротивление свободных подземных вод (гравитационных и капиллярных) изменяется от долей Омметра при высокой общей минерализации ($M > 10$ г/л) до 1000 $\text{Ом}\cdot\text{м}$ при низкой минерализации ($M < 0,01$ г/л) и может быть оценено по формуле $\rho V \approx 8,4/M$.

Химический состав растворенных в воде солей не играет существенной роли, поэтому по данным электроразведки можно судить лишь об общей минерализации подземных вод. Удельное электрическое сопротивление связанных подземных вод низкое и изменяется от 1 до 10 Ом·м, что объясняют достаточно

постоянной их минерализацией (3—1 г/л), близкой к средней минерализации вод Мирового океана.

Так как поровая влага (свободная и связанная) отличается значительно более низким удельным электрическим сопротивлением, чем минеральный скелет, то сопротивление большинства горных пород практически не зависит от его минерального состава,

а определяется такими факторами, как пористость, трещиноватость, водонасыщенность, с увеличением которых сопротивление пород уменьшается.

3. При возрастании температуры на 40°C сопротивление уменьшается примерно в 2 раза. Это объясняют увеличением подвижности ионов.

4. Глубина залегания, степень метаморфизма, структура и текстура породы также влияют на ее сопротивление, изменяя коэффициент микроанизотропии n и l где ρ_n , ρ_l —сопротивления породы вкрест и вдоль слоистости. Чаще всего λ изменяется от 1 до 1,5, достигая 2—3 у сильно рассланцованных пород.

Несмотря на широкий диапазон изменения удельных электрических сопротивлений у разных пород, основные закономерности установлены достаточно четко. Изверженные и метаморфические породы характеризуются высокими сопротивлениями (от 500 до 10000 Ом·м). Среди осадочных пород высокие сопротивления (100 — 1000 Ом·м) у каменной соли, гипсов, известняков, песчаников и некоторых других пород.

Обломочные осадочные породы, как правило, имеют тем большее сопротивление, чем

больше размер зерен, слагающих породу. При переходе от глин к суглинкам, супесям и

пескам удельное сопротивление изменяется от долей и первых единиц до первых десятков и сотен Ом метров.

Контрольные вопросы

- 1) Общие сведения об электроразведке.
- 2) Определение удельного электрического сопротивления.
- 3) Факторы влияющие на сопротивление пород.
- 4) Как влияют температурные изменения пород на сопротивление.

Урок 32

Тема 4.1 Электрические свойства горных пород и руд.

План

1. Электрохимическая активность и поляризуемость.

2. Диэлектрическая и магнитная проницаемости.

Электрохимическая активность и поляризуемость. Под электрохимической

активностью понимают свойство пород создавать естественные постоянные электрические поля. Эти поля могут возникать в силу окислительно-восстановительных реакций, связанных с наличием и движением в породах растворов разной концентрации и химического состава.

1. За электрохимическую активность иногда принимают коэффициент пропорциональности между напряженностью естественного электрического поля и основными факторами, которыми оно обусловлено (отношением концентраций подземных вод, давлением и др.). Коэффициент α измеряют в милливольтках. Он составляет $-(10 — 15)$ мВ для чистых песков, близок к нулю для скальных пород, возрастает до $20 — 40$ мВ для глин и до сотен милливольт для руд с электронно-проводящими минералами. В целом α зависит от многих природных факторов (минерального состава, глинистости, пористости, проницаемости, влажности, минерализации подземных вод и др.).

2. Способность пород поляризоваться, т.е. накапливать заряд при пропускании тока, а затем разряжаться после его отключения, оценивают коэффициентом поляризуемости η . Значение η вычисляют в процентах, как отношение напряжения $\Delta U_{\text{П}}$, которое остается в измерительной линии по истечении определенного времени (обычно $0,5 — 1$ с) после размыкания токовой цепи к напряжению ΔU в той же линии при пропускании тока.

Поляризация—это сложный электрохимический процесс, протекающий при пропускании через породу постоянного или низкочастотного переменного (до 20 Гц) тока.

Наибольшей поляризуемостью ($\eta = 6 — 40\%$) отличаются руды с электронной проводимостью (сульфиды, сульфосоли, некоторые самородные металлы и отдельные оксиды). Возникновение вызванных потенциалов в этой группе пород объясняют так называемой электродной поляризацией руд в присутствии подземных вод. Коэффициенты

поляризуемости до $2—6\%$ наблюдаются над обводненными рыхлыми осадочными по-

родами с примесью глинистых частиц. В этих породах при пропускании тока происходит перераспределение и диффузия зарядов, адсорбированных на глинистых частицах.

Возвращение среды в состояние равновесия после отключения тока сопровождается

эффектом вызванной поляризации. Большинство изверженных и метаморфических пород, как правило, не поляризуется; у них $\eta = 1 — 2\%$ (редко 3%). Слабо поляризуются

осадочные породы, насыщенные минерализованной водой.

Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = \epsilon_{\text{П}} / \epsilon_0$ (где $\epsilon_{\text{П}}$, ϵ_0 — диэлектрические проницаемости породы и

воздуха) показывает, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора, если вместо

воздуха в него поместить данную породу. Значение ϵ изменяется от нескольких единиц (у сухих осадочных пород) до 80 (у воды) и зависит в основном от содержания воды и минерального состава породы. У изверженных пород ϵ изменяется от 5 до 12, у осадочных — от 2—3 (у сухих) до 16—40 (у полностью насыщенных водой). Диэлектрическая проницаемость играет значительную роль в высокочастотной электроразведке. Магнитная проницаемость громадного большинства пород примерно равна магнитной проницаемости воздуха. Лишь у ферромагнетиков относительная магнитная проницаемость может достигать 10.

Контрольные вопросы.

1. Что такое электроразведка?
2. Какие поля и свойства горных пород изучают в электроразведке?
3. Что относится к электромагнитным свойствам горных пород?
4. Что за величина удельное электрическое сопротивление горных пород от чего она зависит?
5. Что понимают под электрохимической активностью и поляризуемостью?

Урок 33 (практика)

Тема 4.2: Электроразведочная аппаратура и оборудование.

План:

1. Аппаратура и оборудование общая характеристика.

- а) Машинные генераторы, батареи, аккумуляторы,*
- б) Измерители, или регистраторы тока,*
- в) Измерительные, или регистрирующие приборы,*
- г) Электроды-заземлители для гальванического создания поля,*
- д) Незаземленные контуры — петли,*
- е) Провода невысокого сопротивления,*
- ж) Вспомогательное оборудование,*

2. Переносная аппаратура:

- а) Электронный стрелочный компенсатор,*
- б) Аппаратура низкой частоты,*
- в) Аппаратура для измерения осей эллипса поляризации,*
- г) Аппаратура для измерения переходных процессов,*
- д) Аппаратура для радиокомпарационного профилирования,*
- е) Аппаратура для дипольного электромагнитного профилирования,*

ж) Аппаратура для радиопросвечивания,

Аппаратура и оборудование для электроразведки

Для многочисленных методов электроразведки можно применять различную аппаратуру и оборудование. Некоторые приборы используют для работ одним, другие —несколькими методами.

Общая характеристика генераторно-измерительных устройств

В комплект техники для электроразведки обычно входят следующие блоки.

1. *Машинные генераторы, батареи, аккумуляторы (в методах естественного поля они не нужны) для непосредственного питания генераторных устройств постоянным током либо для преобразования его в напряжение нужной частоты.* Машинные генераторы работают от двигателя автомобиля или бензоэлектрических агрегатов. Для электроразведки используют батареи типа 69-ГРМЦ-6 (Б-72) или 29-ГРМЦ-13 (Б-30) с напряжением 70 или 30 В и массой 25 или 20 кг. Они представляют собой наборы сухих марганцево-цинковых элементов. Можно использовать и любые другие серийные батареи с напряжением 30— 100 В. Кроме того, для электроразведки иногда применяют разного рода аккумуляторы. Постоянное напряжение источников питания в разных методах можно изменять от 10 до 1000 В.

2. *Измерители, или регистраторы тока, в питающих линиях.* В разных методах ток изменяется от 0,01 до 50 А.

3. *Измерительные, или регистрирующие приборы, предназначенные для определения амплитудных и фазовых значений (абсолютных или относительных) напряженности поля.* Часто измеряют разности потенциалов ΔU в приемных линиях с помощью стрелочных милливольтметров. Регистрацию осуществляют посредством разного рода оптических осциллографов и цифровых регистраторов. Регистрацию называют аналоговой, когда запись ведут в видимой форме, или цифровой, когда сигналы кодируют в двоичном цифровом коде и записывают на магнитофон. Измерительные и регистрирующие приборы для электроразведки обычно характеризуются следующими техническими характеристиками: различными частотами и динамическими диапазонами; пороговой чувствительностью (около 10 мкВ) и погрешностью (в пределах ± 3 —10 %); высоким входным сопротивлением (свыше 1 МОм); помехозащищенностью, особенно от помех промышленной частоты 50 Гц; возможностью ручной или автоматической установки нуля прибора, обычно предназначенной для компенсации электродных разностей потенциалов; отсутствием или наличием микропроцессоров, обеспечивающих измерение и обработку

информации; элементной базой приборов (транзисторных и интегральных блоков); способами и источниками питания электронных схем и т. п.

4. *Электроды-заземлители для гальванического создания поля* в Земле и измерения электрических составляющих напряженности поля. В качестве электродов для питающих линий АВ используют стальные, а для приемных линий MN медные или латунные электроды длиной 0,3—1 м и диаметром 1—3 см. В поляризационных методах

применяют неполяризующиеся электроды, которые состоят из заземляемого пористого (керамического или брезентового) сосуда с раствором медного купороса и медного стержня в нем.

5. *Незаземленные контуры — петли (с размером стороны до 1 км), рамки (диаметром до 1 м), которые служат для индуктивного возбуждения поля и измерения магнитных составляющих поля.* Петли и рамки изготавливают из изолированного провода, число витков и диаметр которых зависят от частоты поля и метода разведки.

6. *Провода невысокого сопротивления, большой механической прочности, с хорошей изоляцией.* Для электроразведки используют специальные геофизические полевые медные и сталемедные провода (ГПМП, ГПСМП и др.).

7. *Вспомогательное оборудование (катушки, кувалды, инструмент и др.).*

Для электроразведки изготавливают множество типов аппаратуры, характеризующейся разнообразием схемных решений и конструкций в зависимости от глубин разведки и места проведения работ, частоты поля и измеряемых параметров. По глубинности разведки и геологическому назначению аппаратуру для электроразведки можно

разделить на три группы: а) переносную; б) электроразведочные станции; в) аэроэлектроразведочные станции.

Переносная аппаратура

При электроразведке на небольших глубинах (до 500 м) с поверхности Земли и в горных выработках используют различного рода переносную аппаратуру и оборудование, состоящие из ряда блоков общей массой 20—100 кг. Рассмотрим некоторые серийные отечественные приборы, предназначенные для разведки на постоянном и низкочастотном переменном токе (АЭ-72, АНЧ-3), для индуктивного электромагнитного профилирования гармоническими (ЭПП) и неустановившимися (МПП) полями, для высокочастотной электроразведки (СДВР, ДЭМП, РП).

Электронный стрелочный компенсатор. Электронный стрелочный компенсатор, или автокомпенсатор электроразведочный (АЭ-72), предназначен для электроразведки постоянным током методами естественных постоянных электрических полей (ЕП), сопротивлений (ВЭЗ, ЭП), заряда (МЗ). Прибор АЭ-72 является транзисторным

милливольтметром, построенным по автокомпенсационной схеме или по схеме усилителя с глубокой отрицательной обратной связью. Этот прибор массой 4 кг, помимо измерения ΔU , служит для компенсации электродных потенциалов и измерения I .

Аппаратура низкой частоты. Аппаратура низкой частоты (АНЧ-3) предназначена для электроразведки методами естественных переменных электрических полей, сопротивлений, заряда. В комплект АНЧ-3 входят генератор переменного напряжения

частотой 5 Гц и массой около 3 кг, в котором постоянное напряжение батарей типа Б-70, Б-30 преобразуется в переменное, и транзисторный милливольтметр массой около 4 кг, построенный по автокомпенсационной схеме с высокой помехозащищенностью от полей промышленной частоты.

Аппаратура для измерения осей эллипса поляризации магнитного поля.

Аппаратура для измерения осей эллипса поляризации (ЭПП-2) предназначена для индуктивного низкочастотного профилирования. С ее помощью в Земле создают гармоническое поле и определяют большую, связанную с первичным полем, и малую, обусловленную вторичным (индукционным) полем, оси эллипса поляризации измеряемого вектора магнитного поля. Прибор ЭПП-2 состоит из генератора синусоидального напряжения частотой 78, 312, 1250, 5000, 20000 Гц и измерительного блока, предназначенного для определения разности потенциалов, пропорциональных осям эллипса поляризации суммарного магнитного поля, с помощью двух жестко скрепленных взаимно перпендикулярных рамок. Общая масса комплекта примерно 50 кг.

Аппаратура для измерения переходных процессов. Аппаратура индуктивного

профилирования методом переходных процессов (МПП) служит для коммутации постоянного тока батарей в прямоугольные импульсы длительностью 20—50 мс, подаваемые в незаземленный контур, и измерения в том же или другом контуре разности

потенциалов на временах от 1 до 50 мс после окончания импульса. Аппаратура для МПП состоит из транзисторного коммутатора и электронного измерительного блока, в котором осуществляются стробирование импульсов, накопление и измерение амплитуд сигналов на разных временах. Масса различных модификаций аппаратуры МПП составляет 10—40 кг.

Аппаратура для радиокомпарационного профилирования. Для радиокомпарационного (радиоэлектромагнитного) профилирования путем изучения сверхдлинно-волновых полей радиостанций используют радиоприемник типа СДВР-3. Он представляет собой транзисторный радиоприемник-компаратор, работающий в диапазоне 10—30 кГц и предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных составляющих напряженности электрического и магнитного полей. От обычных радиоприемников СДВР-3 отличает наличие вращающейся ферритовой антенны, устройства для оценки цены деления шкалы прибора (компаратора) и стрелочного индикатора. Масса прибора около 5 кг.

Аппаратура для дипольного электромагнитного профилирования. Для дипольного электромагнитного высокочастотного профилирования искусственными полями служит аппаратура типа ДЭМП. Она состоит из портативного генератора с рабочими частотами 2,8; 32; 128 кГц, радиоприемника и рамочных генераторных и измерительных антенн. Общая масса до 17 кг.

Аппаратура для радиопросвечиваний. Для радиоволновых просвечиваний между скважинами и горными выработками существуют различные комплекты аппаратуры РП. Они состоят из передатчиков, приемников (частотой от 0,1 до 10 МГц) и наборов антенн такой формы, чтобы их можно было опускать в скважины или переносить по горным выработкам.

Урок 34 (практика)

Электроразведочные станции

План

Электроразведочные станции

- 1) Генераторные группы,
- 2) Измерительные лаборатории,
- 3) Аэроэлектроразведочные станции.

Электроразведочные станции

Для электромагнитных зондирований на больших глубинах (до 5 км), когда необходимо вводить большие токи, применяют электроразведочные станции различных марок. Обычно работы проводят электроразведочными станциями ЭРС-67, ЭРСУ-71, ВП-62, ЦЭС-2 и другими, смонтированными, как правило, на двух автомашинах (грузовых или легковых).

Генераторные группы. На одной автомашине электроразведочной станции, называемой генераторной группой, расположены один или два генератора постоянного

тока напряжением до 500 В при токе до 25 А, которые можно включать последовательно или параллельно. Роторы генераторов вращаются от двигателя автомобиля через специальную коробку отбора мощности и дополнительный кардан. Выходное напряжение регулируют изменением числа оборотов коленчатого вала двигателя автомобиля. С помощью электромагнитных контакторов постоянный ток в станциях ЭРС-67 и ВП-62

непосредственно подают в питающую линию. В станциях ЭРСУ-71 и ЦЭС-2 постоянный ток с помощью тиристорного коммутатора, управляемого специальным транзисторным генератором, превращают в переменный в диапазоне 10-3—103 Гц. Он служит для зондирования на переменном токе. В генераторной группе установлены приборы для контроля, регулировки и измерения тока в питающей линии. Глубинные электромагнитные исследования иногда выполняют с помощью специальных МГД-генераторов.

Измерительные лаборатории. На автомашине, называемой измерительной, или полевой, лабораторией, расположена аппаратура, предназначенная для автоматической регистрации разностей потенциалов. Для этого в станциях ЭРС-67, ЭРСУ-71, ВП-62 стоят электроразведочные полевые осциллографы (ЭПО) для регистрации сигналов в

аналоговой форме (на фотобумаге). В цифровой электроразведочной станции ЦЭС-2 сигналы регистрируют в цифровой форме с помощью специального магнитофона. Для этого в ней имеются электронные устройства для кодирования сигналов в цифровую форму в двоичной системе счисления. Цифровая запись результатов электроразведки позволяет обрабатывать материалы электроразведки с помощью обычных ЭВМ. Аналогичным образом устроена электроразведочная станция для морских электромагнитных зондирования.

Аэроэлектроразведочные станции

Аэроэлектроразведочные станции бывают трех типов. Один из них предназначен для электромагнитного низкочастотного профилирования с наземной питающей и воздушной приемной установками (АЭРО-ДК). Станция состоит из наземной генераторной группы, которая питает переменным током частотой 0,1—10 кГц либо длинный (до 30 км) кабель, либо большую (в поперечнике до 5 км) незаземленную петлю (НП), и воздушной измерительной лаборатории. С помощью рамочной антенны, расположенной вокруг фюзеляжа самолета или в выносной гондоле, измеряют напряженность магнитного поля и разность фаз между измеряемым в рамке напряжением и током в питающем кабеле. Для фазовых измерений в генераторной группе, питающей кабель, и на самолете установлены радиостанции, с помощью которых проводят передачу и прием фазы. Запись результатов автоматическая.

Второй тип аэроэлектроразведочных станций также одно самолётный. В ней и генераторная, и измерительная установки расположены на одном самолете. Такие станции предназначены для радиокомпарационной съемки (СДВР), радиоэлектромагнитного профилирования (РЭМП), дипольного низкочастотного профилирования (ДИП-А),

воздушной съемки переходных процессов (МПП-А). В двух последних станциях на самолете или вертолете монтируют генераторную установку и, так же как и в станции

СДВР (РЭМП), устанавливают регистрирующую аппаратуру. Вокруг самолета или вер-

толета закрепляют генераторную петлевую антенну, а измерительную антенну на кабеле длиной до 50 м помещают в выносной гондоле. В результате регистрируют те или иные составляющие магнитного поля.

Третий вариант аэроэлектроразведочных станций — двухсамолетный. На одном из них располагают генераторную установку с петлевой антенной, а на другом — регистрирующее устройство с приемной магнитной антенной.

Контрольные вопросы.

1. Какие блоки обычно входят в комплект техники для электроразведки?

2. Для каких видов работ предназначен электронный стрелочный компенсатор?
3. Предназначение аппарата низкой частоты (АНЧ-3)?
4. Для чего предназначен прибор (ЭПП-2)?
5. Какую аппаратуру применяют в МПП?
6. Аппаратура для радиокомпарационного профилирования?
7. Аппаратура для радиопросвечиваний?

Урок 35

Тема 4.3: Методы постоянного тока.

План:

1. Поле точечного источника постоянного тока
2. Потенциал и напряженность точечного источника в однородной среде

Искусственные постоянные электрические поля создаются с помощью батарей, аккумуляторов или генераторов постоянного тока, подключаемых с помощью изолированных проводов к стержневым электродам – заземлителям.

В теории заземлений доказывается, что электрод стержневой формы можно рассматривать как точечный, если поле изучается от него на расстояниях, в пять и более раз превышающих длину заземленной части электрода. Поэтому приводимые ниже формулы расчета поля для точечного источника справедливы для практической электроразведки. Теория электроразведки включает решение прямых и обратных задач. Прямой задачей называется определение параметров электромагнитного поля над заданным геоэлектрическим разрезом. Простейшей прямой задачей электроразведки постоянными искусственными полями (их называют методами сопротивлений) является расчет разности потенциалов (ΔU) в двух точках М и N над однородным изотропным полупространством с постоянным УЭС (ρ), в которое через точечный источник А вводится ток силой I (рис. 1).

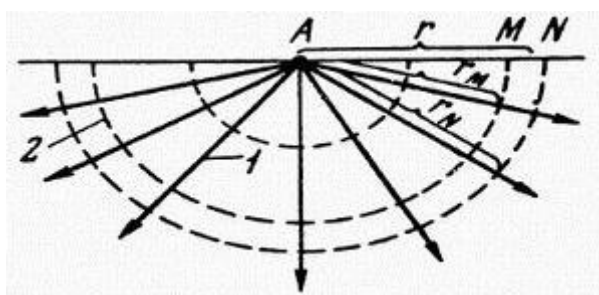


Рис. 1. Поле точечного источника А постоянного тока над однородным изотропным полупространством: 1 - токовые линии, 2 - эквипотенциальные линии.

Используя закон Ома $\Delta U = RI$, где $R = \rho \cdot l / s$ - сопротивление проводника между двумя полусферами со средним радиусом r и площадью $s = 2\pi \cdot r^2$, удаленными на расстояние $l = MN$,

можно записать $\Delta U \approx I\rho MN / 2\pi \cdot r^2$. Для градиент - установок, когда $MN \ll r$, в последней формуле можно заменить $r^2 \approx AM \cdot AN$, поэтому выражение для расчета УЭС однородного полупространства с помощью трехэлектродной установки AMN получит вид:

$$\rho = \frac{2\pi AM \cdot AN}{MN} \cdot \frac{\Delta U}{I} = K \cdot \frac{\Delta U}{I}$$

Под установкой в электроразведке понимают комбинацию питающих и приемных электродов. Коэффициент K , зависящий от расстояний между ними, называется коэффициентом установки. Над неоднородной средой рассчитанное по этой формуле УЭС называется кажущимся (KC или $\rho_k = K\Delta U / I$).

Контрольные вопросы

- 1) Как создаются искусственные электрические поля?
- 2) Прямая задача электроразведки?
- 3) Закон Ома?
- 4) Установка это?

Урок 36

Тема 4.3 Электропрофилирование.

План:

1. Сущность метода.
2. Установки ЭП.
3. Результаты ЭП.

ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ

Электропрофилирование (ЭП) - модификация метода сопротивлений. ЭП предназначено для изучения геологических разрезов вдоль разведочных линий, профилей, или по площади при наличии в разрезе горизонтальных неоднородностей удельного электрического сопротивления: крутопадающих контактов пород, тектонических нарушений, наклонных пластов, рудных тел, интрузий и т.п.

При электропрофилировании размеры установки остаются неизменными, а вся установка перемещается по профилю от точки к точке. Так как глубинность исследования в основном определяется размерами установки, то при ЭП глубинность остается примерно постоянной. На результаты ЭП оказывают влияние все неоднородности верхней части разреза от дневной поверхности до максимальной глубины, равной $1/3 - 1/10$ разноса АВ (или расстояния R между диполями, при использовании дипольных установок).

Для ЭП могут быть использованы различные установки: симметричная четырехэлектродная, трехэлектродная, дипольная осевая и другие. Основные виды установок ЭП приведены на рис.2.1. Здесь показаны установки: Шлюмберже (1); Веннера (2); дипольная осевая (3);

установка комбинированного профилирования (включающая две трехэлектродных AMN+MNB); двухэлектродная (AM) (5); дипольная экваториальная установка (6); установка срединного градиента (7). Выбор той или иной установки определяется характером решаемых геологических задач и структурой поля установки.

Расстояние между точками на профиле (шаг наблюдений) зависит от масштаба съемки (шаг должен быть равен 2-5 мм в масштабе карты) и от поперечных размеров объектов. Рекомендуется выбирать шаг в 2-5 раз меньшим видимой мощности объектов (в горизонтальном направлении) и по возможности равным MN. Направления профилей следует выбирать вкрест простирания изучаемых объектов или структур.

Результаты ЭП вдоль отдельных профилей изображают в виде графиков кажущегося сопротивления ρ_k , рассчитываемого по формуле:

$$\rho_k = K \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}},$$

где K - геометрический коэффициент установки (в метрах), ΔU - разность потенциалов на приемных электродах MN (в мВ), I - сила тока в линии AB (в мА). Ниже приведены общая формула для расчета геометрического коэффициента любой установки и полученная из нее формула для коэффициента симметричной четырехэлектродной установки Шлюмберже.

$$K_{\text{обш}} = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}; \quad K_{\text{сшп}} = \frac{\pi \cdot AM \cdot AN}{MN}.$$

На графиках ЭП по оси абсцисс в линейном масштабе откладывают положения точек наблюдений, а по оси ординат в линейном или логарифмическом масштабе - значения ρ_k . Вертикальный масштаб выбирается из соображений наглядности. Если он арифметический, то ось ординат обязательно начинается с нулевого значения. Когда значения ρ_k изменяются в широких пределах, желателен логарифмический масштаб. Теоретически предпочтительнее логарифмический масштаб. Графики ЭП, являются основой для интерпретации, в основе которой лежит качественное соответствие поведения графиков ρ_k и распределения сопротивлений в разрезе. Минимумами ρ_k на графиках ЭП отмечают локальные объекты низкого сопротивления, а максимумами ρ_k - объекты высокого сопротивления.

Контрольные вопросы

- 1) Сущность метода?
- 2) Виды установок?
- 3) Область применения ЭП?

Урок 37

Тема 4.3: Методы вертикального электрического тока.

План:

1. Вертикальное электрическое зондирование.
2. Методика дипольного электрического зондирования.

Вертикальное электрическое зондирование.

Электрическое зондирование - это такая модификация метода сопротивлений на постоянном или низкочастотном (до 20 Гц) токе, при котором в процессе работы расстояние между питающими электродами или между питающими и приемными линиями (разнос) постепенно увеличивается, при этом точка наблюдения остается постоянной. В результате строятся графики зависимости кажущегося сопротивления (ρ_k) от разноса (r), или кривая зондирования, которая характеризует изменение удельных электрических сопротивлений (УЭС) с глубиной.

Различают две модификации зондирования:

- *вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ)*, применяемые для разведки небольших глубин (до 500 м);
- *дипольные электрические зондирования (ДЭЗ)*, применяемые для разведки глубин 0,5 - 10 км.

1. *Методика вертикальных электрических зондирований.* Вертикальное электрическое зондирование выполняется симметричной четырехэлектродной или трехэлектродной градиент-установками. Работы симметричной установкой проводятся в такой последовательности (см. рис.).

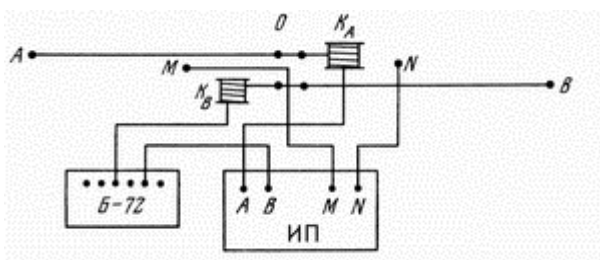


Рисунок 5 Схема установки ВЭЗ: К_А; К_В – катушки с изолированными проводами, Б - батарея, ИП - измерительный прибор

Разносы должны быть направлены, по-возможности, вдоль дорог, просек, а при так называемых круговых ВЭЗ - по двум или четырем азимутам. Изучаемая площадь покрывается сетью профилей на расстояниях, сравнимых или в 2 - 5 раз больших шага съемки. Для уменьшения искажающего влияния рельефа разносы направляют вдоль его простирания. Изучение почв и грунтов проводится ВЭЗ с малыми разносами (от долей до первого десятка метров). Их называют микрозондированиями (МКВЭЗ).

Для однородной среды при любых разносах будет соблюдаться равенство $\rho_k = \rho_{\text{среды}}$ и график ρ_k будет иметь вид прямой линии.

В практике электроразведки часто применяются четырехэлектродные установки АМNB (рис.).

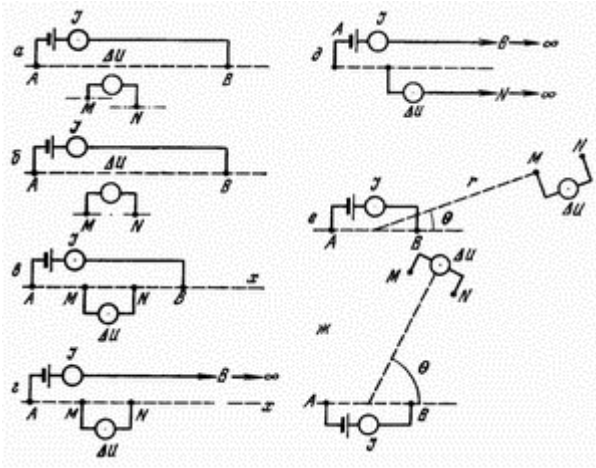


Рисунок 6 План расположения питающих (А и В) и приемных (М и N) электродов в разных установках метода сопротивлений: а - четырехэлектродной, б - срединного градиента, в - симметричной четырехэлектродной, г - трехэлектродной, д - двухэлектродной, е - дипольной радиальной, ж - дипольной азимутальной

Результаты наблюдений по методу ВЭЗ наносят на специальные бланки ВЭЗ, где по одной оси откладывают величины $\lg AB/2$, а по другой $\lg \rho_k$.

2. Методика дипольных электрических зондирований. Если надо изучить большие глубины (свыше 1 км), то при выполнении ВЭЗ разносы АВ приходится увеличивать до 10 км, что делать сложно и неудобно. В этом случае используются дипольные установки (азимутальные, радиальные и др.). При дипольных электрических зондированиях (ДЗ) измеряется кажущееся сопротивление при разных расстояниях или разносах r между центрами питающего и приемного диполей (рис. б е).

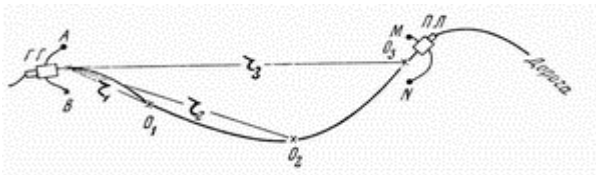


Рисунок 7 Схема проведения дипольного азимутального зондирования: ГГ - генераторная группа, ПЛ - полевая лаборатория.

Контрольные вопросы

- 1) Сущность ВЭЗ?
- 2) Установки ВЭЗ?
- 3) Дипольное зондирование?

Урок 38

Интерпретация кривых электрического зондирования

План:

1. Интерпретация кривых электрического зондирования
2. Качественная интерпретация зондирования.

Интерпретация кривых электрического зондирования

Под термином интерпретации ВЭЗ подразумевается все операции, направленные к наиболее правильному геологическому истолкованию результатов зондирования. Сюда входят и изучение геоэлектрического разреза, который определяет собою вид кривых ВЭЗ, и изучение параметров отдельных слоев.

Интерпретация кривых ВЭЗ и ДЭЗ бывает *качественной* и *количественной*.

Качественная интерпретация зондирования.

При качественной интерпретации дается общая характеристика геоэлектрического разреза и его изменение по вертикали и по площади, а также оценивается положение опорных горизонтов. Опорными электрическими горизонтами в разрезе называются сравнительно мощные и однородные в литологическом отношении толщи пород, характеризующиеся либо повышенными, либо пониженными сопротивлениями, обладающие мало меняющейся мощностью и повсеместно наблюдаемые в изучаемом районе.

При качественной интерпретации может составляться следующие карты:

- 1) типов кривых;
- 2) абсцисс и ординат экстремальных точек кривых;
- 3) равных кажущихся сопротивлений для определенных разносов;
- 4) углов наклона правых асимптот кривых;
- 5) расхождение $\Delta\rho = |\rho_k^+ - \rho_k^-|$ двухсторонних кривых ДЭЗ;
- б) суммарной продольной проводимости S , определяемой по кривым, у которых правая ветвь наклонена под углом, близким к 45° .

При построении этих разрезов по горизонтали проставляются точки ВЭЗ, по вертикали откладывается параметр глубинности (r , $AB/2$), проставляются ρ_k , S_k или T_k и проводятся изолинии.

Трехслойные кривые ВЭЗ по соотношению УЭС (сверху вниз) делятся на следующие типы (см. рис.): 1) Н - с минимумом в середине ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$); 2) К - с максимумом в середине ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$); 3) А - с возрастающими УЭС ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$) и 4) Q - с убывающими УЭС ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$). На том же рис. приведены возможные геолого-гидрогеологические разрезы, которым могут соответствовать эти кривые.

Выявленные в рассматриваемом примере электрические горизонты (I, II, III) совпадают либо с литологическими границами (кривая А), либо с гидрогеологическими (уровнем подземных вод) (кривые Н и Q), либо с изменением физико-механического состояния пород, например, увеличением трещиноватости, которая сопровождается понижением удельного электрического сопротивления (кривая К).

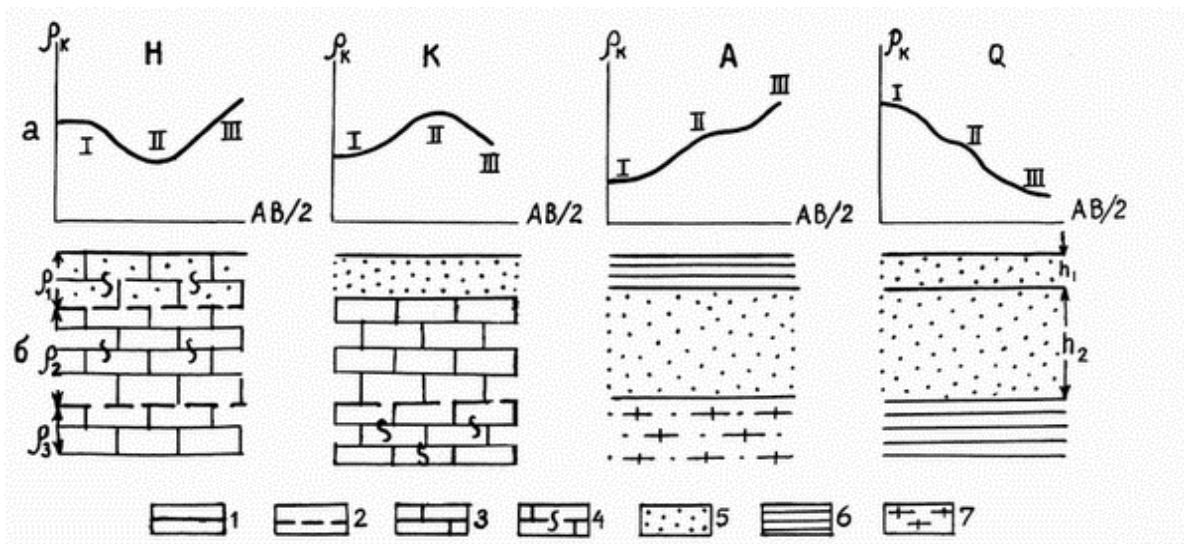


Рисунок 8 Типичные трехслойные кривые ВЭЗ: а - графики КС, б - геоэлектрические разрезы; 1 и 2 - литологические и гидрогеологические границы; 3 и 4 - известняки массивные и трещиноватые; 5 - пески; 6 - глины; 7 – граниты

Пример кривых ВЭЗ и ВЭЗ-ВП, поставленных для выделения водоносного пласта (II), приведен на рис. 1 .

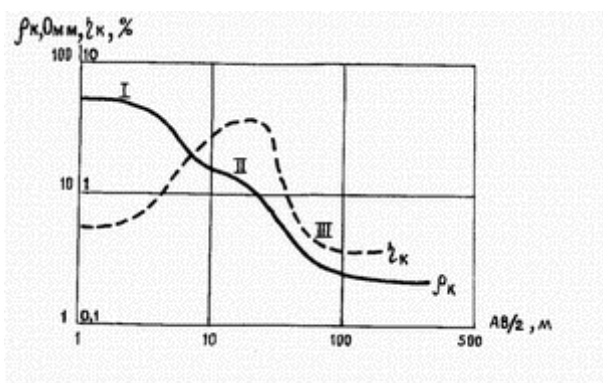


Рис. 1. Кривые ВЭЗ и ВЭЗ-ВП с ветвями, обусловленными сухими (I) и водонасыщенными (II) супесями, подстилаемыми глинами (III)

Количественная интерпретация кривых зондирования.

Количественная интерпретация кривых ВЭЗ и ДЭЗ сводится к определению мощностей слоев: h_1, h_2, h_3 , кроме того, при благоприятных условиях определяются сопротивления слоев: ρ_1, ρ_2, ρ_3 .

Существуют различные методы решения обратных задач: графоаналитические, палеточные и с помощью ЭВМ (машинные).

Контрольные вопросы.

1. На какие типы трехслойных кривых ВЭЗ делится по соотношению УЭС?
2. Качественная интерпретация, в чем заключается?
3. Количественная интерпретация, в чем заключается?

Урок 39 (практика)

Качественная интерпретация результатов электропрофилирования.

План

1. Сущность качественной обработки данных ЭП.
2. Построение карты графиков.

Электрическое профилирование (Электропрофилирование, ЭП), относится к группе методов сопротивлений и занимается изучением кажущегося сопротивления гк разреза в горизонтальном направлении, вдоль линии профиля. При этом размеры и параметры установки, т.е. взаимное расположение питающих и приемных электродов остается постоянным.

Характер связи между кажущимся сопротивлением и строением геологического разреза зависит от типа установки, так например, над вертикальной границей разными типами установок будут получены разные графики ρ_k (рис. 1.).

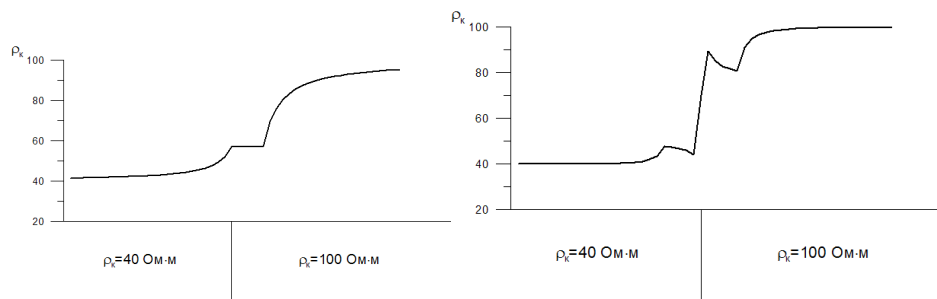
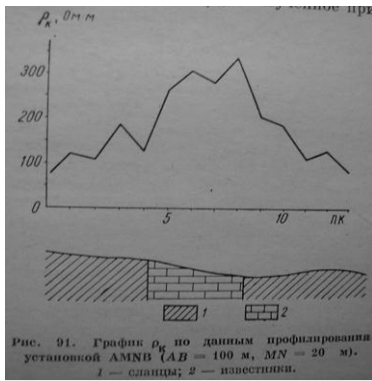


Рис. 1. Графики над вертикальной границей для двухэлектродной установки (а)

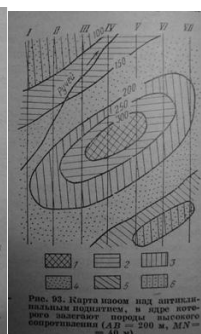
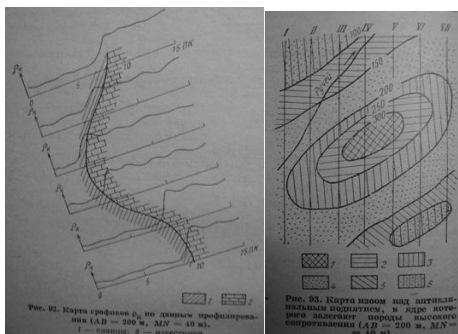
Обработка и интерпретация результатов электрического профилирования, в большинстве случаев является качественной и заключается в выделение областей повышенной или пониженной проводимости. Результатом работ являются, как правило, графики, карты графиков ρ_k или карты изоом.

Результаты электропрофилирования с установкой АМNB изображают в виде графиков ρ_k , при площадной съёмке – в виде карт графиков ρ_k и карт линий равных значений кажущегося удельного сопротивления.



Под графиком ρ_k обычно изображают профиль дневной поверхности, что позволяет качественно учесть искажающее влияние рельефа местности на значение ρ_k . После интерпретации на график ρ_k наносят геологический разрез вдоль профиля. Пример оформления графиков ρ_k приведён на рис. 91.

При площадной съёмке графики ρ_k по отдельным профилям изображают в общем плане. Линии профилей служат осями абсцисс. Вертикальный масштаб выбирают таким, чтобы графики соседних профилей по возможности не пересекались. На полученную таким образом карту графиков ρ_k наносят основные элементы ситуации и данные интерпретации, как показано на рис. 92. На карту наносят линии равных значений ρ_k (карту изоом) (рис.93).



Электропрофилирование решает **задачи** геологического картирования, обнаружения и картирования вертикальных границ, в том числе разрывных нарушений, инженерно-геологические и гидрогеологические задачи. В частности определение сопротивления грунта, определение направление трещиноватости.

Урок 40 (практика)

Обработка данных методов сопротивлений

План

1. Сущность метода сопротивлений.
2. Построение геоэлектрического разреза.

Задание 1.

По профилю было поставлено ВЭЗ с расстоянием между точками 2 км с целью картирования рельефа кристаллического фундамента и расчленения перекрывающей толщи при поисках депрессий в коренных породах, к которым могут быть приурочены бокситы. Результаты интерпретации кривых ВЭЗ приведены в табл. 1.

Таблица 1.

№ ВЭЗ	Данные интерпретации							Альтитуда, м
	$h_1, \text{ м}$	$\rho_1, \text{ Ом, м}$	$h_2, \text{ м}$	$\rho_2, \text{ Ом, м}$	$h_3, \text{ м}$	$\rho_3, \text{ Ом, м}$	$\rho_4, \text{ Ом, м}$	
1	1,3	36	7,0	12	16	13	360	22,1
2	2,5	23	14	10	28	16	500	41,0
3	3,6	40	23	5	60	17	505	79,6
4	9,5	21	23,5	9	48	15	610	71,5
5	2,1	33	34	5	44,5	21	480	76,9
6	1,9	19	37	6	49	13	550	85,8
7	2,2	32	33	9	58	19	490	91,0
8	2,5	30	22	5	62	14	670	84,0
9	4,6	6	11,8	13	-	495	-	16,4
10	8,3	9	4	10	-	505	-	12,3

Построить геоэлектрический разрез по профилю и дать ему геологическое истолкование, если из данных геологии и параметрических ВЭЗ известно, что первый слой – пески с $\rho_1=19-49 \text{ Ом м}$, второй слой – песчано-глинистые отложения с $\rho_2=5-12 \text{ Ом м}$, третий слой – глинистые конгломераты с $\rho_3=13-21 \text{ Ом м}$, четвертый слой – граниты с $\rho_4= \infty$, являющиеся опорным горизонтом. Масштабы: горизонтальный 1:100 000, вертикальный 1:1000.

Задание 2.

Построить карту суммарной продольной проводимости S и дать ей геологическую интерпретацию, если по результатам ВЭЗ были получены данные, приведенные в табл.2. Перестроить карту S в карту изомагнетизма, если на участке среднее значение $\rho_t=25 \text{ Ом м}$.

Таблица 2.

Но-мер	Профили						
	I	II	III	IV	V	VI	VII

ВЭЗ	S, см	H, м	S, см	H, м	S, см	H, м	S, см	H, м	S, см	H, м	S, см	H, м	S, см	H, м
1	7,2		7,2		6,9		6,6		6,0		7,0		8,0	
2	6,4		6,6		5,0		4,8		5,2		6,0		7,0	
3	6,2		4,5		3,8		4,2		4,4		6,0		6,2	
4	6,1		3,4		2,7		2,3		3,2		4,3		5,8	
5	6,2		2,8		2,9		2,6		2,1		3,2		4,0	
6	6,6		5,2		4,8		4,9		2,8		2,3		3,2	
7	6,8		6,0		5,4		5,3		4,0		2,0		2,7	
8	7,0		6,6		6,0		6,1		5,0		2,3		2,4	
9	7,2		7,0		6,8		6,7		6,0		4,8		5,0	

Азимут расположения профилей ВЭЗ 90⁰, масштаб съемки 1:50 000, сеть наблюдений 1000 x 500м.

Сечение изолиний на карте S взять через 1 см, а на карте изомощностей – через 25м.

Урок 41

Тема 4.4: Методы полей физико-химического происхождения.

План:

1. Диффузионно-адсорбционные потенциалы.
2. Потенциалы фильтрации.
3. Окислительно-восстановительные потенциалы.
4. Метод естественного электрического поля.
 - а) Сущность метода.
 - б) Методика проведения ЕП.

Метод естественного электрического поля (ПС)

Рассмотрим основные причины возникновения таких полей.

Диффузионно-адсорбционные потенциалы. Возникновение этих потенциалов рассмотрим на примере пересеченного скважиной песчаного пласта, залегающего в глинах (рис.1)

Схема образования ПС в скважине.

Глинистые пласты в естественных условиях насыщены водами повышенной минерализации $C_{гг}$, минерализованная вода $C_{п}$ песчаного пласта может быть больше или меньше, минерализации $C_{ж}$ промывочной жидкости. Представим, когда $C_{гг} > C_{п} > C_{ж}$

Молекула Соли $NaCl$ диссоциирует в воде на катион Na и Cl , каждый из которых с определенной скоростью (подвижностью), причем подвижность U_{Cl} в 1,5 раза больше подвижности V иона Na .

На контакте песчаного пласта со скважиной происходит свободное перемещение ионов. Поскольку $C_{п} > C_{ж}$, то диффузия направлена из пласта в скважину, причем впереди располагаются ионы Cl (так как $U > V$), следовательно, промывочная жидкость заряжается отрицательно, а песчаный пласт (за счет ионов Na)- положительно.

Таким образом, на контакте песчаного пласта со скважиной образуется двойной электрический слой, потенциал которого называют **диффузионным**.

Глинистые частицы обладают свойствами **адсорбировать** отрицательные ионы и свободно пропускать положительные.

В связи с этим в глинистые пласты (где $C_{гг} < C_{п} > C_{ж}$) образуют избыток ионов Cl в песчаном пласте, а в скважине избыток ионов Na . Потенциалы на соответствующих контактах называют **диффузионно-адсорбционными**.

Потенциалы фильтрации. Они возникают при движении жидкости в порах г.п. Стенки капилляров адсорбируют анионы солей пластовых вод, а внутри капилляра образуются избыток катионов. При движении жидкости на выходе капилляра возникает избыток положительных зарядов, а на выходе - избыток отрицательных. Образуется, как бы гальванический элемент, посылающий ток в направлении, противоположном движению жидкости. Величина потенциала фильтраций возрастает с увеличением перепада давления и сопротивления жидкостей в капилляре.

Окислительно-восстановительные потенциалы.

Эти потенциалы возникают при химических реакциях между электронорводящими телами (сульфиды, графит, антрацит и другие) и промывочной жидкостью скважины и пластовыми водами. Процесс окисления пирита под действием кислорода промывочной жидкости и пластовых вод происходит по реакции



Пирит, адсорбирует ионы Fe , заряжается положительно, а окисляющие воды - отрицательно. Разность потенциалов между окисляющей средой и окислителем называется окислительно-восстановительным потенциалом. Сульфидное тело в этом случае отмечается положительной аномалией ПС и аналогичные аномалии создают антрацит и графит. Каменные угли отмечаются отрицательными аномалиями ПС.

Метод естественного электрического поля.

Метод естественного электрического поля (ЕП, МЕП) или метод собственных потенциалов (СП, ПС) основан на изучении локальных электрических постоянных полей, возникающих в горных

породах в силу различных физико-химических процессов. Небольшие собственные потенциалы диффузионно-адсорбционной и фильтрационной природы существуют практически повсеместно. Интенсивные же поля окислительно-восстановительной природы наблюдаются, как правило, только над сульфидными и графитными залежами. Естественные электрические поля могут возникнуть также при коррозии трубопроводов и других подземных металлических конструкций, при ухудшении их гидроизоляции и на участках с низкими УЭС пород. Для измерения ЕП применяются милливольтметры постоянного тока и неполяризующиеся электроды

Съемка естественных электрических потенциалов выполняется либо по отдельным линиям (профильная съемка), либо по системам обычно параллельных профилей, равномерно покрывающих изучаемый участок (площадная съемка). Направления профилей выбираются вкрест предполагаемого простирания прослеживаемых объектов, а расстояния между ними могут меняться от 10 до 100 м и должны быть в несколько раз меньше ожидаемой длины рудных тел или иных разведываемых геологических объектов.

На каждом профиле равномерно размечаются пункты измерения потенциалов. Расстояния между точками наблюдений (шаг съемки) меняются от 5 до 50 м в зависимости от масштаба съемки, характера и интенсивности электрического поля. Расстояние между профилями при площадной съемке может быть равно или в 2 – 3 раза превышать шаг наблюдений.

Съемка естественных потенциалов может выполняться двумя способами: способом потенциала (U), при котором производятся измерения разности потенциалов между одной неподвижной точкой и всеми пунктами наблюдений изучаемого профиля или площади, и способом градиента-потенциала (ΔU), при котором измеряется разность потенциалов между двумя электродами, расположенными на постоянном расстоянии друг от друга и перемещаемыми одновременно по профилям. Съемка бывает полевой, акваториальной, подземной и скважинной. Для работ используются неполяризующиеся электроды разных конструкций, например, медный электрод, помещенный в пористый сосуд с раствором медного купороса.

По результатам съемки ЕП строятся графики, карты графиков и карты U или ΔU .

Метод естественного поля применяется для поисков и разведки сульфидных, графитных и угольных месторождений, при литологическом и гидрогеологическом картировании, выявлении участков коррозии трубопроводов и решении других задач. Глубинность метода ЕП не превышает 500 м, а при решении ряда задач составляет десятки метров.

Контрольные вопросы

1. Назовите потенциалы возникновения естественных электрических полей в земле?
2. В каких случаях возникает диффузионный потенциал?
3. Когда возникает адсорбционный потенциал?
4. Какой параметр измеряют в методе ЕП?
5. Как проводят съемку?

Урок 42

Метод вызванной поляризации.

План:

1. Сущность метода ВП.
2. Методика проведения метода ВП.

МЕТОД ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Метод ВП является одним из наиболее широко распространенных методов электроразведки, успешно применяющихся при поисках вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд, в состав которых входят минералы с электронной проводимостью (сульфиды меди, железа, магнетит, графит и т. п.), т. е. объектов повышенной поляризуемости.

Сущность метода ВП состоит в том, что если в среду ввести гальванически с помощью питающей установки постоянный или переменный ток очень низкой частоты (доли—единицы герц), то на поверхности раздела электронных и ионных проводников или твердой и жидкой фаз возникает двойной электрический слой. Это значит, что объект поляризуется и после снятия электрического поля (выключения поляризующего тока) он некоторое время является источником электрического поля (поля вызванной поляризации). Отношение разности потенциалов, наблюдаемой после выключения поляризующегося тока на приемных электродах $\Delta U_{вп}$, к наблюдаемой в процессе протекания тока в питающей линии $\Delta U_{пр}$ для неоднородных сред, изучаемых в геофизической разведке, называют *кажущейся поляризуемостью*

$$\eta_k = (\Delta U_{вп} / \Delta U_{пр}) 100. \quad (1)$$

Для работы методом ВП могут применяться любые установки метода сопротивлений. Наиболее часто проводится профилирование ВП с установками срединного градиента и комбинированными (комбинированное профилирование), а также вертикальное зондирование симметричными четырехэлектродными установками. На каждой точке измеряют ток в питающей линии, разность потенциалов $\Delta U_{пр}$ на приемных электродах в момент протекания тока, разность потенциалов ВП $\Delta U_{вп}$ после выключения тока и вычисляют r_k и η_k . Затем строят два графика r_k и η_k . Особенностью установок ВП по сравнению с установками метода сопротивлений является использование неполяризующихся электродов в приемной линии для исключения влияния ЭДС поляризации и вызванной поляризации электродов. Аппаратура метода ВП должна удовлетворять тем же требованиям, что и аппаратура в методе сопротивлений, и, кроме того, обеспечивать возможность измерения $\Delta U_{вп}$ в паузах между импульсами включения тока, значительно меньшей, чем $\Delta U_{пр}$. Все типы аппаратуры, применяемые для работы методом вызванной поляризации, имеют шифр ВП — это переносная аппаратура ВПП-67 и станции ВП-59, ВП-62, ВПП-70 или «Енисей», смонтированные на автомашинах. Для производства работ в скважинах применяются ВПС-63, СВП-74. Источниками тока в станциях могут быть генераторы постоянного тока, приводимые в движение двигателем автомашины, автономные бензоэлектрические агрегаты или переносные генераторы симметричных прямоугольных колебаний. Ток измеряется аппаратом высокого класса точности, отсчет разности потенциалов производится или визуально по измерительному прибору, или осциллографически.

Контрольные вопросы.

1. Какие поля изучаются в методе ЕП?
2. В результате каких процессов возникает естественное электрическое поле?
3. Что измеряют в методе ВП?
4. Какие измерительные установки применяют в методе ВП?

Урок 43(практика)

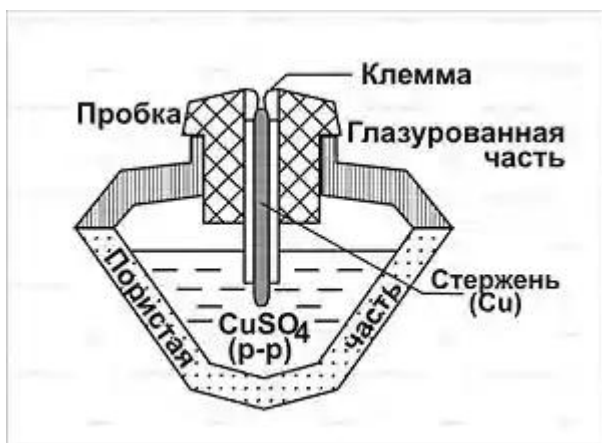
Аппаратура и оборудование. Обработка материалов.

План

1. Аппаратура и оборудование для проведения методов полей физико-химического происхождения.
2. Схемы измерительных установок.

Неполяризующиеся электроды

Неполяризующиеся электроды - специальные заземлители, используемые в электроразведке при изучении естественных или искусственных электрических полей. Применяются в тех случаях, когда необходимо исключить мешающее влияние электродвижущей силы (Э. д. с.) поляризации, возникающей на контакте металлических электродов с почвой. Устройство их основано на том, что на контакте между металлом и раствором соли этого металла, а также между последним и почвой, Э. д. с. не возникает. Э. д. с. поляризации тщательно подготовленных Э. н. не превышает 1 мв.



Неполяризующийся электрод конструкции ВИРГ

Медносulfатный неполяризующийся электрод конструкции ВИРГ состоит из пористой керамической чаши и пластмассовой крышки, в которую ввинчивается медный стержень. В медном стержне сверху высверлено гнездо для присоединения соединительного провода. Во внутреннюю полость электрода заливается насыщенный раствор медного купороса.

Неполяризующиеся электроды применяются, в основном, в методах естественного поля и вызванной поляризации.

Урок 44 (практика)

Обработка материалов.

План

1. Обработка данных полевых наблюдений.
2. Проведение качественной интерпретации материалов ЕП.

1. Обработка данных ведется в специальном журнале.
Журнал для записи наблюдений способом потенциалов

Профиль _____ Азимут _____ Дата _____
Участок _____ Начало наблюдений _____
Электрод N на 0.....11 ПР Конец наблюдений _____
Шаг 10 м Погода _____

Точка стояния электрода	ΔU , мВ	E, мВ	U_0 , мВ		примечание
1	2	3	4	5	6
0		1,4	-20		Протекает ручей
+1	-3		-23		
+2	+2		-18		

Оператор _____ Вычислитель _____ Проверил _____
Графы 1,2,3,6 заполняются в поле, а 4 и 5 при обработке. Графа 5 служит для записи дополнительных сведений.

2. При построение карт и графиков следует обратить внимание на правильный выбор масштаба. Обычно горизонтальный соответствует масштабу съемки. Вертикальный масштаб рекомендуется в 1 см 20 мВ для нормальных полей и в 1 см 100 мВ для аномальных полей.

Задание.

На участке по семи профилям была проведена съемка методом ЕП способом потенциала с целью поисков месторождений медных руд. Масштаб съемки 1:50000, сеть наблюдений 10*25 м. азимут профилей 90^0 . Данные увязочных ходов, которые проводились по нулевым точкам профилей способом потенциала, приведены в таблице 2. Результаты наблюдений по рядовым профилям приведены в таблице 3. Провести обработку полевых наблюдений.

Построить карту графиков потенциала ЕП.

Построить карту изолиний потенциала ЕП.

Урок 45

Тема 4.5: *Методы низкочастотного электромагнитного поля.*

План:

1. Частотное электромагнитное зондирование.

2. Зондирование методом становления поля.

3. Магнитотеллурические методы

Частотное электромагнитное зондирование. Метод частотного электромагнитного зондирования (ЧЗ) основан на изучении электрической или магнитной составляющих электромагнитного поля, созданного в земле электрическим диполем AB или петлей, которые питаются переменным током с постепенно изменяющейся частотой. Метод ЧЗ напоминает, с одной стороны, метод ДЗ на постоянном токе, а с другой магнитотеллурическое зондирование и предназначен для решения тех же задач изучения горизонтально-слоистых сред с глубиной до 5—7 км. Как и при выполнении ДЗ, в методе частотных зондирований используют дипольные установки (чаще всего экваториальные). Однако в методе ЧЗ расстояние r между питающим AB и приемным MN диполями может оставаться постоянным. Принцип частотных электромагнитных зондирований (как и МТЗ) основан на скин-эффекте, т.е. на увеличении глубины разведки с уменьшением частоты питающего тока.

Методика проведения ЧЗ сводится к измерению тока I в линии AB и напряжения на приемном электрическом диполе E_x и магнитном диполе H_z .

Расстояние r должно быть в 5—10 раз больше намечаемых глубин исследования, т.е. приемные установки располагают в дальней от источников поля зоне.

В результате выполнения ЧЗ на логарифмических бланках строят кривые ЧЗ для электрической и магнитной составляющих. По вертикали откладывают кажущееся сопротивление, а по горизонтали — параметр, пропорциональный глубинности, $Tl/2$.

Кривые ЧЗ, хотя и похожи на кривые ВЭЗ, но содержат дополнительные экстремумы, обусловленные структурой поля, а не влиянием слоев. Кроме амплитудных значений напряженности можно изучать разности фаз между E_x , H_z и опорной фазой тока (φE и φH). Измерение двух компонент поля и двух сдвигов фаз делает интерпретацию кривых ЧЗ более точной, чем при ДЗ. В результате интерпретации определяют сопротивления и мощности отдельных горизонтов в разрезе

Зондирование методом становления поля. Зондирование методом становления поля (ЗС или ЗСП) основано на изучении становления (установления) электрической (ЗСЕ) и магнитной (ЗСМ) составляющих электромагнитного поля в геологических толщах при подаче прямоугольных импульсов постоянного тока в заземленную линию или незаземленную петлю. Длительность и характер становления поля связаны с распределением удельного электрического сопротивления пород на разных глубинах. Изменение глубинности разведки в методе ЗС объясняют следующим образом [см. формулу (4.9)]. При включении импульса тока в питающую линию или петлю электромагнитное поле распространяется сначала в приповерхностных частях разреза, а в дальнейшем проникает все глубже и глубже. При этом в среде происходят сложные переходные процессы. В результате форма регистрируемого импульса будет отличаться от формы импульса, поданного в питающую установку. Малым временам становления поля соответствует малая глубина разведки, большим временам — большая. Максимальная глубинность ЗС около 5 км. Зондирование становлением поля выполняют с помощью обычных электроразведочных станций

при неизменном расстоянии между питающим и измерительным диполями. Электрическую и магнитную составляющие записывают одновременно автоматически.

Различают два варианта зондирования становлением поля: зондирование в дальней от питающего диполя зоне (ЗСД) и зондирование в ближней зоне (ЗСБ), называемое иногда

тчетным (ЗСТ). При выполнении ЗСД используют дипольные установки. Расстояние r между генераторной группой и полевой лабораторией выбирают постоянным, в 3—6 раз большим предполагаемой глубины залегания изучаемого опорного горизонта (как правило, кристаллического фундамента). В результате обработки записей становления поля рассчитывают кажущиеся сопротивления по электрической $\rho_T E$ и магнитной $\rho_T H$ составляющим для разных времен становления поля t , т.е. для разных времен после включения тока в линию AB или петлю.

В методе ЗСБ разнос r постоянен и меньше проектируемых глубин разведки. В результате обработки записей ЗСБ получают значения разностей потенциалов в приемной петле ΔU_Z . Зная ток в питающей линии I и коэффициент установки k , рассчитывают кажущееся сопротивление: $\rho_T = k (I \Delta U)^{2/3} t^{-5/3}$. Далее, как и при ЗСД, строят кривые ЗСБ.

Контрольные вопросы

1. Сущность частотного электромагнитного зондирования.
2. Методика проведения ЧЭЗ?
3. Зондирование методом становления поля.

Урок 46 (практика)

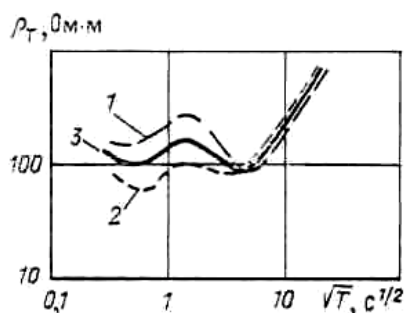
Магнитотеллурические методы.

План

1. Магнитотеллурические методы.
2. Магнитотеллурическое зондирование
3. Методы теллурических токов, магнитотеллурического и магнитовариационного профилирований.

Магнитотеллурические методы. МТТ методы глубинных и структурных исследований, основанные на изучении сверхнизкого частотного естественного переменного электромагнитного поля Земли космической природы. Их происхождение связывают с потоком заряженных частиц (корпускул) посылаемых солнцем (солнечный ветер. Магнитное поле солнечного ветра накладываясь на постоянное магнитное поле Земли деформирует его. Интенсивность потока корпускул непостоянно и его изучение является самыми глубинными из всех

Рис. 6. Амплитудные кривые ρ_T ху (1), ρ_T ух (2), ρ_T (3)



электроразведочных, зависит от интенсивности солнечной активности, деформация магнитного поля Земли оказывается непостоянной, т. е. поле пульсирует, Эти пульсации и есть вариации геомагнитного поля.

Возникают токовые вихри в ионосфере. В результате в земной коре и мантии образуется естественные переменные электромагнитное поле называемое магнитотеллурическим. Отличаясь широким спектром инфранизких частот магнитотеллурическое поле вследствие слабого скин – эффекта, проникает в глубь Земли на десятки и сотни км. Поэтому методы разведки, основанные на его изучении является самыми глубинными из всех электроразведочных.

Электромагнитное поле характеризуется векторами напряженности магнитного (H) и электрического (E) полей (поле теллурических токов). Существует несколько магнитотеллурических методов исследования, в которых изучаются электрические, магнитные или электрические и магнитные составляющие естественного переменного электромагнитного поля Земли.

В 30^е годы Шлюмберже предложил метод теллурических токов (МТТ) в котором изучают вариации электрического поля.

На анализе вариаций магнитного поля основаны магнитовариационное зондирование (МВЗ) и магнитовариационное профилирование (МВП). Наибольшую информацию о строении земной коры дают методы в которых регистрируются обе составляющие поля (E и H): магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) и комбинированное (КМТЗ); Глубинный вариант зондирования (ГМТЗ); магнитотеллурическое профилирование (МТП), комбинированное (КМТП).

С течением времени векторы E и H в каждой точке меняются по величине и направлению. Кривая описываемая концом вектора E за некоторый промежуток времени называется теллурическим годографом, а кривая описываемая концом горизонтальной составляющей вектора H – магнитным годографом, По форме годографов судят о поляризации поля. Если годограф сильно вытянут, то говорят о линейной поляризации поля. При линейной поляризации годографов имеет сложную форму приближающуюся к эллиптической. Фазовые сдвиги

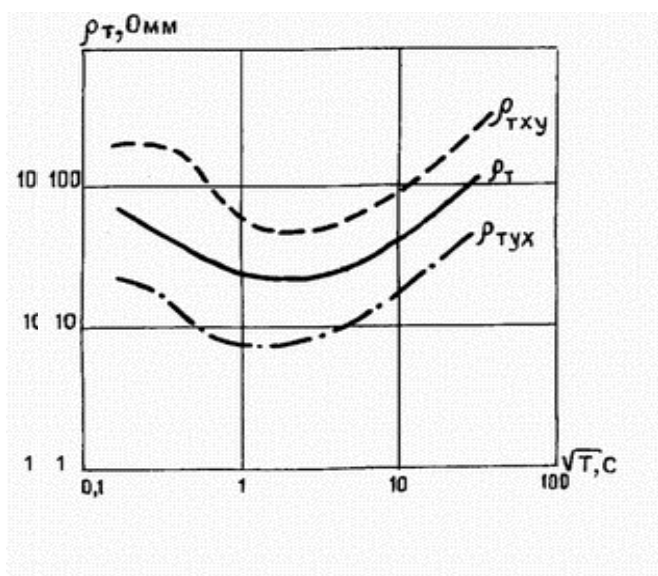
между декартовыми составляющими напряженности поля (E_x и E_y , H_x и H_y) при линейной поляризации близки к 0 либо 180° при нелинейной поляризации составляют произвольный угол. Для общей характеристики магнитотеллурического поля проводят опытные работы в результате, которых строят следующие графики: частоты появления вариаций с различными периодами или гистограмм (по горизонтали откладывается период колебания – T, а по вертикали – количество зарегистрированных за сутки волн данного периода); интенсивности по горизонтали – T_a по вертикали средние значения напряженностей E и H; суточного хода вариаций того или иного периода (по горизонтали откладывают часы суток, а по вертикали – количество зарегистрированных колебаний данного периода). Кроме того строятся годографы. По этим материалам определяется наиболее благоприятное время проведения наблюдений магнитотеллурического поля то или иной частоты, выбираются разномы приемных линий, подбирается необходимая чувствительность регистрирующей аппаратуры. Аппаратура МТЛ, цифровые станции ЦЭС – 1, ЦЭС – 2.

В комбинированном магнитотеллурическом профилировании (КМТП) перечисленные параметры изучают синхронно и на полевом, и на базисном пунктах. В целом полевые работы при магнитотеллурическом профилировании выполняют на больших площадях. Точки наблюдения располагают на расстоянии около 1 км друг от друга. 2. Методы теллурических токов, магнитотеллурического и магнитовариационного профилирования. При работе методом

теллурических токов (метод ТТ) изучают электрическую составляющую естественного электромагнитного поля Земли. При съемке теллурических токов одновременно регистрируют синхронные вариации электрических составляющих поля E_x и E_y на одном базисном (опорном) и на одном из рядовых пунктов изучаемой площади. Для синхронизации работ двух или нескольких станций, расположенных на расстоянии до 30—50 км от базисного пункта, используют радиостанции и специальные приборы, называемые телевключателями. В результате обработки записей поля теллурических токов рассчитывают разные теллурупараметры, чаще всего определяют теллурупараметр $\mu = \delta(E_i) / \delta(E_o)$, где $\delta(E_i)$, $\delta(E_o)$ синхронные вариации поля на любой рядовой и базисной точках. Этот параметр характеризует относительные значения плотностей естественных токов и кажущихся сопротивлений в этих точках. В отличие от МТТ при магнитовариационном профилировании (МВП) на полевых и базисных пунктах регистрируют вариации магнитного поля.

При магнитотеллурическом профилировании (МТП) на полевых пунктах одновременно регистрируют и электрические E_x , E_y , и магнитные H_x , H_y , H_z составляющие поля. Если при обработке магнитотеллурических записей выделять на всех пунктах вариации примерно одного небольшого интервала периодов колебаний, то получаемые параметры поля будут характеризовать разрез примерно одной глубины. В результате обработки магнитотеллурических записей для каждой точки рассчитывают так называемый импеданс ($Z_{xy} = E_x/H_y$ или $Z_{yx} = E_y/H_x$), который характеризует обобщенный геоэлектрический разрез. С помощью двух пар приемных электродов измеряют две составляющие вектора напряженности поля \vec{E} и затем строят карты средней напряженности. На участках, где опорный электрический горизонт высокого сопротивления приближается к поверхности, наблюдается максимумы \vec{E} ; если же мощность над опорной толщи или ее электропроводность увеличивается, то будут наблюдаться минимумы средней напряженности поля \vec{E} .

Магнитотеллурическое зондирование. Магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) и его глубинный вариант (ГМТЗ) основаны на изучении магнитотеллурических полей с меняющимися на два и более порядка периодами колебаний. Как отмечалось выше, вследствие скин-эффекта глубина проникновения электромагнитного поля в землю тем больше, чем меньше частота (f) или больше период колебаний ($T = 1/f$). Поэтому методика МТЗ сводится к длительным (иногда сутки) регистрациям с помощью измерительной лаборатории ЭРС взаимно перпендикулярных компонент поля (E_x , E_y , H_x , H_y) различных периодов. При обработке получаемых магнитотеллурических записей выделяются сигналы с периодами, отличающимися менее, чем в два раза, чаще всего в интервале от 1 до 100 с. Далее рассчитываются амплитуды сигналов, а по ним - кажущиеся сопротивления



1. $\rho_{T_{xy}} = 0.2T |E_x / Y_y|^2$, $\rho_{T_{yx}} = 0.2T |E_y / H_x|^2$ В результате на бланке с логарифмическим масштабом по осям координат (модуль 10 см) строятся амплитудные кривые МТЗ. По горизонтальной оси откладывается \sqrt{T} - величина, пропорциональная глубинности исследований, а по вертикальной оси - кажущиеся сопротивления $\rho_{T_{xy}}$, $\rho_{T_{yx}}$ и среднее из

них $\rho_T = \sqrt{\rho_{Txy} \cdot \rho_{Tyx}}$ (рис 6.1.). Над горизонтально слоистой средой $\rho_{Txy} = \rho_{Tyx}$, а над неоднородной по УЭС в горизонтальном направлении они могут резко отличаться. Поэтому для интерпретации используется средняя кривая ρ_T , дающая усредненную характеристику изменения УЭС с глубиной. Кроме амплитудных кривых можно строить фазовые кривые, т.е. изменение разностей фаз между составляющими $E_x, H_y; E_y$ и H_x , от \sqrt{T} . При наземных и морских работах точки МТЗ располагаются либо по системам профилей, либо равномерно по площади. Расстояния между ними меняются от 1 до 10 км. Менее информативны по сравнению с МТЗ магнитовариационные зондирования (МВЗ), в которых измеряются разнопериодные вариации между ними меняются от 1 до 10 км. Менее информативны по сравнению с МТЗ

Рис. 6. Кривые МТЗ над неоднородной средой. магнитовариационные зондирования (МВЗ), в которых измеряются разнопериодные вариации лишь магнитных составляющих геомагнитного поля Земли в широком диапазоне периодов.

Методы теллурических токов, магнитотеллурического и магнитовариационного профилирования.

В методе теллурических токов (МТТ) одновременно регистрируются синхронные вариации электрических составляющих поля (E_x и E_y) на одном базисном (опорном) и на всех рядовых пунктах изучаемой площади. Для синхронизации работ двух или нескольких станций, расположенных на расстояниях до 50 - 100 км от базисного пункта, используются радиостанции. В результате обработки записей поля теллурических токов рассчитываются разные теллурупараметры. Чаще всего определяется теллурупараметр $\mu = \delta(E_i) / \delta(E_B)$, где $\delta(E_i)$ и $\delta(E_B)$ - синхронные вариации поля на любой рядовой и базисной точках. Он характеризует относительные значения плотностей естественных токов и кажущихся сопротивлений в этих точках. В отличие от МТТ в магнитовариационном профилировании (МВП) на полевых и базисных пунктах регистрируются вариации магнитного поля. При магнитотеллурическом профилировании (МТП) на полевых пунктах одновременно регистрируются и электрические (E_x, E_y), и магнитные (H_x, H_y, H_z) составляющие поля. Если при обработке магнитотеллурических программ выделять на всех пунктах вариации примерно одного небольшого интервала периодов колебаний, то получаемые или расчетные параметры поля будут характеризовать разрез примерно на одной глубине. Система наблюдений при работах МТТ, МТП, МВЗ сводится к площадным съемкам с расстояниями между точка

Глубинность и задачи, решаемые магнитотеллурическими методами, различны. При периодах естественных полей, меньших 1 с, расчлняются осадочные породы, меньших 100 с - определяются глубина залегания фундамента и УЭС земной коры, а при $T \geq 1000$ с - изучается глубинная электропроводность земной коры и мантии.

Контрольные вопросы.

1. На чем основан метод частотного электромагнитного зондирования?
2. Опишите методику проведения ЧЗ?
3. На чем основан метод зондирования методом становления поля?
4. На чем основан метод (МТТ), (МТЗ), (МТП)?

Урок 47 (практика)

Обработка материалов.

План

1. Обработка и интерпретация данных.
2. Качественная интерпретация.
3. Количественная интерпретация.

Кривые ЗС похожи на кривые ВЭЗ. Существуют и другие приемы обработки ЗС. ЗСП Зондирования становлением поля выполняют по отдельным профилям или равномерно по площади. Расстояние между точками изменяют от 0,5 до 2 км. В результате интерпретации ЗС получают глубины залегания опорных (особенно с высоким сопротивлением) горизонтов.

Интерпретация данных электроразведки и решаемые задачи.

Как и в других методах геофизики, существуют качественные и количественные приемы интерпретации данных электроразведки. При качественной интерпретации ведут визуальное выделение аномалий, позволяющее оценить наличие и положение разведываемых объектов. В результате количественной интерпретации определяют их глубины залегания, геометрические размеры и электромагнитные свойства. Наиболее ответственным этапом интерпретации является геологическое истолкование результатов, которое будет тем достовернее, чем полнее используются не только данные, полученные разными геофизическими методами, но и главным образом вся возможная геолого-гидрогеологическая информация.

Качественная интерпретация. Как известно, в результате электромагнитных зондирований (ЭМЗ) получают кривые зависимости кажущихся сопротивлений ($\rho_k, \rho_T, \rho_\omega, \rho_T$) или (поляризуемостей η_k) от параметров глубинности ($AB/2 = r, T, 2\pi t$). При качественной интерпретации в результате визуального анализа кривых определяют число слоев в разрезе (рис.4.6), типы кривых. Выявленные электрические горизонты сопоставляют с геологическими слоями. По данным площадных ЭМЗ строят карты типов кривых ВЭЗ, иногда абсцисс и ординат экстремумов на кривых. По профильным наблюдениям строят разрезы кажущихся сопротивлений, а по данным ВЭЗ кроме них разрезы кажущихся продольных проводимостей ($S_k = r/\rho_k$) для выявления хорошо проводящих слоев или кажущихся поперечных сопротивлений ($T_k = r/\rho_k$) для выделения плохо проводящих слоев. При построении этих разрезов по вертикали откладывают параметр глубинности, проставляют ρ_k, S_k или T_k и проводят изолинии. Анализ этих материалов позволяет дать общую характеристику и степень изменчивости геоэлектрических разрезов в плане и по глубине. Кривые ЭМЗ на участках, где изолинии на разрезе почти параллельны, не искажены горизонтальными неоднородностями, их используют для количественной интерпретации.

Количественная интерпретация. При количественной интерпретации ЭМЗ получают послойные мощности h_i , сопротивления ρ_i , поляризуемости η_i , и (или) суммарные обобщенные мощности H , продольные проводимости $S = H/\rho_1$ и среднее удельное сопротивление ρ_l , поперечное

сопротивление $T = H\rho_n$ и среднее удельное сопротивление ρ_n . Существуют графоаналитические, палеточные и машинные способы интерпретации ЭМЗ.

1. С помощью графоаналитических способов по асимптотическим и экстремальным значениям кажущихся сопротивлений находят некоторые обобщенные параметры. Например, если к правой ветви кривых ЭМЗ, полученных над опорным горизонтом высокого сопротивления, например кристаллическим фундаментом, провести асимптоты, то по точкам их пересечения ($xS1$, $xS10$, $xS100$) с горизонтальными линиями, ординаты которых y 1; 10; 100 (рис.), можно определить суммарную продольную проводимость толщи по следующим формулам:

где rS , $\rho_k S$, $\rho\sqrt{2\pi t_s} / \rho_{ks} S$, TS , $\rho\omega S$, tS , ρTS - координаты любых точек асимптоты. Существует и ряд других графоаналитических приемов определения различных параметров разреза.

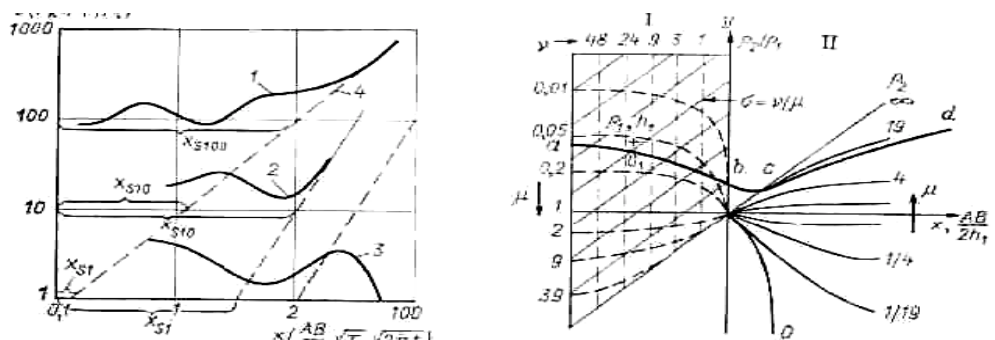


Рис.1 Схема интерпретации кривых ВЭЗ (1), Рис.2 Схема интерпретации полевой МТЗ, (2) ЗСМ (3) методом S (линии 4) кривой ВЭЗ (a, б, с, d) с помощью номограммы (I) палетки (II) типа НА

2. Применяют также палеточные методы интерпретации ЭМЗ. Палетки это набор теоретических кривых. Для разных методов ЭМЗ их рассчитывают с помощью ЭВМ. Процесс количественной интерпретации сводится к совмещению экспериментальной (полевой) кривой, вычерченной на прозрачном бланке, с одной или несколькими теоретическими кривыми из альбома палеток. Разумеется, полевые и теоретические кривые должны быть построены в одинаковых масштабах. Рассмотрим принципы применения палеток на примере интерпретации кривых ВЭЗ. Проще всего интерпретировать двухслойные кривые ВЭЗ. Для этого, соблюдая параллельность осей координат двухслойной палетки и бланка с полевой кривой, совмещают ее с одной из теоретических кривых. Иногда полевая кривая не совпадает ни с одной из теоретических, а располагается между двумя соседними. В этом случае параметры получают путем интерполяции. Индексы сопротивлений и глубин на палетке (крест палетки) отсекают на осях координат полевого бланка сопротивление верхнего слоя $\rho1$ и его мощность $h1$. По модулю совпавшей теоретической кривой $\mu = \rho2/\rho1$, зная $\rho1$, получаем $\rho2 = \mu \rho1$.

При интерпретации трехслойных полевых кривых их совмещают с теоретическими кривыми соответствующих типов и одинаковой формы. Добившись наиболее точного совмещения полевой кривой с теоретической, по индексам на палетке определяют $\rho1$, $h1$, а по параметрам совпавшей

теоретической кривой - модули $v = h2np / h1$, $\mu = \rho2np / \rho1$, $\rho3$. Отсюда легко получить приближенные значения мощности $h2np = v h1$, и примерное сопротивление $\rho2np = \mu \rho1$ второго слоя. При $v > 5$ —10 приближенные значения мало отличаются от истинных, а при $v < 3$ различия могут быть значительными. Многослойные кривые также могут быть проинтерпретированы трехслойными палетками. Правда, чем больше слоев, тем точность интерпретации меньше. В этом случае целесообразно проводить интерпретацию с помощью ЭВМ. Ускоренную интерпретацию кривых ЭМЗ проводят с помощью одной-двух для каждого метода номограмм-палеток, подготовленных В. К. Хмелевским. Они представляют собой комбинацию двухслойной палетки соответствующего ЭМЗ и вспомогательной палетки, которая заменяет вышезалегающие породы слоем с такими эквивалентными мощностью $hЭ$ и сопротивлением $\rhoЭ$, чтобы электромагнитное поле на земной поверхности оставалось одним и тем же по интенсивности и структуре. При интерпретации трехслойной кривой с помощью номограммы-палетки сначала с двухслойной палеткой совмещают левую ветвь (a, b) полевой кривой, оценивают параметр μ , а на бланке проставляют крест палетки $O1$ с координатами $h1, \rho1$ (рис.5.2). Затем с двухслойной палеткой совмещают правую ветвь (c, d), а положение точек $h1, \rho1$ на номограмме дает возможность определить следующие параметры: $v, \mu, \sigma = v/\mu$ (для кривых типа Н и А), $\tau = v\mu$, для кривых типа К и Q, которые и являются искомыми параметрами интерпретируемой полевой кривой. После совмещения правой ветви с двухслойной палеткой на полевой бланк можно перенести второй крест с координатами $\rhoЭ, hЭ$. Эта эквивалентная точка служит для дальнейшей интерпретации кривой ВЭЗ, если число слоев на ней больше трех. Рис.3 Схема интерпретации кривых ВЭЗ (1), МТЗ (2), ЗСМ (3) методом S (линии 4)

Рис.4 Схема интерпретации полевой кривой ВЭЗ (а, б, с, d) с помощью номограммы (I) палетки (II) типа НА

Урок 48

Тема 4.6: *Методы высокочастотного электромагнитного поля (радиоволновые методы).*

План:

1. Методы высокочастотного электромагнитного поля.
2. Распространение радиоволн в горных породах.

МЕТОДЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Методы высокочастотного электромагнитного поля (или радиоволновые) основаны на изучении распространения на Земле электромагнитных полей или волн в диапазоне частот от десятков килогерц до десятков мегагерц. Сюда относят методы: радиоволнового профилирования (или радиокомпарационный метод, радиокип), радиоволнового просвечивания и радиоволнового зондирования.

Изучаются электромагнитные поля создаваемые либо портативными передатчиками, либо вращательными или специального назначения радиостанциями. Измеряются электрическая или

магнитная компоненты электромагнитного поля на поверхности земли, в шахтах и скважинах, принимаемые с помощью электрической или магнитной антенн.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Теория радиоволновых методов базируется на явлениях поглощения электромагнитного поля и индукции, а также эффектах, близких к законам геометрической оптики, — отражении, преломлении дифракции волн, поскольку длина волны в таком диапазоне частот значительно меньше расстояния от источника до точки наблюдения. На характер изучаемых полей существенное влияние оказывают токи смещения, которыми в низкочастотных методах пренебрегают, а к параметрам, определяющим поведение электромагнитного поля, кроме γ и μ добавляется диэлектрическая проницаемость среды ϵ .

Если источником электромагнитного поля являются радиостанции, удаленные от точек наблюдения на расстояния десятки и тысячи километров, то в этих точках изучается поле плоской волны, амплитудные значения электрической и магнитной компонент которой определяются по формулам

$$\vec{E} = E_0 e^{-\gamma r}; \quad \vec{H} = H_0 e^{-\gamma r}. \quad (1)$$

В случае, когда источником поля является специальный передатчик с электрической или магнитной антенной, а наблюдения ведутся на небольших расстояниях (десятки и сотни метров от него), поле этого передатчика соответствует в точках наблюдения полю электрического или магнитного диполя:

$$\vec{E} = E_0 e^{-\gamma r}/r; \quad \vec{H} = H_0 e^{-\gamma r}/r. \quad (2)$$

В том и другом случаях убывание амплитуды компонент электромагнитного поля происходит за счет поглощения энергии средой и определяется выражением $e^{-\gamma r}$, где γ — коэффициент поглощения, определяемый по формуле (3.35), зависящий от частоты, удельной электропроводности, магнитной проницаемости и диэлектрической постоянной. Поглощение энергии увеличивается с увеличением частоты возбуждающего поля и проводимости среды, в которой распространяются радиоволны.

Распространение радиоволн в среде на высоких частотах сопровождается сильными индукционными эффектами — появлением индуцированных токов в проводящих частях разреза и связанных с ними вторичных магнитных полей.

Глубинность высокочастотных методов из-за явления скин-эффекта и поглощения поля невелика — первые десятки метров, в очень высокоомных средах немногим более сотни метров.

В зависимости от выполняемых обязанностей всех работающих группируют в следующие категории: рабочие, специалисты, служащие, младший обслуживающий персонал (МОП), ученики, работники сторожевой и пожарной охраны.

Урок 49 (практика)

Методы высокочастотного электромагнитного поля (радиоволновые методы).

- 1. Полевая аппаратура и оборудование.*
- 2. Метод радиокомпарации.*
- 3. Радиоволновое просвечивание.*
- 4. Радиоволновое зондирование.*

ПОЛЕВАЯ АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ

Аппаратуру высокочастотных методов можно разделить на два типа в зависимости от того, изучаются ли поля дальних радиостанций (метод радиокип) или поля, создаваемые радиопередатчиками, сконструированными специально для геофизических целей (методы

радиоволнового просвечивания и радиоволнового зондирования). В методе радиокип применяют специальные амплитудные измерители — радиоприемники, построенные по принципу прямого усиления и супергетеродинного приема. При работе на средних и длинных волнах применяют полевой измеритель напряженности поля ЦИНП-2 (для диапазонов 150—450 кГц), позволяющий измерять вертикальную и горизонтальную компоненты магнитного поля и угол наклона магнитного вектора к горизонту. Способ измерения, осуществляемый в ПИНП-2, заключается в сравнении (компарировании) измеряемого сигнала с сигналом известным, эталонным, поступающим с генератора измерительного устройства.

При работе на сверхдлинных волнах применяют сверхдлинноволновый радиоприемник СДВР-3 с магнитной рамочной антенной и электрической антенной (электрическим диполем), позволяющий также измерять пространственные компоненты магнитного и электрического поля, углы наклона магнитного поля и элементы эллипса поляризации магнитного поля. Рабочие частоты СДВР-3 10—30 кГц.

Радиоволновое просвечивание и радиоволновое зондирование применяют для работы в скважинах с аппаратурой СРП (СРП-7, СРП-30); а для работы в горных выработках — АЭММ (АЭММ-134, АЭММ-30). В комплекты аппаратуры входят передатчики с электрическими и магнитными антеннами, приемные устройства (приемники) и оборудование (кабели, лебедки и т. п.).

МЕТОД РАДИОКОМПАРАЦИИ

Метод основан на изучении электромагнитных полей дальних радиостанций, работающих в диапазоне сотен килогерц. Электромагнитное поле в точках наблюдения рассматривается как плоская → →

волна, имеющая вертикальную компоненту E и горизонтальную H , расположенные в плоскости, перпендикулярной к направлению

распространения волны. В проводящих частях разреза под действием

→ →

первичного поля E и H возникают вторичные индуцированные токи, вызывающие появление вторичных магнитных полей (рис. 3.25) для вытянутого в направлении распространения волны проводящего пласта больших размеров по падению и простиранию.

Магнитное поле вторичных токов определяется по закону Био-Савара как поле линейного тока, текущего по верхней кромке.

Методика полевых работ заключается в измерении вертикальной и горизонтальной компонент магнитного поля с помощью магнитной антенны и прибора ПИНП или магнитных и электрических составляющих электромагнитного поля магнитной антенной и электрическим приемным диполем с прибором СДВР. Работы проводятся по сети профилей, задаваемых обычно вкrest простирания изучаемых (картируемых) пород. Приемный диполь ориентируют на радиостанции, направление к которым примерно совпадает с преимущественным простиранием проводящих картируемых объектов.

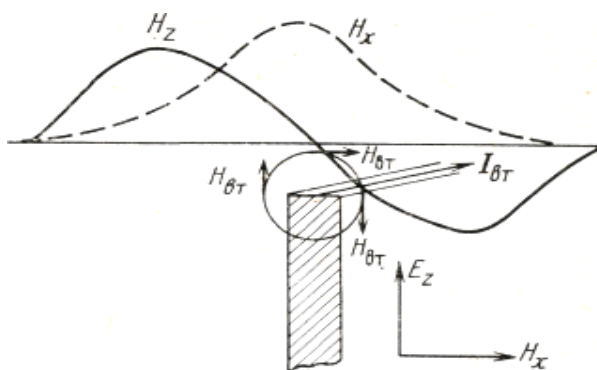


Рис. 1. Возбуждение проводящего вертикального пласта полем дальней радиостанции

На этапе площадных съемок измеряют обычно лишь вертикальную компоненту магнитного поля, другие компоненты и углы наклона векторов к горизонту измеряются при детальнх работах по сгущенной сети наблюдений над аномальными зонами.

Интерпретация результатов полевых наблюдений (в основном качественная) заключается в выделении локальных

аномалий от проводящих геологических объектов, увязке аномалий и аномальных зон с зонами тектонических нарушений, рудными зонами, пластами графитизированных пород. Форма и элементы залегания (направления падения и простирания) объекта оцениваются по форме графиков. В ряде случаев проводится полуколичественная интерпретация — оценка мощности и глубины залегания объекта.

Глубинность метода вследствие поглощения поля на высоких частотах невелика, и поэтому он применяется при поисках неглубоко (первые десятки метров) залегающих руд и геологическом неглубинном картировании под наносами.

Портативная аппаратура позволяет выполнить работы в труднодоступных районах со сложным рельефом и высокой заселенностью. Известен подземный вариант метода радиокип, применяющийся для определения общих контуров выявленного месторождения, и аэровариант, применяющийся при поисково-картировочных съемках масштабов 1 : 10000—1 : 50000.

РАДИОВОЛНОВОЕ ПРОСВЕЧИВАНИЕ

Метод основан на поглощении радиоволн горными породами и осложнен явлениями преломления и дифракции. Он предназначен для обнаружения в пространстве между скважинами и горными выработками проводящих рудных тел, не выявленных в процессе разведки. Если, например, такое тело находится между скважинами А и В, то, поместив в скважину А неподвижный передатчик Т и передвигая вдоль скважины В приемник Я, получим за проводящим телом уменьшение измеряемого сигнала, связанное с поглощением поля рудным телом. Это явление лежит в основе всех модификаций радиоволнового просвечивания, основными из которых являются шахтное радиопросвечивание или просвечивание между горными выработками или между выработкой и земной поверхностью и скважинное радиопросвечивание — просвечивание между скважинами (или скважиной и земной поверхностью).

Методика работ состоит в том, что в одной из горных выработок или скважин помещают передатчик с электрической или магнитной антенной, излучающей электромагнитные волны, а в другую — приемник — дипольную антенну или экранированную приемную рамку, с помощью которой регистрируют напряженность электромагнитного поля. Приемник перемещают вдоль скважины, горной выработки или земной поверхности, изменяя взаимную ориентацию генератор—приемник. Передатчик может оставаться некоторое время неподвижным, пока приемное устройство движется на некотором интервале, а затем переместиться на следующую точку и там оставаться до тех пор, пока с приемным устройством не исследуют следующий интервал (шаговый или веерный способ). Для уменьшения помех при шаговом способе работы часто неподвижно устанавливают приемник, а генераторную антенну передвигают вдоль ствола скважины. Можно передвигать приемник и передатчик параллельно вдоль скважин или горных выработок (способ параллельного перемещения). Шаг измерений зависит от детальности исследований (1—10 м). Точка записи относится к приемной установке. Перед началом работ на участках горных выработок или скважин, свободных от рудных тел (безаномальные участки), изучают зависимость напряженности поля от расстояния К между приемником и передатчиком. Эта зависимость определяется выражением

$$\vec{E} = E_0 (e^{-bR} * /R) k, \quad (3.50)$$

где k — коэффициент, зависящий от взаимной ориентации приемника и передатчика; b — коэффициент поглощения, зависящий от частоты и физических параметров среды.

Полученные данные используют при интерпретации. Результаты наблюдений представляют в виде графиков и лучевых диаграмм (рис. 2).

Интерпретация результатов полевых наблюдений проводится в основном качественно — определяют местоположение и конфигурацию объекта, вызвавшего поглощение поля — «тень». Строят графики наблюдений и сравнивают с графиками нормального поля,

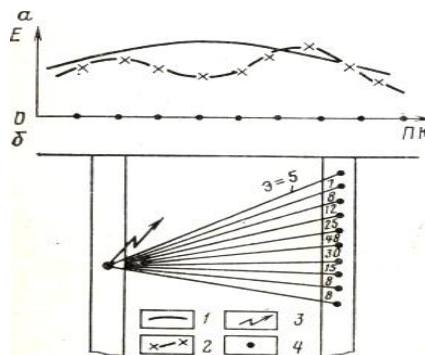


Рис. 2. Интерпретация в методе РВП.

1 — график нормального поля;
2 — наблюдаемый график; 3 —
точка стоянки генератора; 4 —

определенными на основе изученной ранее зависимости напряженности поля от расстояния и проведенных расчетов. Отклонениями формы наблюдаемой кривой от нормального поля отмечают аномальные участки. Другой способ интерпретации основан на предположении о том, что радиоволны от приемника к передатчику распространяются по прямолинейным направлениям. Строят лучевые диаграммы, для чего на план расположения скважин или горных выработок наносят точки стоянки излучателя (передатчика), и точки, по которым перемещался приемник (точки наблюдения), и соединяют прямыми лучами. Затем для каждой стоянки приемника вычисляют коэффициент экранирования $\mathcal{E} = Eu/E$, где E — наблюдаемое значение напряженности поля, Eu — напряженность вычисленного нормального поля. Коэффициент экранирования \mathcal{E} наносят на лучи лучевой диаграммы. Чтобы определить примерное местоположение объекта, вызвавшего

поглощение поля, следует выделить краевые лучи с резким увеличением коэффициента \mathcal{E} (рис. 3.26, б).

Для успешного применения метода необходима контрастность по значениям удельного сопротивления вмещающих горных пород и рудных тел.

РАДИОВОЛНОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Методы радиоволнового зондирования применяются при неглубинных исследованиях (до 50 м) разрезов в вертикальном направлении в основном при инженерно-геологическом и гидрогеологическом картировании и изучении мерзлоты. К ним относятся: радиоволновое интерференционное зондирование, импульсный метод радиолокации, иногда вертикальные индукционные зондирования.

Радиоволновое интерференционное зондирование (РВЗ) основано на изучении явлений интерференции прямой волны и отраженных радиоволн от горизонтов с различными параметрами μ , ϵ , σ . Диапазон частот — от 0,5 до 20 МГц. Источник возбуждения — горизонтальная антенна серийной портативной радиостанции. Измеряется магнитная компонента электромагнитного поля с помощью горизонтальной приемной рамочной антенны на разных частотах при 1—2 изменениях разноса (расстояния между генераторной и приемной антеннами). Строят графики зависимости принимаемого сигнала от частоты и интерпретируют с помощью специальных палеток, по которым определяют число и мощность отдельных слоев верхней части разреза.

Импульсный метод радиолокации основан на измерении времени запаздывания отражающего сигнала по отношению к моменту излучения и применяется в основном в гляциологии.

Контрольные вопросы.

1. На чем основаны методы высокочастотного электромагнитного поля?
2. Опишите методику проведения метода радиокомпарации?
3. На чем основан метод радиоволнового просвечивания?
4. Опишите методику проведения метода радиоволнового зондирования?

РАЗДЕЛ 5.

Сейсморазведка.

Урок 50

Тема 5.1: Физико - геологические основы сейсморазведки.

План:

1. *Сущность и назначение сейсморазведки*
2. *Основы теории упругости.*

Сейсморазведка – геофизический метод изучения геологических объектов с помощью упругих колебаний - сейсмических волн. Этот метод основан на том, что скорость распространения и другие характеристики сейсмических волн зависят от свойств геологической среды, в которой они распространяются: от состава горных пород, их пористости, трещиноватости, флюидонасыщенности, напряженного состояния и температурных условий залегания. Геологическая среда характеризуется неравномерным распределением этих свойств, т.е. неоднородностью, что проявляется в отражении, преломлении, рефракции, дифракции и поглощении сейсмических волн. Изучение отраженных, преломленных, рефрагированных и других типов волн с целью выявления пространственного распределения и количественной оценки упругих и других свойств геологической среды - составляет содержание методов сейсморазведки и определяет их разнообразие.

Физические основы сейсморазведки

Основы теории упругости

Теория распространения упругих (сейсмических) волн базируется на теории упругости, так как геологические среды в первом приближении можно считать упругими. Поэтому напомним основные определения и законы теории упругости применительно к однородным изотропным средам.

Установлено, что под действием внешних нагрузок жидкие и газообразные тела изменяют свой объем и форму, деформируются. При деформации частицы тела смещаются относительно друг друга и исходного положения. Величина и направление перемещений определяются величиной и характером внешних сил и свойствами тела.

При снятии нагрузки частицы тела могут вернуться или не вернуться в исходное положение. В первом случае говорят об обратимых, а во втором о необратимых деформациях. Тела, в которых развиваются только обратимые деформации, называют упругими. Тела, в которых развиваются только необратимые деформации, —пластичными, неупругими. Величина деформаций зависит от величины и характера внешних напря-

жений—сил, действующих на единицу площади.

При деформации в упругом теле возникают внутренние напряжения, обусловленные упругим взаимодействием между частицами тела.

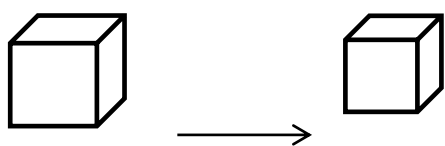
Деформациями называют всякое изменение формы, размера и т.д. тел под действием приложенных сил.

Виды деформаций за счет приложенных сил делятся на два основных вида деформаций:

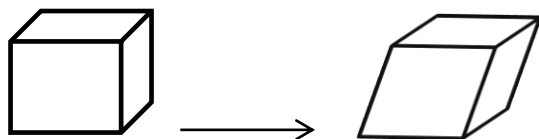
а) Деформаций объема

б) Деформаций сдвига

а) Объемная деформация – форма сохраняется, а объем изменяется.



б) Деформация сдвига – объем остается одинаковым, а форма меняется.



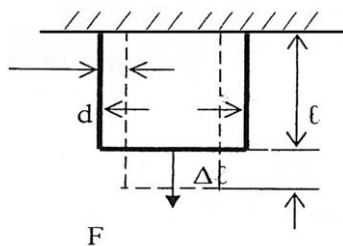
Напряжение – это внутренняя сила действующая на единицу сечения тела и уравновешивающая действие внутренней силы. Напряжение как внутреннюю силу можно разложить на отдельные составляющие.

Закон Гука показывает взаимосвязи между напряжением и величиной деформаций (продольной деформаций).

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$

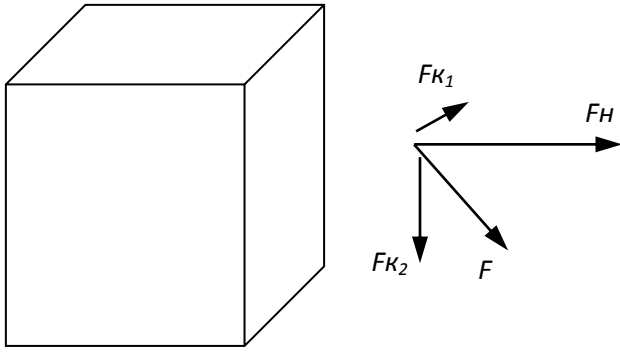
$$\frac{F}{S} \text{ -напряжение}$$

Δd



E -модуль Юнга(модуль продольного растяжения)

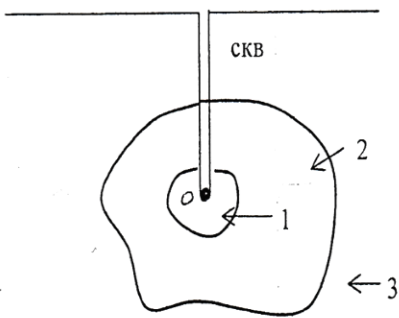
$\frac{\Delta l}{l}$ – относительное удлинение (сжатие) тела.



$$\mu = \frac{\Delta d}{d} \text{ — коэффициент Пуассона}$$

E — изменяется в пределах от 1,15 до 18-20 единиц.

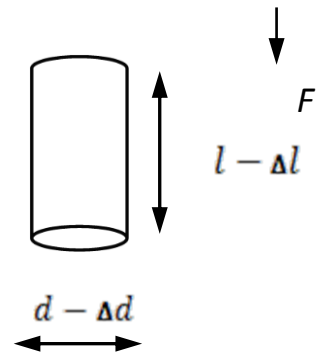
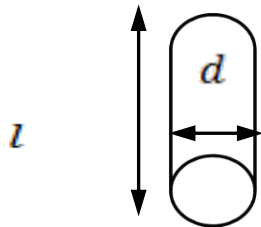
μ — изменяется от 0,2 до 0,35.



1 — зона разрушения горных пород

2 — зона остаточной деформации

3 — зона упругой деформации



Закон Гука соответствует только для абсолютно упругих тел.

Геологическую среду при малых деформациях можно считать упругой средой, в которой могут возникать упругие волны, т.к. рассматривают два вида деформаций: объема и сдвига, соответственно геологической среде могут возникать продольные и поперечные волны.



Контрольные вопросы.

1. Деформация. Деформация объема и сдвига?
2. Упругая (остаточная) деформация?
3. Что такое напряжение, его составляющие?
4. Закон Гука, связь между напряжением и деформаций?

Урок 51

Законы отражения и преломления.

План

1. Продольная и поперечная волна
2. Принципы Гюйгенса-Френеля
3. Принцип Ферма, суперпозиций

Продольная волна— это перемещающаяся в среде зоны растяжения и сжатия с определенной скоростью, в которой частицы среды колеблются по круговым или эллиптическим орбитам вдоль действия внешней силы.

Поперечная волна представляет собой также перемещающиеся в среде зоны растяжения и сжатия, в которых частицы среды колеблются по круговым или эллиптическим орбитам поперек действия внешней силы.

Можно вычислить скорости этих волн:

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\sigma(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad \text{продольная волна}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\sigma} \cdot \frac{1}{2(1-\mu)}} \quad \text{поперечная волна}$$

σ -плотность среды;

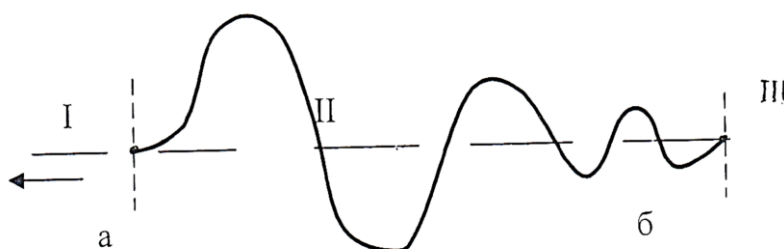
μ -коэффициент Пуассона;

E -модуль Юнга.

Скорость V_p примерно 8-4раза больше скорости V_s : $\frac{V_p}{V_s} \approx \sqrt{2}$

Фронт волны передний – это поверхность ограничивающая 2 области среды: первый где волна вызвала колебания частиц среды, а второй еще не достигла.

Фронт волны задний – это поверхность ограничивающая 2 области среды: первый где происходят колебания, а второй где они уже прекратились.



направление волны

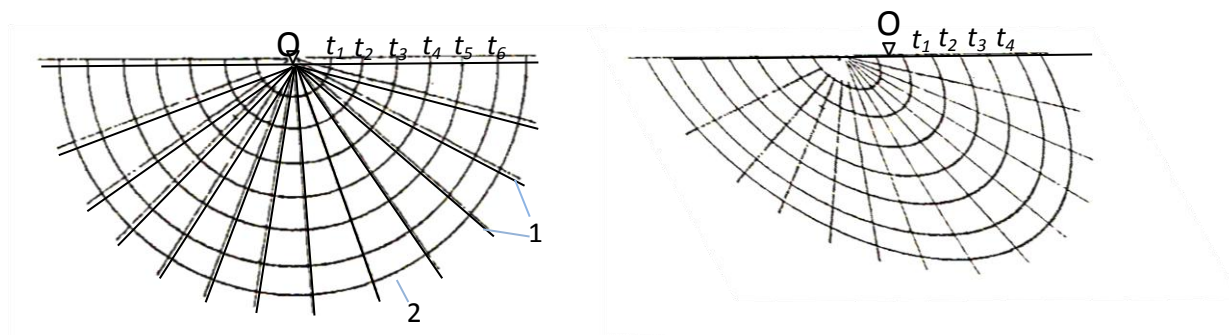
Фронт передний и задний меняют свое положение в пространстве вовлекая в процесс другие частицы среды.

Каждому фронту волны можно отнести время. Например: t_1, t_2, t_3 , тогда эти поверхности называются изохронами.

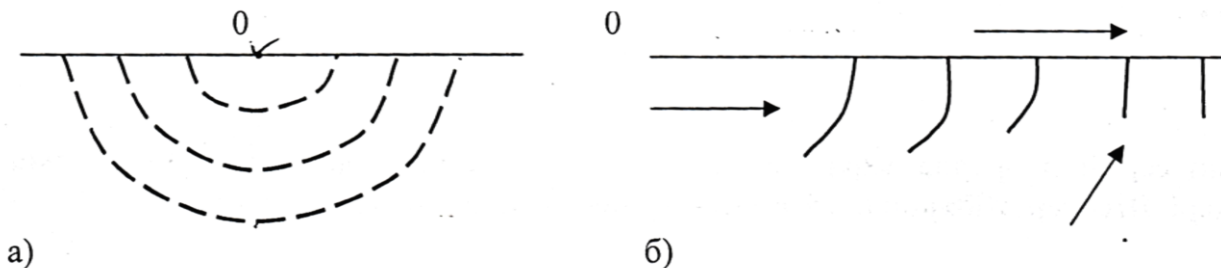
Изохроны – это поверхность равных времен. Совокупность изохрон принадлежащих одной волне называется семейством изохрон. Область среды в которой определено время пробега сейсмической волны называются полем времени.

Лучи – это линий исходящие из источника, вдоль которых распространяется волна.

Лучевой диаграммой называют совокупность лучей и изохрон от одного источника. Посредством лучевой диаграммы изображается распространение сейсмической волны в пространстве.



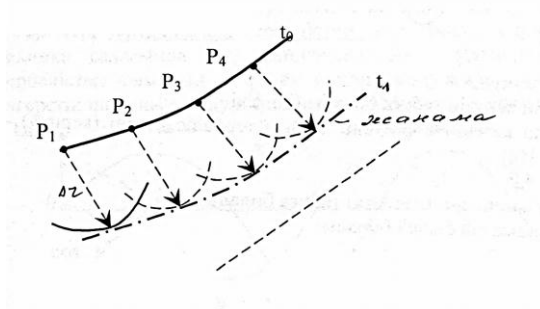
Сейсмические волны по формуле могут быть сферические и плоские.



Вблизи источника наблюдается сферическая волна, а при удалений плоская.

1. **Принципы Гюйгенса-Френеля.** Данный принцип гласит о том, что каждую точку на фронте волны можно рассматривать как самостоятельные элементарные источники колебания. Поэтому зная положение фронта волны в данный момент времени можно определить его положение в любой другой момент времени.

Δr – засечки



$$\Delta r = v * \Delta t$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$

$$t_3 = t_2 + \Delta t$$

Принцип Ферма – согласно этого принципа, волна распространяется вдоль лучей, т.е. по пути наикратчайшего времени. На основании этого можно определить форму лучей, они прямолинейны в однородной среде и искривляются в неоднородной среде.

Принципы Суперпозиций (наложения)– если в некоторой области среды одновременно распространяются две и более волны, то каждая из них движется как будто бы другой волны не существуют.

Этот принцип очень важен, т.к. сейсмический канал действует как линейная система (она реагирует на все колебания, которые поступают на вход этой системы) при этом образуются зоны интерференций волн.

Контрольные вопросы.

1. В каких пределах в горных породах изменяется E и μ ?
2. Относительное удлинение и сжатие тела?
3. Абсолютное удлинение и сжатие тела?
4. Что такое модуль Юнга – E ?
5. Что такое коэффициент Пуассона – μ ?

Урок 52

Тема 5.2: Сейсморазведочная аппаратура и оборудование.

План:

1. Источники упругих волн.
2. Приемники упругих волн

Сейморазведочная аппаратура

В техническом отношении сейморазведка является наиболее сложным видом геофизических исследований. Это связано, в основном, с двумя обстоятельствами: в каждой точке наблюдения на профиле необходимо возбуждать достаточно интенсивные колебания, обеспечивающие глубинность разведки в несколько километров, и при каждом положении пункта возбуждения необходимо вести прием упругих волн, как правило, одновременно во многих пунктах наблюдения (от 24 до 96 и более).

Собственно *сейсмическая аппаратура* включает в себя: *источник* (источники) упругих волн; устройства, воспринимающие упругие колебания и преобразующие их в электрические, — *сейсмоприемники* в наземной сейморазведке и пьезоприемники (гидрофоны) в морской; *сеймостанцию*, представляющую собой многоканальный регистратор, управляющий включением источника и обеспечивающий точный отсчет времени от момента включения источника до конца записи упругих колебаний. Современные сеймостанции имеют в своем составе миникомпьютеры и периферийные устройства объединенные в единый аппаратный комплекс.

Источники упругих волн

Источником упругих волн может являться любое устройство, позволяющее в заданный момент времени осуществить механическое воздействие на незамкнутую или замкнутую поверхность упругой среды. Простейшим видом источника упругих волн является молот, которым ударяют по поверхности земли или стенке горной выработки. Источник упругих волн в общем случае состоит из трех элементов: накопителя энергии (механической, химической, электрической, тепловой); устройства, позволяющего в заданный момент времени преобразовать накопленную энергию в механическое воздействие на упругое тело; рабочего органа, с помощью которого осуществляют это механическое воздействие. Реальные источники воздействуют на площадки упругого тела, размеры которых не превышают в большинстве случаев 1—2 м².

По характеру поверхности, на которую воздействуют механические силы, все источники можно разделить на две группы: погружные источники, действующие на замкнутую поверхность внутри среды; поверхностные, действующие на разомкнутую поверхность (на свободную поверхность земли, стенку горной выработки, шурфа скважины). Погружные источники генерируют преимущественно продольные волны,

поверхностные источники — одновременно продольные и поперечные волны. По вели-

чине накапливаемой энергии источники подразделяют на маломощные—энергия изменяется от десятков до 10^4 Дж, средней мощности—от 10^4 до 10^6 Дж и мощные—от 10^6 до 10^9 Дж и более. По продолжительности воздействия на упругое тело все источники также разделяют на импульсные, время воздействия которых на среду изменяется от $0,1 \cdot 10^{-3}$ до 0,1 с, и квазинепрерывные, время воздействия которых изменяется от 2—3 до 20 с и более.

В наземной сейсморазведке в настоящее время наиболее широко применяют три вида источников: конденсированные взрывчатые вещества (ВВ); установки газовой детонации;

вибросейсмические платформы. Меньшее применение имеют устройства, использующие свободно падающий груз.

Источники на основе ВВ используют в основном в погружном варианте. Заряд

массой от 100 г до нескольких килограммов (цилиндрические или призматические заряды) помещают в скважину, наполненную водой. Заряд снабжают электродетонатором, подрыв которого по команде с сейсмостанции в заданный момент времени обеспечивает взрыв всего заряда. Образующийся при взрыве газ имеет высокую температуру и давление в сотни и тысячи мегапаскалей. Под действием этого давления стенки

полости, образующейся при взрыве, смещаются, воздействуя на окружающую среду.

Использование ВВ при взрыве на свободной поверхности резко снижает эффективность возбуждения и применяется в исключительных случаях.

Установки газовой детонации (УГД) используют для возбуждения упругих волн

газовзрывную смесь, заполняющую цилиндр с подвижной нижней стенкой — поршнем

или диафрагмой. Такой цилиндр прижимают к поверхности автомашиной, на которой

смонтирован источник. В заданный момент времени по команде с сейсмостанции газ

поджигают и происходит его взрывообразное сгорание, при котором объем газа резко

возрастает. Газ под большим давлением резко давит на поршень или мембрану и, поскольку движение цилиндра вверх затруднено инертной массой автомобиля, давление

передается на грунт в место его контакта с рабочим органом газовзрывного источника.

Источники типа «вибросейс» возбуждают квазинепрерывные колебания. Генерация волн обеспечивается за счет знакопеременных сил, действующих по нормали к поверхности контакта. Вибросейсмический источник представляет собой металлическую платформу, прижимающуюся к поверхности земли автомобилем, на котором смонтирована вся установка. Масса такой установки достигает 17 т, что обеспечивает

хороший контакт платформы с грунтом. С помощью гидравлического привода в рабочий цилиндр платформы нагнетают масло так же, как это происходит в гидравлическом домкрате, и шток цилиндра заставляет смещаться прикрепленную к нему платформу. Объем масла в рабочем цилиндре то увеличивают, то уменьшают, при этом платформа либо давит на грунт, либо отжимается деформированным грунтом вверх, и нагрузка на

грунт изменяется относительно статической, возникающей под действием массы автомобиля. При этом период сжатия — разрежения (движение вниз-вверх) плавно изменяют — от высокой частоты к низкой или наоборот. Время действия источника типа «вибросейс» (интервал времени от начала колебаний платформы до окончания) составляет 10—20 с, а частоту, с которой движется платформа, изменяют от нескольких до 100 Гц.

Источник типа падающего груза используют в основном при разведке, не тре-

бующей большой глубинности, чаще всего при решении инженерно-геологических задач. Такой источник представляет собой подъемник, который поднимает груз массой несколько сотен килограммов на высоту в 6—8 м. По команде с сейсмостанции держатель груза раскрывается и груз начинает падать. Момент его касания земли отмечается специальным устройством и передается как отметка момента возбуждения на сейсмостанцию. При сейсмических работах на акваториях наиболее широко применяют пневматические и электроискровые источники.

Пневматические источники представляют собой толстостенные камеры, в которые под давлением в 10—15 МПа закачивают воздух. Накапливаемая таким образом энергия определяется давлением воздуха и объемом камеры (обычно 0,5 — 30 л). С помощью специальных клапанов по команде с сейсмостанции камера вскрывается, и воздух с большой скоростью выталкивается из нее в воду. Образуется воздушная полость, стенки которой движутся с большой скоростью, создавая избыточное (относительно гидростатического) давление в примыкающем к ней слое жидкости. Пневматические источники (пневмопушки) относятся к источникам средней мощности. Запасаемая в них энергия не превышает 200—300 кДж.

Для эффективного использования тех или других источников их необходимо погружать в водную толщу на глубину порядка, длины волны центральной частоты в спектре возбуждаемого сигнала. В силу того, что при работе на акваториях источник погружают в водную толщу, являющуюся по сравнению с породами верхней части разреза практически идеально-упругой и идеально-однородной средой, идентичность возбуждаемых колебаний оказывается значительно более высокой, чем у наземных источников.

Погружные и поверхностные источники имеют свои преимущества и недостатки.

Преимуществом погружных является то, что они практически не возбуждают поверхностные волны и обладают высоким коэффициентом полезного действия. Для таких источников можно обеспечить достаточно хорошие условия возбуждения, помещая их в скважинах на нужной глубине в консолидированных породах. Недостатком является то, что при использовании погружных источников необходимо вести бурение, что удорожает разведку, увеличивает время ее проведения и возможно далеко не всегда. Преимуществом поверхностных источников является то, что при их использовании отпадает надобность в бурении скважин, нагрузки на грунт при их

действию относительно невелики и поэтому их можно использовать при работах вблизи населенных пунктов и

промышленных объектов, включая городские территории. Недостатком является более низкий, чем у погружных, коэффициент полезного действия, зависимость интенсивности и формы возбуждаемых волн от условий возбуждения — строения и свойств грунта у поверхности земли, высокий уровень возбуждаемых такими источниками поверхностных волн.

Приемники упругих волн

В наземной сейсморазведке наблюдения ведут в большинстве случаев на свобод-

ной поверхности земли. Приход упругих волн к поверхности вызывает ее движение, и это движение необходимо воспринять и преобразовать в изменение электрического напряжения. Преобразование механических колебаний в электрическое напряжение осуществляют с помощью электродинамического устройства, представляющего собой инертную массу (якорь), подвешенную на пружине, которая, в свою очередь, жестко связана с корпусом приемника. При движении корпуса инертная масса стремится остаться в положении покоя, что вызывает растяжение или сжатие пружины. В качестве инертной массы используют цилиндрическую катушку индуктивности, витки которой пронизываются полем постоянного магнита, вмонтированного в корпус приемника.

Установленный на грунт сейсмоприемник совершает колебания в такт с колебаниями грунта, корпус смещается относительно катушки, и за счет этого изменяется магнитный поток, проходящий через ее витки. На зажимах катушки наводится ЭДС, пропорциональная по закону индукции скорости смещения корпуса сейсмоприемника относительно катушки. Поскольку перемещение поверхности есть вектор, можно отдельно регистрировать вертикальную и горизонтальную его составляющие. Для этого сейсмоприемники конструируют так, чтобы катушка могла смещаться только по вертикали или только по горизонтали. Для улучшения контакта сейсмоприемника с почвой на нижнем его торце устанавливают заостренный стержень, заглубляемый в грунт. Свойства сейсмоприемника как электромеханического преобразователя определяются его частотной характеристикой и чувствительностью. *Частотная характеристика* показывает, как изменяется напряжение на выходе сейсмоприемника в зависимости от частоты колебаний почвы, если скорость смещения задается в виде $U(t) = U_0 \cdot \sin 2\pi ft$, где f — частота; U_0 — амплитуда скорости смещения. Образующийся при использовании сейсмоприемников жгут проводов — многопроводной кабель — называют *сейсмодоской*. Длина сейсмодоски может достигать 3 км и более. Частотные характеристики сейсмоприемников определяют лишь их потенциальные возможности. Реальный процесс преобразования зависит от условий установки, от силы сцепления сейсмоприемника с грунтом и упругих свойств грунта.

При сейсмической разведке на акваториях сложно или физически невозможно установить сейсмоприемники на дно. Упругие колебания в жидкости создают в ней избыточное относительно гидростатического давление. Если поместить в воде пустотелый герметичный цилиндр или шар, то приход волны будет отмечаться сжатием или растяжением, увеличением или уменьшением давления на его стенки. Из курса физики известно, что существует группа веществ, в которых под действием давления образуются заряды. Такие вещества называются *пьезоэлектриками*.

Контрольные вопросы.

1. Что входит в состав сейсморазведочной аппаратуры?
2. Из каких элементов состоят источники упругих волн?
3. Типы приемников упругих волн?
4. Характеристики сейсмоприемников?

Урок 53 (практика)

Тема 5.2: Сейсморазведочная аппаратура и оборудование.

План:

1. Сейсмостанция.
2. Сейсмоприемник.

1. Регистрация сейсмических колебаний.

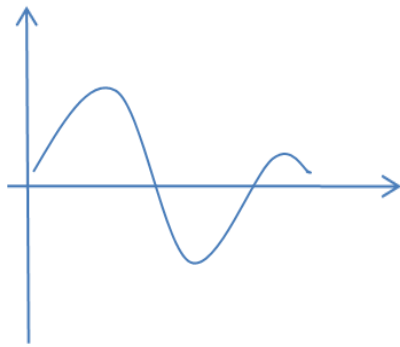
Полевая регистрация сейсмических колебаний производится одновременно во многих точках профиля или на площади наблюдений с помощью многоканальных *сейсмических станций*.

Сейсмические станции имеют 24, 48, и 96 каналов, что позволяет одновременно регистрировать колебания в 24, 48 или 96 точках наблюдений.

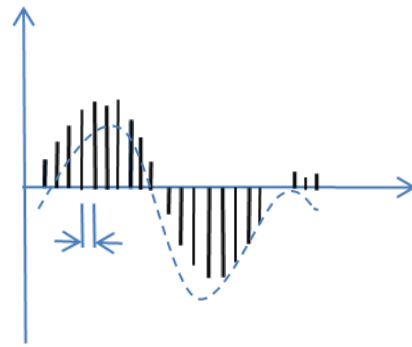
Сейсмические колебания записываются на магнитную ленту (магнитная запись). Участок магнитной ленты, занятый записями, называют **магнитограммой**. С целью контроля качества полевых магнитограмм в поле на сейсмостанции предусмотрена возможность видеть сейсмические колебания на бумажной ленте или на экране электронного устройства. Бумажная лента с записью называется **сейсмограммой**.

Запись сейсмических колебаний на магнитной ленте осуществляется сейсморегистрирующим каналом. Каждый отдельный **сейсморегистрирующий канал** состоит из сейсмоприемника, сейсмического усилителя и записывающего устройства. **Сеймовоспроизводящий канал** состоит из считывающего устройства, усилителя воспроизведения колебаний и устройства визуализаций сейсмических колебаний.

Запись в аналоговой форме производится в виде непрерывной кривой, отражающей изменение амплитуды колебаний во времени.



а Аналоговая форма



Цифровая форма

Запись в **цифровой форме** представляет собой последовательности чисел, каждое из которых, в двоичной коде определяют мгновенное значение сигнала в некоторый момент времени.

2. Сейсмоприемники, усилители, регистраторы.

Сейсмические волны, распространяющиеся в упругой среде, передают смещение частичек, как внутри самой среды, так и на ее поверхности. Эти смещения фиксируются специальными приборами **сейсмоприемниками**, установленными на поверхности среды или в скважине.

С выходов сейсмоприемников сейсмические колебания в виде электрических напряжений поступают на **электронные усилители**.

Различие частотных спектров полезных волн и помех позволяет ослаблять помехи средствами частотной фильтраций.

Частотная фильтрация осуществляется с помощью встроенных в усилитель фильтров **верхних (ФВЧ)** и **нижних (ФНЧ)** частот.

3. Взрывные и невзрывные источники возбуждения.

При применении взрывных источников заряды твердого, ВВ помещают в специальные пробуренные на профилях наблюдений неглубокие скважины или шурфы.

Вибросейсмический источник создает упругие колебания в земле с помощью специального вибратора, излучающего в течение длительного времени (10-20с) синусоидальные колебания.

Регистрацию сейсмических колебаний производят с помощью многоканальных сейсмостанций.

Контрольные вопросы

1. Как проводится регистрация сейсмических колебаний?
2. Сейсмоприемники, усилители, регистраторы – назначение?
3. Взрывные и невзрывные источники возбуждения?

Урок 54

Тема 5.3: Методика и техника проведения сейсморазведочных работ.

План:

1. Методика и системы наблюдений.
2. Методика и системы наблюдений в методе отраженных волн.

Методика и системы наблюдений

Совокупность приемов, обеспечивающих оптимальные условия для реализации возможностей того или иного метода сейсмической разведки, называют методикой.

Расположение источника относительно приемной расстановки (сейсмокося, пьезокося) и способы перемещения ее и пункта возбуждения на поверхности наблюдений определяются системой наблюдений.

В наземной и морской сейсморазведке информацию о распределении скорости в изучаемой среде можно получить только путем изучения зависимости времени прихода волн от расстояния между источником и расположенными на поверхности приемниками. Возможности, которые открываются при наблюдении на земной поверхности, выявляются при решении прямых кинематических задач соответствующих методов.

Методика и системы наблюдений в методе отраженных волн.

В методе отраженных волн основную информацию извлекают из годографа отраженных волн. Получение годографа возможно только тогда, когда на сейсмограмме надежно выделяются волны, отраженные от соответствующей границы. Для этого необходимо следующее:

- а) интенсивность источника должна быть такой, чтобы отраженные от всех интересующих границ, волны значительно превышали уровень естественных помех;
- б) расстояние между приемниками не должно превышать величину, при которой можно распознавать волны, отраженные от одной и той же границы;
- в) длина приемной расстановки (длина годографа) должна позволять уверенно определять $v\Delta t$;
- г) шаг наблюдений (расстояние, на которое смещают всю измерительную уста-

новку вдоль профиля) должен обеспечивать непрерывность прослеживания целевых горизонтов на всей изучаемой площади;

д) соблюдение всех условий, предъявляемых к сейсмическим данным в процессе их обработки.

Выбор типа источника (поверхностный или погружной) определяется условиями проведения работ. Достичь необходимой интенсивности при этом можно путем группирования однотипных источников. Погружные источники, использующие ВВ, заглубляют под кровлю рыхлых отложений на такую глубину, чтобы значительно ослабить поверхностные волны. Обычно глубина заложения заряда составляет 10—15 м. Величину заряда выбирают в процессе опытных работ.

Для приема упругих волн используют вертикальные сейсмоприемники для МОВ на продольных волнах и горизонтальные—на поперечных SV-волнах. Это обусловливается тем, что в большинстве случаев верхняя часть разреза представлена рыхлыми отложениями мощностью от нескольких до 30—50 м.

Скорость продольных волн в этой зоне изменяется от 300 до 800 м/с. Лучи отраженных волн при преломлении на подошве ЗМС идут почти вертикально. Поэтому вектор смещения продольных волн также направлен почти вертикально, а поперечных SV-волн—горизонтально вдоль профиля. Таким образом, вертикальные сейсмоприемники будут реагировать преимущественно на продольные волны, а горизонтальные — на поперечные SV-волны.

Расстояние между пунктами приема Δx выбирают равным 6—12 м при детальном изучении верхней части разреза до глубин не более 500 м и 25—50 м при разведке на глубинах более 500 м. При таком шаге наблюдений разность времен прихода отраженных от одного и того же горизонта волн изменяется от долей миллисекунды при малых удалениях приемника от источника до нескольких миллисекунд для наиболее удаленных пар. Принимается, что допустимый сдвиг не должен превышать половины видимого периода регистрируемых импульсов, следовательно, $\Delta x < v \cdot T_{\text{видл}}/2$.

Длину приемной расстановки в методе ОПВ определяют как $x_m = (p - 1) \Delta x$ (где p —число каналов) и выбирают из условия, что для наиболее глубокого целевого горизонта разность $t(x_m) - t(0)$ должна составлять не менее 30—50 мс. По профилю измерительную установку обычно передвигают с шагом $(0,3 - 0,5) x_m$. Расстояния между профилями на исследуемой площади выбирают, исходя из масштаба съемки. Они могут изменяться от нескольких десятков метров при детальном изучении до 500—1000 м и более.

Наблюдения ведут по схеме центральной или фланговой расстановки. В первом

случае пункт возбуждения всегда располагают в центре приемной расстановки — получают две ветви годографа. Во втором — пункт возбуждения удаляют от начала приемной расстановки и располагают на фланге, левом или правом относительно движения вдоль профиля. Длина годографа при этом составляет км. Расстояние между началом приемной расстановки и пунктом возбуждения (вынос) выбирают опытным путем. Оно изменяется от десятков до нескольких сотен метров. При этом получают односторонние годографы.

Контрольные вопросы.

1. Методика и системы наблюдений в методе отраженных волн.
2. Виды расстановок.
3. Выбор величины заряда.

Урок 55

Тема 5.3: Методика и техника проведения работ методом преломленных волн.

План:

1. Метод преломленных волн.
2. Метод общей глубинной точки.

Системы наблюдений в МПВ.

Так как вблизи пункта возбуждения головные преломленные волны отсутствуют, то система наблюдений МПВ должна строиться так, чтобы ближайший к пункту взрыва сейсмоприемник был установлен на некотором расстоянии, сравнимом с предполагаемой глубиной залегания преломляющей границы. Уверенная интерпретация данных МПВ возможна лишь тогда, когда по линии профиля можно построить по крайней мере два годографа, полученных из разных пунктов возбуждения (ПВ). Поэтому система наблюдения строится так, чтобы можно было построить встречные, когда годографы получаются в интервале между двумя ПВ, или нагоняющие годографы, когда они строятся из последовательно расположенных ПВ. Нагоняющие годографы от одной и той же плоской границы параллельны, поэтому по ним можно строить сводные годографы путем параллельных смещений частных годографов.

Обычно применяются полные корреляционные системы наблюдений, обеспечивающие непрерывное прослеживание преломленных волн вдоль профиля наблюдений. В методе МПВ используются системы непрерывного профилирования: через один, два или три интервала. В простых геологических условиях выбирают неполные системы наблюдений, когда волны от одной границы выделяются не путем непрерывной корреляции, а путем выявления преломляющих границ на отдельных участках изучаемых профилей. Неполные системы применяются при постановке сейсмических зондирований.

Расстояние между приемниками в МПВ меняется от 10 до 100 м, а при детальных инженерно-геологических исследованиях - от 1 - 2 до 5 - 10 м. Преломленные волны отличаются пониженным спектром частот, так как из-за большого удаления от ПВ волны высоких частот поглощаются.

Поэтому, работая на низкочастотных фильтрациях, можно избавиться от отраженных, прямых и других волн.

Годограф преломленной волны для наклонной плоской границы в прямоугольных координатах (x , t) — это полупрямая, выходящая из точки с координатами (x_n , t_n), под углом θ к оси ОХ.

При проведении работ по методу преломленных волн используют системы наблюдений, обеспечивающие надежное распознавание волн и их прослеживание по всей исследуемой площади, что достигается при наблюдениях по системе встречных или нагоняющих годографов. При получении встречных годографов в каждой позиции приемной расстановки возбуждение проводят с правого и левого флангов, и затем всю измерительную установку перемещают по профилю с некоторым шагом. При получении нагоняющих годографов возбуждение проводят только с одного фланга, после чего измерительную установку также перемещают вдоль профиля.

Замечательной особенностью метода преломленных волн является возможность при залегании слоистой толщи на полупространстве или однородном слое большой мощности преломленную от подошвы этой толщи волну наблюдать на таком расстоянии от источника, при котором она приходит к поверхности раньше всех других волн (метод первых вступлений). Это свойство преломленных волн широко используют при решении инженерно-геологических и гидрогеологических задач, когда, например, необходимо найти положение границы, разделяющей рыхлые и консолидированные отложения или сухие и водонасыщенные.

Контрольные вопросы.

1. Методика и системы наблюдений в методе преломленных волн.
2. Системы наблюдений в методе МПВ.
3. Выбор расстояния между приемниками.

Урок 56 (практика)

Тема 5.3: Методика и техника проведения сейсморазведочных работ.

План

1. Методика и система наблюдений в полевой сейсморазведке
2. Выполнение индивидуального задания.

1. Общая характеристика методики полевой сейсморазведки.

Под методикой полевой (наземной) сейсморазведки понимается выбор вида, метода, типа источников возбуждения, аппаратуры, системы наблюдений (расположения источников возбуждения и приемников), способов организации и проведения полевых работ, обеспечивающих наилучшее решение поставленных задач.

2. Виды сейсморазведки.

В зависимости от этапов геологической разведки изучаемого региона, детальности и задач исследований различают три вида сейсморазведочных работ: региональные, поисковые и детальные. Эти виды сейсморазведки отличаются масштабом съемки, густотой сети наблюдений, а также системами наблюдений на профилях. При всех видах сейсморазведки для рационального

решения поставленных геологических задач следует учитывать следующие методические рекомендации:

- работы проводить по отдельным профилям, по системам профилей или равномерно на изучаемой площади;
- направление профилей выбирать преимущественно вкрест предполагаемого простирания структур;
- участки работ должны быть доступны для доставки сейсморазведочной аппаратуры на автомашине или вручную (переносные станции);
- отражающие и преломляющие границы должны прослеживаться по возможности непрерывно;
- на изучаемой площади необходимо иметь опорные скважины для увязки сейсмических границ с геологическими.

1. Региональные сейсморазведочные работы являются мелкомасштабными, рекогносцировочными. Они выполняются, как правило, по отдельным профилям, маршрутам, геотраверсам, вкрест простирания предполагаемых тектонических структур. Чаще всего проводятся сейсмозондирования, когда границы прослеживаются на отдельных удобных для работ интервалах профиля.

Работы проводятся как методом МОВ, так и методом МПВ. В результате региональных сейсмических исследований вдоль разведанных профилей строятся сейсмические разрезы и выявляются перспективные участки для дальнейшей разведки.

2. Поисковые сейсморазведочные работы являются рекогносцировочными и бывают маршрутными и площадными. Они служат для структурных исследований, поисков месторождений тех или иных ископаемых.

Работы проводятся по профилям, удаленным друг от друга на 3 - 10 км. Расстояния между профилями должны быть в 2 - 3 раза меньшими предполагаемой протяженности структуры. Профили надо задавать вкрест структур, но после выявления направления структур некоторые профили ставят по простиранию для выявления элементов залегания.

Применяется МОВ, реже МПВ по методике сейсмопрофилирования, когда границы прослеживаются непрерывно по всему профилю, и сейсмозондирования, когда границы прослеживаются на отдельных участках профиля. В результате поисковой съемки составляются разрезы и структурные схемы, что наряду с другими геофизическими материалами является исходным материалом для детальной разведки.

3. Детальная площадная сейсморазведка применяется для подробного изучения и разведки небольших участков с целью подготовки площадей для добычи нефти и газа. Профили задаются как вкрест простирания структур, так и вдоль структур. На вытянутых структурах расстояние между профилями должно быть в несколько раз меньшим предполагаемой длины структуры. Изометрические структуры разведываются площадной съемкой по квадратной системе профилей.

Сейсморазведка выполняется, в основном, площадной съемкой методом отраженных волн, редко - методом преломленных волн, причем система наблюдений должна быть выбрана такой, чтобы обеспечить непрерывное многократное прослеживание отражающих и преломляющих границ. В результате детальной сейсморазведки строятся сейсмические разрезы и структурные карты по одному или нескольким сейсмическим горизонтам.

Задание.

Составить схему наблюдения профиля XII-5-73 по сменному рапорту оператора.

№ п/п	Пикет взрыва	Пикет прибора	№ п/п	Пикет взрыва	Пикет приборов
1	0 ⁰⁰	(-6 ²⁵)-6 ²⁵	8	43 ⁷⁵	37 ⁵⁰ -50 ⁰⁰
2	6 ²⁵	0-12 ⁵⁰	9	50 ⁰⁰	43 ⁷⁵ -56 ²⁵
3	12 ⁵⁰	6 ²⁵ -18 ⁷⁵	10	56 ²⁵	50 ⁰⁰ -62 ⁵⁰
4	18 ⁷⁵	12 ⁵⁰ -25 ⁰⁰	11	62 ⁵⁰	56 ²⁵ -68 ⁷⁵
5	25 ⁰⁰	18 ⁷⁵ -31 ²⁵	12	68 ⁷⁵	62 ⁵⁰ -75 ⁰⁰
6	31 ²⁵	25 ⁰⁰ -37 ⁵⁰	13	75 ⁰⁰	68 ⁷⁵ -85 ²⁵
7	37 ⁵⁰	31 ²⁵ -43 ⁷⁵	14	81 ²⁵	75 ⁰⁰ -87 ⁵⁰

Урок 57 (практика)

Тема 5.3: *Методика и техника проведения сейсморазведочных работ.*

План.

1. Методика проведения сейсморазведочных работ.
2. Сравнительная характеристика методов.
3. Выполнение задания.

В сейсморазведке основным является метод отраженных волн (МОВ), меньшее применение имеет метод преломленных волн (МПВ) (раньше его называли корреляционным - КМПВ), близкий к нему метод рефрагированных волн (МРВ), а также методы проходящих волн. Сравнительная характеристика методов МОВ и МПВ дана в табл. 1. МОВ применяется в основном для изучения структур и расчленения разрезов осадочных толщ. Это основной метод поисков и разведки нефтегазоносных структур. МПВ чаще применяется при глубинных сейсмических исследованиях, определении глубины и рельефа кристаллического фундамента, изучении месторождений рудных ископаемых. При инженерно-гидрогеологических исследованиях чаще применяется МПВ, реже МОВ.

Т а б л и ц а 1.

Наименование признаков	МОВ	МПВ
Условия образования волны	$\sigma_n V_n \neq \sigma_{n+1} V_{n+1}$	$V_{n+1} > V_n$
Уравнение годографа для двухслойной среды (знак "+" по падению, "-" по восстанию пласта)	$t = \frac{1}{v_1} \sqrt{x^2 + 4H^2} \pm 4H \sin \varphi$	$t = \frac{1}{v_1} [x \sin(i \mp \varphi) + 2H \cos i]$
Вид графика линейного годографа	гипербола	прямая линия
Система наблюдений	сейсмические профилирования и зондирования	сейсмические профилирования и зондирования
Область прослеживания волн	вблизи пункта взрыва	вдалеке от пункта взрыва
Частотный спектр	повышенные частоты	пониженные частоты
Результаты интерпретации	H, φ , Vэф	H, φ , Vг (менее точно Vэф)
Методы определения скоростей распространения упругих волн	определение Vэф в покрывающей толще способом постоянной разности и др.	определение Vг в подстилающем слое по разностному годографу и др.
Методы построения разведываемой границы	построение отражающей границы способами t_0 , засечек, эллипсов и др.	построение преломляющей границы способом t_0 и др.

Отраженные волны возникают практически на всех литологических границах, на которых скачок акустических жесткостей (δV) превышает 10% (при возрастании или убывании скоростей с глубиной). Для образования головных преломленных волн необходимо возрастание скорости с глубиной. Отраженные волны интенсивны вблизи пункта возбуждения. Головные преломленные

волны наблюдаются вдалеке от пункта возбуждения и распространяются вдоль преломляющей границы. Это предопределяет систему наблюдений: в МОВ сейсмоприемники располагают вблизи пункта возбуждения, а в МПВ - вдалеке от него (на расстояниях, превышающих проектируемые глубины разведки). Рефрагированные волны по природе близки к головным. Однако нагоняющие годографы над слоистой средой, полученные из разных пунктов возбуждения, для рефрагированных волн сходятся, а для головных - параллельны. Прямые волны используются при скважинных сейсмических, акустических, ультразвуковых исследованиях, когда источники возбуждения волн и приемники располагаются либо в одной скважине, либо разнесены по соседним скважинам или горным выработкам, либо наблюдается комбинация скважинного возбуждения (измерения) с околоскважинным, поверхностным измерением (возбуждением) упругих волн.

Задание. Зарисовать системы наблюдений.

Урок 58

Тема 5.4: Обработка и интерпретация полевых материалов.

План:

1. *Обработка и интерпретация данных сейсморазведки*
2. *Обработка сейсмограмм и магнитограмм.*
3. *Цифровая обработка сейсмических данных.*
4. *Сущность и конечные результаты количественной интерпретации.*

В отличие от других методов геофизики, интерпретации данных сейсморазведки предшествует очень трудоемкий этап обработки сейсмограмм и магнитограмм, направленный на выделение из сотен зарегистрированных волн нескольких полезных. С помощью как рациональной системы наблюдений, так и сложной цифровой обработки материалов надо подавить множество регулярных и нерегулярных волн-помех и выявить кинематические (время прихода) и динамические (амплитуда сигналов) характеристики волн. Далее их надо идентифицировать однократными отраженными или преломленными (рефрагированными) волнами.

Таким образом, в результате обработки сейсмических данных получаются времена (t) прихода тех или иных волн на разных расстояниях от ПВ (x). По ним вручную или автоматически с помощью ЭВМ строятся:

- годографы волн (по горизонтали откладываются x , по вертикали вверх – t);
- профилограммы (по горизонтали x , по вертикали вниз записи всех полезных волн);
- временные разрезы (обычно в МОВ и МОГТ): по горизонтали x , по вертикали вниз t_0 , истинное или преобразованное.

Обработка заканчивается качественной интерпретацией выявленных однократных волн, т.е. дается характеристика изменения сейсмического разреза по горизонтали и вертикали. Особенно наглядны

временные разрезы, на которых видны все структурные (геометрические) особенности разреза (см. рис. 1.).

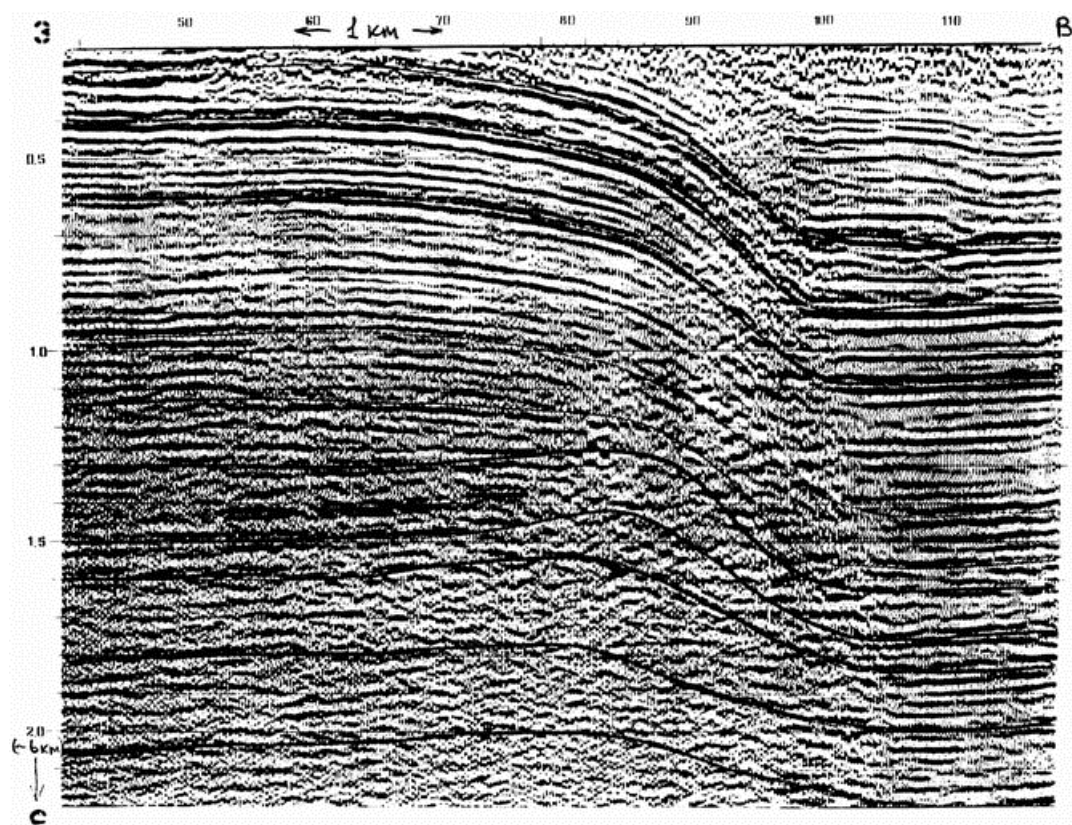


Рис. 1. Временной разрез МОВ

В настоящее время, когда сейсмические материалы чаще обрабатывают с использованием ЭВМ, собственно обработка и сейсмическая интерпретация переплетаются настолько тесно, что разделение этих этапов в ряде случаев теряет смысл.

2. Обработка сейсмограмм и магнитограмм.

1. *Ручная обработка сейсмограмм.* Для ручной обработки данных сейсморазведки используются сейсмограммы, на которых непрерывная аналоговая запись представлена в видимой форме. С этой целью в случае магнитной регистрации магнитограммы переписываются на фото- или рулонную бумагу.

На первом этапе обработки сейсмограмм ставят марки времени от момента взрыва. Далее ведут *корреляцию*, или выделение вступлений или фаз одной и той же волны по разным каналам сейсмограммы. Вступления волны (первое резкое отклонение записи сигнала от положения равновесия) легко определить для волн, пришедших первыми (первые вступления. Определить вступление других полезных волн, особенно пришедших от глубинных границ и в условиях интерференции волн, трудно, поэтому ведется *фазовая корреляция*. Для этого на сейсмограммах

прослеживаются оси синфазности, или фазы колебаний, т.е. максимумы и минимумы на записи, наблюдаемые вслед за вступлением волны и характеризующиеся одинаковой устойчивой формой и амплитудой на соседних трассах.

Для улучшения записи и облегчения выделения тех или иных полезных волн в процессе перезаписи полевых материалов меняют фильтрацию, усиление, производят суммирование сигналов с тем, чтобы сделать запись визуально более четкой и лучшей для ручной обработки. Выделив оси синфазности, по маркам времени легко найти *время прихода* фазы той или иной волны к каждому сейсмоприемнику. В полученное время прихода волн вводятся так называемые *статические поправки*: за зону малых скоростей мощностью в несколько первых десятков метров, где скорости всегда ниже, чем в коренных породах, за рельеф, за глубину взрыва и другие, а также поправка за фазу, благодаря которой определяется точное время вступления волны.

3. *Цифровая обработка сейсмических данных.* Решение сложнейших проблем сейсморазведки - выделение полезных однократных отраженных и преломленных (рефрагированных) волн от ряда границ раздела на фоне сотен волн-помех было бы невозможным без цифровой обработки сейсмических данных на ЭВМ. "Цифровая революция" в геофизике прошла в 60 - 70-е годы, а уровень компьютеризации в сейсморазведке - один из самых высоких среди всех научно-прикладных дисциплин.

Основу цифровой обработки сейсмических данных составляют три вида математических операций: преобразования Фурье, свертка (конволюция) сигналов и корреляция.

Преобразования Фурье преобразуют функции во временной области (например, короткий импульс при возбуждении упругой волны) в функции в частотной области (например, длительная гармоническая запись сигнала, снимаемого с сейсмоприемника) и обратно. Важно, что информация в ходе таких преобразований принципиально не теряется, но ее обработка более удобна и наглядна иногда в частотной, иногда во временной областях.

Свертка сигналов - это математическое решение задачи фильтрации, т.е. операция замещения каждого элемента входного сигнала некоторым выходным с определенной весовой функцией. Один из этих сигналов берется перевернутым, т.е. в противофазе.

Корреляция выявляет меру сходства двух последовательностей (выборки каких-то данных). Она аналогична свертке, только без переворота одной из функций. Например, с помощью метода взаимной корреляции определяется сходство сигналов двух трасс записей сейсмоприемников. Для улучшения сходства в один из каналов можно ввести временной сдвиг.

Целью разных методов цифровой обработки является увеличение отношения сигнал/помеха, чтобы надежно отфильтровать кратные и другие волны-помехи, прокоррелировать оси синфазности полезных однократно отраженных или преломленных волн, определить время их прихода по всем трассам и изменение амплитуд сигналов по ним.

4. Сущность и конечные результаты количественной интерпретации.

Количественная интерпретация годографов и временных разрезов начинается с изучения скоростного разреза и определения средних скоростей ($V_{ср}$) толщ пород над каждой из

выявленных отражающих и преломляющих границ. Далее временные разрезы преобразуются в глубинные, т.е. определяется геометрия разреза (глубины залегания, углы наклона (ϕ)) и распределение пластовых, средних, граничных скоростей по профилю и глубине. Заключительным этапом является геологическое истолкование результатов, для чего используется вся геологическая информация, данные бурения и геофизических исследований в скважинах (ГИС). Оно заканчивается построением сейсмогеологических разрезов, называемых так потому, что это фактически структурно-геологические разрезы, но построенные по данным сейсморазведки и ГИС. Кроме того, строятся структурные карты.

Контрольные вопросы.

1. Что понимают под обработкой сейсмических данных?
2. Что собой представляет качественная интерпретация?
3. Что собой представляет количественная интерпретация?
4. что такое корреляция?

Урок 59

Особенности обработки сейсморазведочных материалов

План

1. Особенности обработки сейсмических данных.
2. Виды обработок
 - 1) Кинематическая
 - 2) Динамическая.
3. Анализ операций.
4. Виды обработки.

1. Основой обработки заключается преобразование результатов полевых наблюдений с целью извлечения полезной информации и решения обратной задачи в сейсморазведке, т.е. определение строения сейсмогеологического разреза по наблюдаемому в ней волнового поля.

Особенностью обработки сейсмических данных является:

-Многоэтапность

-Большой объем информации

2. В сейсмике рассматривается 2 вида обработки и интерпретации:

-Кинематическое(основной)

-Динамическое

Кинематическое заключается в определении времени пробега сейсмоволн, определении скоростей и связанные с ними операции, с целью определения сейсмогеологического разреза.

Динамическая заключается в определении амплитуд сейсмоволн, соотношения амплитуд полезных волн и помех, форма сейсмоколебаний с целью определения коэффициентов отражения и преломления, оценка жесткости границы через них определение физических свойств горных пород.

3. Анализ операций:

1 этап обработки -

частотная фильтрация сейсмоколебаний (производится оператором с использованием сейсмоаппаратуры, применяются различные фильтры, виды усиления т.д.).

2 этап:

пространственно-временная фильтрация (по кинематическим признакам). К этой фильтрации относят применение интерференционных систем, многоканальная фильтрация, суммирование ОГТ. веерная фильтрация, смещение колебаний, дифракционное обр-ие и т.д.

Эта фильтрация проводится при обработке полученных записей и системах наблюдения.

3 этап -

ведение, вычисление статических поправок и их коррекция.

4 этап -

вычисление кинематических поправок, их ведение, коррекция.

5 этап -

вычисление (определение) скоростей. Точка обобщения скоростей.

6 этап -

построение сейсмограниц, составление сейсмогеологических разрезов, с учетом сейсмосоноса и структурных карт.

7 этап -

построение (сейсмограниц) временных разрезов (при машинной обработке).

В сейсморазведке применяется как ручная, так и машинная обработка.

4.К видам обработки относят последовательность операции распределительных по времени и в пространстве.

В сейсморазведке можно выделить следующие виды обработки:

1. Начальная обработка (проводится на профиле оператором).

2. Первичная обработка (проводится в камеральной группе интерпретатором).

3. Оперативная обработка (камеральной группой интерпретатором)

4. Основная обработка (проводится в вычислительном центре интерпретатором).

Задача оперативной обработки - это анализ сейсмонаблюдений с целью контроля эффективности методики полевых работ и предварительной оценки геологических результатов.

Необходимы коррекции методики и техники в связи с изменчивостью поверхностных и глубинных с/геологических условий.

Оперативные материалы позволяют своевременно оценить геологическую ситуацию и давать направление до дальнейших полевых работ.

Оперативная обработка преследует основные задачи:

1. Контроль за качеством проведения работ.

2. Получение предварительных результатов в виде с/геологических разрезов и структурных карт.

Оперативная обработка проводится в полевых УСЛОВИЯХ, камеральной группой и в основном преобладает ручная обработка.

Контрольные вопросы

1. Особенность обработки сейсмических данных.
2. Сущность пространственно-временной фильтрации?
3. Задача оперативной обработки?

Урок 60 (практика)

Тема 5.4: *Обработка и интерпретация полевых материалов.*

Построение годографа.

План

1. Сущность обработки сейсмических материалов.
2. Этапы обработки материалов.
 - а) Предварительная;
 - б) Камеральная обработка.
3. Построение годографа преломленной волны.

Обработка материалов сейсморазведки состоит из следующих операций: первичной обработки сейсмограмм и корреляции волн на них; вычисления поправок; построения годографов полезных волн; вычисления средних, эффективных и граничных скоростей; составления сводной скоростной колонки; построения сейсмических разрезов вдоль профилей и составления структурных карт.

Основы обработки материалов заключаются в преобразование результатов полевых наблюдений с целью извлечения полезной информации и решение обратной задачи сейсморазведки.

Обработка материалов сейсморазведки производится обычно в два этапа.

Первый - предварительная или полевая обработка совпадает по времени с производством полевых работ

При полевой обработке, прежде всего, осуществляют первичную обработку сейсмограмм. В дальнейшем основное внимание сосредотачивают на изучении нескольких основных маркирующих сейсмических горизонтов. Производят корреляцию соответствующих им маркирующих отражений или преломлений. В наблюдаемые значения времени, отсчитываемые по сейсмограммам, вносят только часть поправок, а в некоторых случаях (при работе в районах со сравнительно спокойным рельефом) их вообще не вносят. Далее строят исправленные годографы отраженных и преломленных волн, по которым вычисляют эффективные и граничные скорости. Одновременно обрабатывают материалы сейсмокаротажа. На основании вычислений строят предварительную скоростную колонку, используемую в дальнейшем для составления предварительных сейсмических разрезов, на которых изображают только несколько маркирующих горизонтов. В отдельных случаях при полевой обработке на основании предварительных разрезов можно составить схематические структурные карты.

Второй этап обработки - окончательная или камеральная обработка - осуществляется после полевых работ, когда получены все материалы, необходимые для интерпретации.

При окончательной обработке материалов осуществляют корреляцию всех отражений или преломлений, имеющих на сейсмограммах. Те из них, которые обладают достаточно протяженными осями синфазности, используют при дальнейшей обработке. В наблюдаемые значения времени вносят необходимые поправки, в результате чего получают исправленные значения времени, которые служат для построения исправленных годографов отраженных и

преломленных волн. Далее по возможно большему числу годографов производят вычисление эффективных и граничных скоростей. Результаты вычислений объединяют на вертикальных годографах и скоростных колонках с данными сейсмокаротажа, причем различным участкам района разведки могут соответствовать разные вертикальные годографы.

Задание. Построить годографы преломленных волн, полученных при взрывах в пунктах 0^{00} - 85^{00} . Времена и значения амплитуд приведены в следующей таблице (1 пикет равен 100м)

Пикет профиля	t, (с) Пикет взрыва		Пикет профиля	t, (с) Пикет взрыва	
	0^{00}	85^{00}		0^{00}	85^{00}
0^{00}	-	3,100	46^{00}	2,200	1,860
2^{00}	-	3,060	48^{00}	2,250	1,780
4^{00}	-	3,020	50^{00}	2,340	1,700
6^{00}	-	2,980	52^{00}	2,430	1,600
8^{00}	-	2,950	54^{00}	2,520	1,520
10^{00}	-	2,920	56^{00}	2,600	1,430
12^{00}	-	2,880	58^{00}	2,620	1,350
14^{00}	-	2,860	60^{00}	2,650	1,230
16^{00}	0,920	2,820	62^{00}	2,700	1,170
18^{00}	0,980	2,790	64^{00}	2,740	1,050
20^{00}	1,060	2,760	66^{00}	2,760	1,950
22^{00}	1,140	2,720	68^{00}	2,800	1,860
24^{00}	1,280	2,690	70^{00}	2,850	1,750
26^{00}	1,370	2,660	72^{00}	2,880	0,630
28^{00}	1,450	2,630	74^{00}	2,920	-
30^{00}	1,530	2,550	76^{00}	2,960	-
32^{00}	1,620	2,470	78^{00}	3,010	-
34^{00}	1,680	2,400	80^{00}	3,030	-
36^{00}	1,770	2,330	82^{00}	3,060	-
38^{00}	1,870	2,280	84^{00}	3,080	-
40^{00}	1,960	2,100	85^{00}	3,100	-
42^{00}	2,050	2,000			
44^{00}	2,120	1,900			

Урок 61 (практика)

Тема 5.4: **Обработка и интерпретация полевых материалов.**

План

1. Обратная задача сейсморазведки.
2. Области применения сейсморазведки.
 - a) Глубинная сейсморазведка.
 - b) Структурная (нефтепоисковая) сейсморазведка.
 - c) Рудная сейсморазведка.
 - d) Инженерно гидрогеологическая сейсморазведка.
3. Выполнение практической работы.

1. **Преобразование полученной сейсморазведочной информации о волновом поле в геолого - геофизическую информацию о среде принято называть решением обратной задачи геофизики. Наблюдаемое сейсмическое волновое поле, несет в себе информацию о многих особенностях среды, характеризующих ее геолого-геофизическое строение. Для извлечения этой информации необходимо совершать преобразования полученных полевых сейсмических записей.**

Первым этапом извлечения информации является **процесс обработки сейсмической информации**. В этом процессе полученные полевые данные подвергаются целому ряду преобразований, основная цель которых направлена на повышение надежности полезных сейсмических волн, которые несут информацию о строении интересующих нас особенностей геологической среды. Этот процесс может быть выполнен в поточном режиме обработки с помощью набора специальных программ для ЭВМ. Для того чтобы сделать нужные выводы о строении нужной части среды, необходимо полученное после обработки волновое поле подвергнуть геолого-геофизическому истолкованию – **интерпретации**.

Обработка и интерпретация в значительной мере формализованы и выполняются на ЭВМ. Интерпретация формализована значительно меньше так это в основном интеллектуальный аналитический труд специалистов интерпретаторов, хорошо владеющим широким кругом знаний в области сейсморазведки и геологии изучаемого района.

Сейсморазведка позволяет решить широкий круг геологических задач и в зависимости от этого делится на глубинную, структурную, рудную, инженерно-геологическую и др.

а) Глубинная сейсморазведка. Применяют для изучения строения земной коры и подстилающих ее слоев мантии, исследования главных черт строения верхней части земной коры с целью получения сведений, необходимых для интерпретации данных других геофизических методов. Глубинность сейсморазведки составляет 4-80 км и более. Для возбуждения колебаний в основном используют взрывы. Удаление точек возбуждения достигает 30-50 км. Иногда несколько сотен километров.

б) Структурная (нефтепоисковая) сейсморазведка. На ранних этапах поисковой съемки изучают строение отдельных крупных образований (депрессий, валов, линий крупных нарушений) с помощью МПВ и МОВ; на этапах детальных работ определяют строение отдельных структур. Главным образом применяют МОВ с многократным перекрытием наблюдений. Широко используют также наблюдения в глубоких скважинах. Работы выполняют на частотах 15-100Гц.

в) Рудная сейсморазведка. Применяют при поисках месторождений железных руд, бокситов, медных песчаников и некоторых нерудных полезных ископаемых с целью изучения отдельных черт строений рудных провинций, узлов и полей, обнаружения и прослеживания тектонических нарушений, определения мощности рыхлых отложений и т. д.

При исследовании до 200 м преимущественно используют **МПВ**. Особенно широко этот метод применяют для изучения поверхности коренных пород. Скользящая преломленная волна, распространяется вдоль коренных пород, позволяет определить глубину их залегания, граничную скорость, выявлять зону нарушений, трещиноватости и другие нарушения. При наличии скважин и подземных горных выработок на исследуемом месторождении используют методы проходящих

волн с целью изучения горных пород между выработками, скважинами и земной поверхностью. Сейсмоакустическим просвечиванием можно выделить сульфидные и железные руды, пегматитовые тела, зоны гидротермально измененных или разрушенных пород.

г) Инженерно гидрогеологическая сейсморазведка. Используют для изучения строения и структуры исследуемого района и определения свойств и состояния горных пород в естественном залегании.

Сейсморазведочные методы наиболее достоверно позволяют определять глубину залегания коренных карбонатных, осадочно-метаморфических и кристаллических пород, локализовать зоны тектонических смещений и дробления пород, так как при применении этих методов почти отсутствуют искажений сейсмических характеристик, связанных с условиями залегания картируемых объектов или с условиями измерений.

Первую задачу решают в основном методом преломленных волн. Метод дает хорошие результаты, так как кровля коренных пород является сильной преломляющей границей. Волна, которая отвечает кровле коренных пород, обладает обычно максимальной скоростью (2000-6000 м/сек) по сравнению со скоростью в покрывающих рыхлых отложениях (800-2500 м/с).

3.эЗадание. Вычислить статические поправки за зону малых скоростей, рельеф, глубину взрыва по следующим данным: $V = 1700$ м/с.

ПВ	Абсолютная отметка	Уровень приведения (м)	Глубина скважины (м)	t(сек)
00	160	150	20	18
6 ²⁵	158	-	23	19
12 ⁵⁰	156	-	22	17
18 ⁷⁵	153	-	24	20
25 ⁰⁰	150	-	23	19
31 ²⁵	147	-	16	15
37 ⁵⁰	143	-	22	20
43 ⁷⁵	142	-	26	22
50 ⁰⁰	143	-	24	21
56 ²⁵	147	-	25	22

Контрольные вопросы

1. Сущность обработки сейсмических данных?
2. Для чего применяют инженерно гидрогеологическую сейсморазведку?
3. Сущность интерпретации сейсмических данных?
4. Какие задачи решает рудная сейсморазведка?

РАЗДЕЛ 6.

Радиометрические ядерно-физические методы поисков и разведки.

Урок 62

Тема 6.1: Физико - геологические основы радиоактивных методов.

План:

1. Естественная радиоактивность.
2. Параметры радиоактивности.
 - 1) Период полураспада.
 - 2) Состав естественных излучений.

1. Естественная радиоактивность.

Самопроизвольный распад неустойчивых атомных ядер, спонтанно превращающихся в ядра других элементов и сопровождающийся испусканием альфа-, бета-частиц, гамма-квантов и другими процессами, называется естественной радиоактивностью. Известно более 230 радиоактивных изотопов различных элементов, называемых радиоактивными нуклидами (радионуклидами). Радиоактивность тяжелых металлов с порядковым номером в таблице Менделеева, большим 82, сводится к последовательным превращениям одних элементов в другие и заканчивается образованием устойчивых нерадиоактивных изотопов. Основными радиоактивными рядами или семействами тяжелых элементов являются ряды урана-238, урана-235, тория-232. Перечисленные элементы (их называют материнскими радионуклидами) являются родоначальниками семейств и относятся к долгоживущим: у них период полураспада ($T_{1/2}$), т.е. время, необходимое для того, чтобы число атомов уменьшилось вдвое, составляет $4,5 \cdot 10^9$; $7,13 \cdot 10^8$; $1,39 \cdot 10^{10}$ лет соответственно. В состав семейств урана входят такие дочерние радионуклиды, как радий ($T_{1/2} = 1620$ лет) и самый долгоживущий радиоактивный газ - радон ($T_{1/2} = 3,82$ сут). Конечным продуктом превращений урана является нерадиоактивный радиогенный свинец.

Кроме радиоактивных семейств, имеются одиночные радионуклиды, в которых радиоактивный распад ограничивается одним актом превращений. Среди них наиболее распространен калий-40 ($T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^9$ лет). В целом в земной коре повышены концентрации следующих трех радиоактивных элементов: урана ($2,5 \cdot 10^{-4}$ %), тория ($1,3 \cdot 10^{-3}$ %) и калия-40 (2,5 %). Поэтому в радиометрии изучают только эти элементы. Они находятся в горных породах в рассеянном состоянии в виде изоморфных примесей и самостоятельных минералов.

2. Параметры радиоактивности.

Радиоактивными называются такие элементы (нуклиды), ядра атомов которых неустойчивы и способны с течением времени самопроизвольно превращаться в ядра атомов других нуклидов с иными физическими и химическими свойствами.

Атомы всех химических элементов состоят из ядра и окружающих его электронных оболочек. Ядро, в котором сосредоточено более 99,9 % всей массы атома, состоит из протонов и нейтронов. Число протонов, определяющих заряд ядра, равно порядковому номеру Z элемента, а сумма протонов и

нейтронов — массовому числу A . Элементы, атомы которых имеют одинаковое число протонов Z и различные массовые числа A , называются изотопами данного химического элемента.

Процесс превращения одного нуклида в другой возможен, когда изменяется соотношение между числом протонов и нейтронов в ядре. Радиоактивные ядра способны превращаться самопроизвольно (это явление получило название радиоактивности). Искусственно изменить это соотношение можно бомбардировкой стабильных нуклидов нейтронами, протонами, и другими частицами, которые проникают внутрь ядра и вызывают в нем изменения.

В настоящее время известны следующие виды радиоактивных превращений: α -распад с испусканием ядер гелия; β -распад с испусканием электронов и позитронов; захват ядром электрона с одной из оболочек собственного атома (обычно K -оболочки); самопроизвольное (спонтанное) деление некоторых тяжелых ядер на два близких по массе осколка. Последние два вида превращений — редкое явление в природе.

Во многих случаях α - и β -частицы уносят же всю энергию. Остаток ее испускается в виде одного или нескольких γ -квантов.

Радиоактивный распад как процесс превращения одних изотопов в другие обусловлен внутренним состоянием атомных ядер, не зависимым от внешних условий. Это процесс случайный, т.е. событие вылета частицы из ядра, преодолев ядерное притяжение, носит вероятностный характер. Радиоактивный распад характеризуют следующие параметры.

1. *Период полураспада.* Период полураспада ($T_{1/2}$), который у различных элементов изменяется в очень широких пределах - от 10^{-6} до 10^{10} лет. Для каждого элемента он является определенной и постоянной величиной и может служить его диагностическим признаком. В ядерной физике известна следующая формула:

$$N=N_0 * e^{-\lambda t} \quad (6.1)$$

устанавливающая связь между начальным числом атомов какого-либо радиоактивного элемента N_0 в момент его образования и числом атомов N этого же элемента спустя время t , например, в настоящее время. где $\lambda=T_{1/2}/0,693$ - постоянная распада.

2. *Состав естественных излучений.* Естественная радиоактивность состоит из альфа-, бета-, гамма-, нейтронных и других излучений.

Альфа-излучение представляет собой поток положительно заряженных частиц (ядер атомов гелия), энергия которых на длине пути около 10 см в воздухе и долей миллиметров в породе тратится на ионизацию и нагревание окружающей среды, поэтому проникающая способность у них очень мала.

Бета-излучение представляет собой поток электронов и позитронов, энергия которых тратится на ионизацию и возбуждение атомов окружающей среды. В результате они рассеиваются (это приводит к ослаблению их интенсивности) и поглощаются (теряют свою энергию) на длине пути, в 100 раз большей, чем альфа-излучение.

Гамма-кванты представляют собой поток электромагнитного излучения очень высокой частоты ($f < 10^{18}$ Гц). Хотя они также рассеиваются и поглощаются окружающей средой, но благодаря своей электрической нейтральности отличаются еще более высокой проникающей способностью (сотни метров в воздухе и до метра в горных породах).

Кроме перечисленных излучений, радиоактивный распад может сопровождаться захватом некоторыми ядрами электронов из собственных оболочек атомов (*K* и *L*-захват) с возникновением мягкого и рентгеновского гамма-излучений, спонтанными излучениями ядер нейтронов и другими процессами.

К излучениям, широко используемым в ядерной геофизике, относится нейтронное излучение. Оно возникает при ядерных реакциях (например, в смеси полония и бериллия) или создается с помощью управляемых генераторов нейтронов, циклотронов и др. Из всех видов излучений нейтронное обладает наибольшей проникающей способностью. Однако нейтроны замедляются в процессе рассеяния, а затем поглощаются средой, т.е. захватываются ядрами атомов за время от микросекунд до миллисекунд. В свою очередь, захват сопровождается мгновенным испусканием гамма-квантов и других частиц.

Контрольные вопросы.

1. Какие элементы называются радиоактивными?
2. Какое явление называют радиоактивностью?
3. Виды излучений.

Урок 63

Тема 6.1: Радиоактивные элементы.

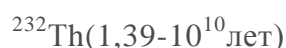
План:

1. Радиоактивные элементы.
2. Концентрация радиоактивных элементов в магматических породах

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ СЕМЕЙСТВА

К естественным радиоактивным элементам относятся преимущественно тяжелые элементы, распадающиеся с испусканием α - и β -частиц. Большинство из них являются изотопами элементов с порядковыми номерами от 81 (таллий) до 92 (уран). Эти элементы образуют три радиоактивных семейства, которые по наименованию наиболее долгоживущего среди них элемента получили название семейств урана, тория и актиноурана.

Родоначальниками каждого семейства являются материнские нуклиды, имеющие большой период полураспада и за время существования Земли (около 5 млрд. лет) частично сохранившиеся. Такими нуклидами являются



и ^{235}U (7,13-10⁸ лет).

В состав каждого семейства входят радиоактивные газы-эманации: радон (^{222}Rn), торон (^{220}Tn) и актинон (^{219}An), имеющие различные периоды полураспада соответственно: 3,62 сут, 54,5 и 3,92 с. Конечными продуктами превращений в каждом семействе являются стабильные изотопы свинца (^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{207}Pb), которые получили название радиогенного свинца. Элементы ряда актиноурана в природе существуют только совместно с нуклидами семейства урана и из-за сравнительно малого периода полураспада ^{235}U на его долю приходится около 0,7 %.

В семействе урана имеется восемь элементов, распадающихся с испусканием α -частиц. При этом у образующихся элементов порядковый номер и массовое число уменьшаются соответственно на две и четыре единицы; β -превращение не оказывает влияния на * величину массового числа, а порядковый номер уменьшается на единицу, γ -излучатели распределены примерно поровну между нуклидами группы урана (Ux_2) и группы радия (RaB , RaC , RaE).

Основная доля (около 95 %) γ -изл. учения, сопровождающего β -превращение элементов, приходится на нуклиды группы радия (RaB , RaC) и лишь около 5 % падает на нуклиды группы урана (Ux_2). Это имеет очень большое значение при проведении поисково-разведочных работ на уран.

В семействе тория имеется шесть α -излучателей и по четыре β - и γ -излучателя. Нуклид ThC'' обладает наиболее высокой энергией γ -квантов (2,62 МэВ) среди всех природных γ -излучателей. Для характеристики β - и γ -излучений семейства тория введено понятие уранового эквивалента тория по β - и γ -излучению, который равен соответственно 0,2 и 0,42.

В природе известно около 200 радиоактивных изотопов стабильных элементов. Продуктами превращения их ядер являются устойчивые нуклиды, поэтому их называют одиночными радионуклидами. Из них наибольший интерес представляет изотоп ^{40}K , составляющим 0,012 % от общего количества изотопов калия и имеющий период полураспада 1,4-10⁹ лет; 88 % ядер ^{40}K испытывают β -превращения, а 12 % ядер захватывают электроны с К-оболочки своего атома, испуская γ -кванты с энергией 1,46 МэВ. Урановый эквивалент калия по γ -излучению составляет $\sim 1,2 \cdot 10^{-4}$, и поэтому при проводимых исследованиях необходимо учитывать влияние γ -излучения калия на результаты измерений. Концентрация радиоактивных элементов в земной коре невелика: $2,5 \cdot 10^{-4}\%$ U, $1,3 \cdot 10^{-3}\%$ Th и 2,5 % K. В не большом количестве имеется в живых организмах. Так, в организме человека находится около $2 \cdot 10^{-5}$ г Ra и около 140 г K.

Для магматических процессов характерно накопление U и Th на завершающем этапе дифференциации магмы. Концентрация радиоактивных элементов в магматических породах возрастает от ультраосновных к кислым разностям, т. е. пропорционально увеличению концентрации кремнезема (табл. 5.1). При этом характерно примерно постоянное

Таблица 1. Средние концентрации радиоактивных элементов в различных породах и средах

Породы и среды	U*10 ⁴ , %	Th*10 ⁴ , %	K, %
Магматические породы: ультраосновные (перидотиты, пироксениты) основные (габбро, базальты) средние (диориты, андезиты) кислые (граниты, липариты)	0,03	0,08	0,02
Осадочные породы: горючие сланцы углеродисто-глинистые сланцы аргиллиты, глинистые сланцы, глины песчаники, алевролиты Известняки	0,6—0,7 1,8 4,5— 6,0 До 100	1,8—2,3 6,0 18,0—25,0	1,4 2,0 4,2
Мергели доломиты	10—20 4,0	10—15 15,0	
каменная соль, галит гипс, ангидриты Почвы	2,9 1,6	11,5 10,4 1,8	3,2 2,6 1.1 0,3
Воды:	2,8 3,7	2,5 2,8	0,2 0,4
поверхностные	0,9—1,0 0,1 0,1	1,0 0,4 1,0	0,1 0,1 0,4
подземные	0,0004 0,003	0,001 0,001	0,01 0,03

торий—урановое отношение, равное 3—4. Наибольшие концентрации U и Th отмечаются в терригенных осадочных породах. При этом выявляется довольно четкая корреляция U с количеством глинистого материала в этих породах, обусловленная сорбирующими свойствами глин. Для Th эта зависимость выражена менее четко. Наибольшей ураноностью характеризуются углеродисто-глинистые сланцы, в которых и тесно связан с органическим веществом.

Самые низкие концентрации U и Th наблюдаются в соленосных отложениях типа ангидритов, каменной соли, галита, гипса (см. табл.1). Торий — урановое отношение в осадочных породах не является постоянным, а колеблется от 1 до 5—8 (9).

Контрольные вопросы.

1. Что относят к естественным радиоактивным элементам?
2. Как изменяется радиоактивность горных пород в зависимости от типа?
3. Закон радиоактивного распада.
4. В каких горных породах наименьшее содержание урана?

Урок 64 (практика)

Тема 6.2: Полевая радиометрическая аппаратура и оборудование.

План:

1. Полевой радиометр СРП-68.
- 2 Гамма-спектрометр СП-3М.
3. Эманометр РАДОН.

ПОИСКОВЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ПЕШЕХОДНОЙ

ГАММА-СЪЕМКИ СРП-68

Сцинтилляционный радиометр СРП-68 предназначен для поисков радиоактивных руд по их излучению. Радиометр выпускается в трех вариантах: СРП-68-01 — для съемок на дневной поверхности и в горных выработках; СРП-68-02 — для гамма-каротажа скважин диаметром более 35 мм и глубиной до 25 м, а при замене кабеля — глубиной до 170 м; СРП-68-03 — для производства измерений в шпурах диаметром более 25 мм и глубиной до 1,3 м.

Питание прибора СРП-68 — от 9 элементов типа 343, потребляемая мощность: прибором СРП-68-01 не превышает 200 мВт, прибором СРП-68-02 и СРП-68-03 — 280 мВт. Радиометр СРП-68 выпускается проградуированным в единицах с^{-1} для измерения потока γ -излучения, проходящего через кристалл детектора в диапазонах от 0 до 10000 с^{-1} , и в единицах мощности экспозиционной дозы (м. э. д.) γ -излучения в диапазоне от 0 до 30000 мкР/ч. Каждый диапазон разбит на пять поддиапазонов с пределами регистрации 100, 300, 1000, 3000 и 10000 с^{-1} , а при измерении м. э. д. γ -излучения — 30, 100, 300, 1000 и 3000 мкР/ч. При пользовании прибором СРП-68-01 рекомендуется измерять м. э. д. γ -излучения в мкР/ч, при работе с радиометрами СРП-68-02 и СРП-68-03 — поток γ -излучения в с^{-1} . Для выражения результатов измерений в единицах мощности экспозиционной дозы при шпуровой съемке и при каротаже результат измерения в с^{-1} следует переводить в единицы м. э. д. γ -излучения, пользуясь переводными множителями, величина которых определяется размерами кристалла NaI (Т1).

Прибор СРП-68 рассчитан на эксплуатацию в течение 5 лет при времени безотказной работы не менее 4000 ч.

Рабочий интервал температур установлен от — 20 до 50 °С, т. е. допускает работу в весенне-летне-осенний период практически для всей территории СССР, за исключением районов Крайнего Севера. Прибор выполнен в виде двух частей: пульта (РПГ4-01) и блока детектирования (БДГ4), соединенных кабелем (рис. 30). В радиометрах СРП-68-01 и СРП-68-03 длина кабеля 1,5 м, в каротажном варианте — СРП-68-02 — длина кабеля 25 м, но при необходимости она может быть увеличена до 170 м.

Во всех вариантах радиометра СРП-68 используется пульт РПГ4-01, выполненный из алюминиевого сплава, герметизированный, допускающий внешнее избыточное давление 3-Ю4 Па (225 мм рт. ст.).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАММА-СПЕКТРОМЕТРЕ СП-ЗМ

Переносный одноканальный гамма-спектрометр СП-ЗМ предназначен для измерения энергетического распределения γ -излучения горных пород и руд при геологических исследованиях в диапазоне энергии от 48 до 480 фДж (0,3—3 МэВ), свойственном естественным радиоактивным элементам рядов урана и тория. По измерениям в специально выбранных энергетических интервалах он может оценивать концентрации урана (по радию) от кларковых до 0,5 %, тория — от кларковых до 1 % и калия от кларковых до 100 %.

Интервал измеряемых энергий разделен на 60 ступеней (около 8 фДж на 1 ступень). Прибор рассчитан на интегральный счет γ -квантов с энергией выше установленного порога и дифферен-

циальный счет в произвольно выбранном участке спектра в пределах энергетического «окна» шириной 8,32 и 64 фДж (50, 200 и 400 кэВ) или 1, 4 и 8 ступеней.

Отсчет числа сосчитанных импульсов может быть взят по магнитоэлектрическому счетчику МЭС-54 или по стрелочному прибору устройства измерителя скорости счета в импульсах за 1 с. Питание прибора батарейное — от батарей 11,5 ПМЦГУ-120ч и одной батареи 48-ПМЦГ-64, устанавливаемых в батарейный отсек, потребляемый ток 65 мА. Комплект питания обеспечивает работу прибора в течение 40 ч. Прибор нормально работает при температуре от 0 до 50 °С. Масса прибора в комплекте с источниками питания 9,4 кг.

Конструктивно γ -спектрометр СП-3М выполнен в виде двух частей: блока детектирования (БД) и блока регистрации (пульта), соединенных кабелем длиной 1,5 м. Блок детектирования представляет собой алюминиевый герметичный цилиндр, в котором размещены сцинтилляционный детектор, преобразователь напряжения и эмиттерный повторитель. Кристалл детектора NaI (Т1) диаметром 80 и высотой 80 мм защищен от резких сотрясений резиновой прокладкой. Кроме того, для этой же цели на торец БД надевается резиновый колпак. Фотоэлектронный умножитель ФЭУ-56 защищен светонепроницаемый кожухом из пермаллоя, являющегося одновременно экраном для внешних магнитных полей.

Ввод кабеля и крепление крышки БД герметичны, БД можно опускать в воду. При измерении БД ставится на породу торцом, в котором размещен кристалл. Устойчивость такого положения обеспечивается большим диаметром (122 мм) и относительно небольшой высотой — вместе с ручкой для ношения высота БД

440 мм.

Пульт управления прибора изготовлен из алюминия. В нижней части корпуса пульта расположена лицевая панель с органами управления и регистрации, закрываемая крышкой при хранении и переноске. Схема смонтирована на обратной стороне лицевой панели и трех внутренних панелях из диэлектрического материала. Батарейный отсек расположен в нижней части корпуса пульта и закрывается крышкой в дне корпуса. Пульт защищен от брызг и пыли, переносится с помощью ремня.

В комплект прибора входят блок детектирования и пульт, телефон для слуховой индикации, контрольный источник β^2 п, который крепится на корпусе пульта, укладочный ящик и три дисковые модели в отдельном ящике: урановая (I), ториевая (II) и калиевая (III) для выбора рабочих интервалов.

ЭМАНОМЕТР «РАДОН»

Полевой сцинтилляционный эманометр «Радон» предназначен для измерений активности (удельной объемной активности) радона, переведенного в эманационную камеру из почвенного воздуха, воздуха горных выработок или служебных помещений, проб воды, отобранной из источников. Прибор может быть использован для определения изотопного состава эманации, а также активности радия в природных водах и растворах, полученных при обработке руд и горных пород. Его можно применять при поисках и изучении месторождений радиоактивных элементов по их радоновым ореолам, в лабораторных условиях для решения целого ряда задач, связанных с измерениями активности радона и при дозиметрическом контроле.

Результаты измерений эманометром «Радон» выражаются числом импульсов в секунду (c^{-1}), т. е. характеризуют активность содержащегося в измерительной камере детектора радона и ближайших продуктов его превращения. Диапазон измерений 0-5000 имп/с разбит на четыре поддиапазона с пределами измерения и каждым от 0 до 50, 250, 1000 и 5000 имп/с. В пределах каждого поддиапазона нелинейность графика не превышает $\pm 5\%$. Чувствительность прибора не менее 0,76 имп/с на 1 Бк, или 2,8 имп/с п. | I -жан. Точное определение чувствительности прибора и величин пересчетного коэффициента производится с помощью эталонирования прибора.

В комплект эманометра «Радон» входят: измерительный пульт, блок пересчета, насос, два пробоотборника (для мягких и твердых ипчв), сумка с ремнем для ношения, контрольная камера, 9 рабочих камер, запасные части, инструмент и принадлежности, укладочные ящики.

Электрическое питание схемы эманометра «Радон» осуществляется от шести элементов 373 «Марс», соединенных последовательно. Продолжительность работы с комплектом питания — не менее 42 ч.

Контрольные вопросы.

1. Для чего предназначен полевой радиометр СРП-68?
2. Для чего предназначен гамма-спектрометр СП-3М?
3. Для чего предназначен сцинтилляционный эманометр «Радон»?
4. Из каких блоков состоит радиометр СРП-68?

Урок 65

Тема 6.3: Радиометрические методы разведки.

План:

1. Общие сведения.
2. Виды гамма съёмок.
3. Объекты поисков.

Радиометрические методы разведки

Общие сведения

1. Радиометрические методы используются на всех стадиях геологоразведочных работ, начиная от рекогносцировочных исследований и кончая эксплуатацией месторождений радиоактивных элементов. Из полевых методов при поисках и разведке месторождений радиоактивных руд в настоящее время широко применяются гамма- и эманационные методы.
2. Гамма-методы исследования горных пород в условиях их естественного залегания можно разделить на две группы.

а. Методы, применяемые для изучения радиоактивности горных пород по маршруту, профилю или сети с целью выявления участков с повышенной мощностью дозы γ -излучения (аномалий): пешеходная гамма-съёмка, в том числе шпуровая и спектрометрическая; аэрогамма-съёмка (самолетная и вертолетная); автогамма-съёмка. Общим недостатком этих методов является их небольшая глубинность (глубина залегания радиоактивного объекта, при которой его γ -излучение может быть зарегистрировано на земной поверхности), не превышающей 50 см при плотности пород 2 г/см³. Поэтому они успешно применяются лишь на обнаженных участках пород или в районах с малой мощностью рыхлых экранирующих образований элювиально-делювиального состава.

б. Методы радиометрического опробования, позволяющие количественно оценивать оруденение, т. е. определять мощность рудных тел и концентрацию в них урана: гамма-каротаж скважин; гамма-опробование поверхностей горных выработок.

3. Первичным объектом поисков являются ореолы рассеяния рудных тел. Размеры ореолов, как правило, больше размеров выхода рудных тел, что облегчает их обнаружение с поверхности.

Ближайший к земной поверхности горизонт максимального площадного развития ореолов рассеяния принимается за представительный горизонт поисков. В зависимости от средней глубины залегания этого горизонта применяют различные модификации наземных гамма-методов: на участках выхода его на земную поверхность (ореолы рассеяния открытого типа) эффективны автомобильная и пешеходная гамма-съемки; при глубине до 1 — 1,5 м проводят гамма-съемку в закопашках и шпурах; при глубине от 1,5 до 25 м хорошие результаты дает глубинная съемка с использованием механизированных средств проходки шпуров; при глубине свыше 25 м — бурение скважин и гамма-каротаж.

Вероятность обнаружения ореолов рассеяния зависит от значения нормального фона и пределов его колебаний. Уровень нормального фона определяется излучением пород, перекрывающих рудное тело или ореол рассеяния, и значением натурального (остаточного) фона прибора, складывающегося из космического излучения и загрязнения прибора радиоактивными элементами. Остаточный фон учитывают при использовании гамма-метода для геологического картирования, где необходимо получение истинного значения радиоактивности горных пород. В этом случае натуральный фон вычитают из среднего значения нормального фона. Колебания последнего обусловлены вариациями концентраций радиоактивных элементов в породах. Правильная оценка нормального фона в районе работ позволяет установить нижний предел выделяемой аномалии: чем больше значение нормального фона и его колебания, тем труднее выделить участки с низкой мощностью экспозиционной дозы излучения.

В пределах площади распространения пород определенного петрографического состава значение нормального фона изменяется незначительно.

Контрольные вопросы

1. На каких стадиях используют радиометрические методы?
2. Виды гамма -съемок?
3. Как определяется нормальный фон?

Урок 66

Тема 6.3: *Полевые методы радиометрии.*

План:

1. Пешеходная гамма – съемка.
2. Спектрометрическая съемка.

ПЕШЕХОДНАЯ ГАММА-СЪЕМКА

Пешеходная гамма-съемка является одним из основных методов при поисках месторождений радиоактивных элементов. Она широко используется на всех этапах поисковых работ. Наиболее благоприятными для проведения гамма-съемки являются районы с хорошо расчлененным рельефом, развитой современной гидросетью, со сравнительно хорошей обнаженностью или наличием элювиально-делювиальных образований мощностью до 2—3 м. К основным видам пешеходной гамма-съемки относятся поверхностная, шпуровая, спектрометрическая.

Основными приборами, которые применяют в настоящее время При проведении пешеходной гамма-съемки, являются радиометры со сцинтилляционными детекторами СРП-68. В полевых партиях их используют в трех модификациях. Приборы СРП-68-01 предназначены для поисков радиоактивных руд по их γ -излучению, радиометрической съемки местности и гамма-опробования карьеров и горных выработок. Они отградуированы предприятием-изготовителем в единицах «мкР/ч». В процессе эксплуатации необходимо проведение систематической (не реже 2 раз в месяц и после каждого ремонта) проверки шкалы прибора с целью определения и устранения основной погрешности по методике, изложенной в технической инструкции к прибору. При выполнении спектрометрической гамма-съемки используют переносный гамма-спектрометр СП-4, предназначенный для измерения энергетического распределения γ -излучения горных пород в естественном залегании в области энергий $^{0,66—2,62}$ МэВ Поверхностная пешеходная гамма-съемка занимает ведущее место среди остальных модификаций. Ее оптимальный масштаб определяется, как и в других методах разведочной геофизики, размерами ореолов рассеяния. При этом размеры ореолов выбираются в пределах контура уверенного выделения аномалии ($R_a > R_{H\phi} + 3 \text{ сгнф}$). При выборе масштабов пешеходной гамма-съемки учитывают степень изученности и перспективности поисковых площадей, а также тип ожидаемого месторождения. Как показала практика, для выявления промышленных месторождений урана должны проводиться поиски масштабов 1 : 25 000 и иногда 1 : 50 000.

Основной задачей поисков является выявление рудных полей и месторождений. Гамма-поиски в масштабах 1 : 25 000, 1 : 50 000 выполняют без предварительной разбивки профилей по маршрутам, намеченным на топографической карте, вкост простирания пород и тектонических зон, контролирующ их оруденение. Иногда при съемке в масштабе 1 : 25 000 на местности разбивают магистрали и на них фиксируют начало профилей. При проведении поисков масштаба 1 : 25 000 изучают γ -активность пород вдоль маршрута с регистрацией ее по отдельным точкам. В полосе 50—100 м по маршруту обследуют все видимые выходы коренных пород, осыпи, искусственные обнажения и т. п. Встреченные в маршруте участки с повышенной γ -активностью подвергают детальному изучению. Расстояние между точками обычно составляет 25—40 м. В интервалах между фиксированными точками измерений на всем протяжении маршрута непрерывно прослушивают γ -активность в телефон радиометра. Расстояние детектора от поверхности пород составляет 15—20 см.

Задачами детальных поисково-разведочных и разведочных работ, для решения которых используется гамма-съемка, являются поиски и прослеживание отдельных рудных тел, выяснение их размеров, изучение природы радиоактивности. Гамма-съемку в масштабе 1 : 10 000 проводят в перспективных по геологическим данным районах, а также в районах выявленных аномалий для оконтуривания рудных тел и изучения распространения радиоактивных проявлений по площади. Гамма-съемку в масштабе 1 : 5000 и крупнее выполняют на площадях уже выявленных месторождений и рудопоявлений для картирования отдельных рудных тел и качественной оценки их радиоактивности.

Гамма-съемку в масштабе 1 : 10 000, 1 : 5000 и 1 : 2000 проводят по предварительно разбитой сети, размер которой соответственно 100 x (10—20), 50 x (5—10) и 20 x (2—5) м.

Оценка выявленных аномалий является завершающим этапом пешеходной гамма-съемки. Примерная схема оценки аномалий следующая: проведение детального изучения аномального участка в масштабе от 1 : 5000 до 1 : 1000 (в комплексе работ — наземная и шпуровая гамма-съемка, эманационная съемка, гамма-спектральные измерения); составление схематической геологической карты участка аномалии; на закрытых участках в помощь геологическому картированию проведение работы с использованием методов структурной геофизики; отбор геохимических проб для анализа на элементы-спутники; вскрытие аномалий горными выработками и скважинами; радиометрическая документация горных выработок и картаж скважин.

Спектрометрическая гамма-съемка. Раздельное определение Pu (K a), Tb и K в породах и рудах позволяет устанавливать количественные радио геохимические критерии оценки у-аномалий для выделения ураноносных площадей и локальных зон, перспективных на урановое оруденение. Измерения проводят гамма-спектрометром СП-4 на аномальных участках, выявленных при пешеходной, аэро- и автомобильной гамма-съемках. При этом предварительно разбивают сеть наблюдений. Масштаб работ зависит от площади аномальной зоны. Минимальное число профилей, пересекающих эту зону, должно быть не менее трех. Расстояние между пунктами наблюдений выбирают так, чтобы в пределах аномалии было сделано 3 — 5 определений концентрации Pu (K a), Tb и K . Примерно столько же пунктов измерений берут в нормальном поле на каждом профиле по обе стороны аномальной зоны. В пунктах наблюдений выбирают ровную площадку размером около 1 м², чтобы обеспечить такие же условия измерений, как и при градуировании прибора на моделях.

Наблюдения включают измерение интегральной скорости счета и скоростей счета в соответствующих каналах «К», «Р», «Т». Все результаты полевых измерений записывают в журнал (дата, номер профиля и пикета, экспозиция и счет в каждом канале).

Контрольные вопросы.

1. Где применяются радиометрические методы разведки?
2. Где применяется пешеходная гамма-съемка?
3. Что такое спектрометрическая гамма-съемка?

Урок 67 (практика)

Аппаратура и оборудование

План:

1. Детекторы (счетчики) излучений.
2. Полевая радиометрическая аппаратура.

1. Чувствительные элементы (их называют также детекторами) служат для определения интенсивности и энергетического спектра ядерных излучений путем преобразования энергии радиоактивного излучения в электрическую энергию. В аппаратуре для ядерно-геофизических исследований в качестве чувствительных элементов используют ионизационные камеры, счетчики Гейгера - Мюллера, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, термолюминесцентные кристаллы (рис.1).

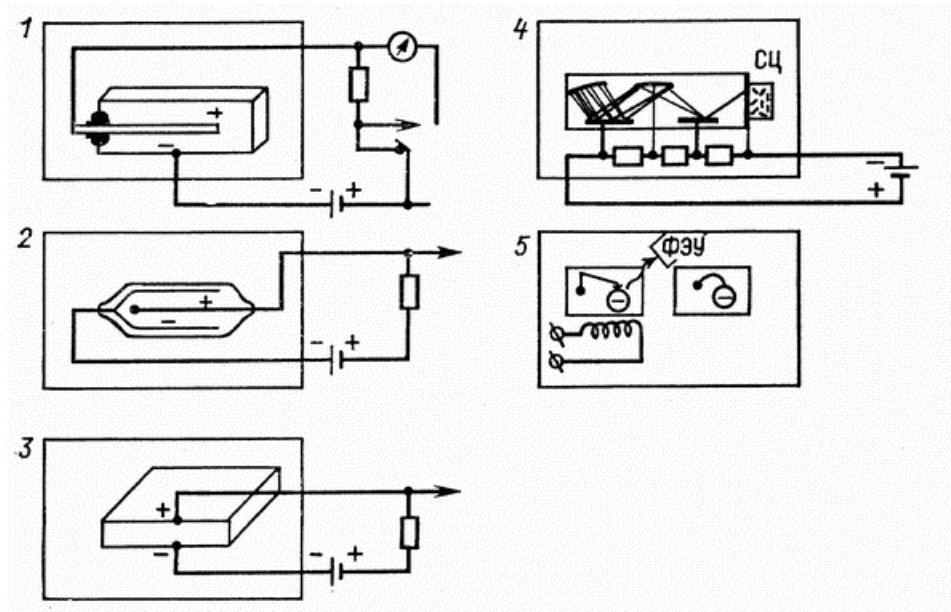


Рис.1. Схемы чувствительных элементов (детекторов) для приборов, используемых при ядерно-геофизических наблюдениях: 1 - ионизационная камера; 2 - счетчик Гейгера - Мюллера; 3 - полупроводниковый кристалл; 4 - сцинтилляционный счетчик; 5 - тер-молюминесцентный кристалл; СЦ - сцинтиллятор; ФЭУ - фотоэлектронный умножитель

1- В ионизационной камере находятся газ и два электрода, к которым подводят напряжение в несколько сот вольт. Под действием альфа-, бета-лучей или вторичных заряженных частиц, возникающих при поглощении нейтронов, газ ионизируется, а получающиеся свободные электроны и ионы движутся к электродам. В результате в цепи возникает ток. Измеряя его или разность потенциалов, можно определить интенсивность излучений, вызывающих ионизацию.

2- В счетчиках Гейгера - Мюллера, называемых также газоразрядными, в баллоне под пониженным давлением находится инертный газ (обычно аргон для измерения гамма-лучей или гелий для определения потока нейтронов) и два электрода под высоким напряжением (до 1000 В). При появлении хотя бы одной пары ионов возникает краткий разряд. При облучении баллона гамма-квантами возникают вторичные заряженные частицы (ионы и электроны) и в нем наблюдается система разрядов в виде импульсов тока, которые можно зафиксировать.

3- Полупроводниковый детектор - твердотельный аналог ионизационной камеры. Ионизирующие частицы, возникающие при облучении детектора, создают в полупроводнике электронно-дырочные пары, что при воздействии электрического напряжения приводит к возникновению тока.

4- Сцинтилляционный счетчик состоит из сцинтиллятора (неорганические или органические кристаллы, жидкие и газообразные), способного под действием гамма-квантов испускать вспышки

света. Кванты света, попадая на фотокатод фотоумножителя, выбивают из него электроны. За счет вторичной эмиссии и наличия ряда электродов, находящихся под все большим напряжением, в фотоумножителе возникает лавинообразный, увеличивающийся поток электронов. В результате на аноде собирается в $10^5 - 10^{10}$ раз больше электронов, чем было выбито из фотокатода, а в цепи возникает электрический ток.

5- Термолюминесцентный кристалл (например, LiF) обладает способностью под действием ионизации создавать свободные электроны, которые накапливаются за счет дефектов кристаллической решетки кристалла и могут долго храниться. Такой кристалл будет испускать свет, и на выходе фотоумножителя возникнет электрический ток, пропорциональный принятой ранее дозе облучения.

2. Приборы для ядерно-геофизических исследований.

1. *Общая характеристика.* В радиометрических приборах, кроме чувствительных элементов, имеются усилители, индикаторы (для визуального отсчета), регистраторы (для автоматической записи) интенсивности либо естественного гамма-излучения, либо концентрации эманаций радона, либо искусственно вызванных излучений. Для определения энергетического спектра излучений в приборах устанавливают дискриминаторы и амплитудные анализаторы. С их помощью выделяют импульсы, соответствующие определенному диапазону энергий ионизирующих излучений. Далее сигналы подаются в нормализаторы, которые создают импульсы определенной амплитуды и формы для их измерения или регистрации.

2. *Аэро- и авторadiометры.* Для воздушной и автомобильной гамма-съемки используют различные аэро- и авторadiометры, отличающиеся быстродействием, т.е. малой инерционностью. Они состоят из набора сцинтилляционных счетчиков, а также блоков: усилительного, регистрирующего, питания. Набор сцинтилляционных счетчиков служит для повышения чувствительности при измерении радиоактивности. В усилительно-регистрирующих блоках смонтированы каналы, состоящие из усилителей, дискриминаторов, нормализаторов, регистрирующих устройств. Они предназначены для определения гамма-активности, разных энергетических спектров излучения, т.е. являются гамма-спектрометрами. Питание приборов осуществляется от бортовой сети самолета (вертолета) или аккумуляторов автомобиля.

3. *Полевые радиометры.* Для наземной (пешеходной) гамма-съемки используют разного рода полевые радиометры (СРП-68, СРП-88 и др.) со стрелочным индикатором на выходе. Кроме того, с помощью наушников можно осуществлять звуковую индикацию импульсов. Конструктивно прибор состоит из выносного зонда, пульта управления и питания от сухих анодных батарей.

Для того, чтобы по шкале измерительного микроамперметра можно было определить интенсивность гамма-излучения, радиометры градуируют. С этой целью используют образцовый излучатель радия, помещаемый в коллиматор для создания узкого пучка гамма-излучения.

Для определения энергетического спектра радиоактивных излучений с целью отдельного определения концентраций U, Th, K-40 используются полевые гамма-спектрометры (СП-4 и др.).

В этих приборах, кроме сцинтилляционных счетчиков, имеются дискриминаторы, с помощью которых определяют интенсивности гамма-лучей разного энергетического уровня.

3. *Эманометр.* Для изучения концентрации радона в подпочвенном воздухе используют эманометры. Серийно изготавливаемый эманометр (типа "Радон" и др.) состоит из сцинтилляционной камеры РГА-01, а также насоса и набора зондов, с помощью которого подпочвенный воздух отсасывается с глубины до 1 м. Чем больше концентрация радона в нем, тем больше альфа-частиц фиксирует счетчик. Прибор питается от сухих анодных батарей.

Контрольные вопросы

1. Назначение эманометра?
2. Основные блоки эманометра?
3. Назначение спектрометра?
4. Назначение радиометра?

Урок 68

Тема 6.4: *Ядерно - физические методы.*

План:

1. *Общая характеристика ядерно-физических свойств.*
2. *Гамма-лучевые свойства горных пород.*
3. *Нейтронные свойства горных пород.*

Общая характеристика ядерно-физических свойств.

Под ядерно-физическими (гамма- и нейтронными) свойствами горных пород понимают их способность по-разному рассеивать, замедлять и поглощать гамма-кванты или нейтроны разных энергий. Эти свойства вытекают из рассмотренных выше физических явлений, сопровождающих взаимодействие гамма-квантов с электронами и ядрами атомов (фотоэлектрическое поглощение, комптоновское взаимодействие, образование электронно-позитронных пар и др.) или нейтронов с ядрами атомов (неупругое и упругое рассеяние и поглощение, сопровождающееся захватом тепловых нейтронов ядрами атомов и вторичным гамма-излучением). Вероятность того или иного взаимодействия зависит от энергии гамма-квантов или нейтронов, от пути проходящего излучения в горной породе и ее ядерно-физических свойств. Основными из этих свойств являются микро- или макроскопические сечения взаимодействия гамма-квантов и нейтронов с отдельными или всеми атомами изучаемой горной породы.

2. Гамма-лучевые свойства горных пород.

Основным гамма-лучевым свойством породы является ее способность поглощать и рассеивать гамма-лучи. Количественно это свойство описывается полным линейным коэффициентом ослабления и поглощения $\mu_{\text{ли}}$ или суммарным (полным) макроскопическим сечением взаимодействия гамма-лучей с единицей объема горной породы.

3. Нейтронные свойства горных пород.

Основным нейтронным свойством горных пород и сред является их способность поглощать и рассеивать нейтроны. Количественно это свойство описывается полным линейным коэффициентом ослабления и поглощения μ_0 или суммарным (полным) макроскопическим взаимодействием нейтронов с единицей объема горной породы.

Величину, обратную $\mu_{\text{эф}}$, называют полной длиной пробега нейтронов (L_n). Она включает длину замедления и длину диффузии. Средняя длина замедления нейтронов (L_n) определяется способностью ядер рассеивать нейтроны и равна расстоянию, на котором энергия нейтронов уменьшается от исходной (у быстрых нейтронов энергия превышает 0,5 МэВ) до тепловой (0,025 эВ). Наименьшей длиной замедления ($L_n < 10$ см) обладают минералы, в которых имеются бериллий, углерод, железо и водородосодержащие породы, насыщенные водой, нефтью или газом. В других породах, особенно содержащих тяжелые химические элементы, L составляет первые десятки сантиметров.

Ослабленные до тепловой энергии нейтроны перемещаются в породе путем диффузии до тех пор, пока не поглотятся какими-нибудь ядрами. Как отмечалось выше, процесс захвата нейтронов сопровождается излучением вторичных гамма-квантов. Способность горных пород поглощать тепловые нейтроны выражают через среднюю длину диффузии L_d или пропорциональное ей среднее время жизни тепловых нейтронов τ . Наименьшими значениями этих параметров ($L_d < 5$ см, $\tau < 5$ мкс) отличаются руды, содержащие химические элементы с высоким сечением поглощения нейтронов (редкоземельные, кадмий, бор, ртуть, железо, хлор и др.), и рыхлые осадочные породы, насыщенные минерализованными водами. Для большинства породообразующих минералов и горных пород L_d изменяется от 10 до 30 см, а τ - от 10 до 3000 мкс.

На изменении перечисленных нейтронных свойств химических элементов основаны нейтронные методы поэлементного анализа горных пород и их водонефтегазонасыщенности. Они сводятся к изучению плотности (интенсивности) тепловых нейтронов J_n или вторичного гамма-излучения $J_{\gamma\gamma}$.

Контрольные вопросы

1. Понятия ядерно-физических свойств горных пород?
2. Основное гамма-лучевое свойство породы?
3. Основное нейтронное свойство горных пород?
4. Что исследуют нейтронные методы?

Урок 69 (практика)

Тема 6.4: Ядерно - физические методы.

План:

1. Детекторы.
 - a. Ионизационная камера.
 - b. Счетчик Гейгера – Мюллера.
 - c. Полупроводниковый детектор.
 - d. Сцинтилляционный детектор.
 - e. Термолюминесцентный кристалл
2. Приборы для ядерно-геофизических исследований.

Чувствительные элементы (их называют также детекторами) служат для определения интенсивности и энергетического спектра ядерных излучений путем преобразования энергии радиоактивного излучения в электрическую энергию. В аппаратуре для ядерно-геофизических исследований в качестве чувствительных элементов используют ионизационные камеры, счетчики Гейгера - Мюллера, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, термолюминесцентные кристаллы (рис. 1).

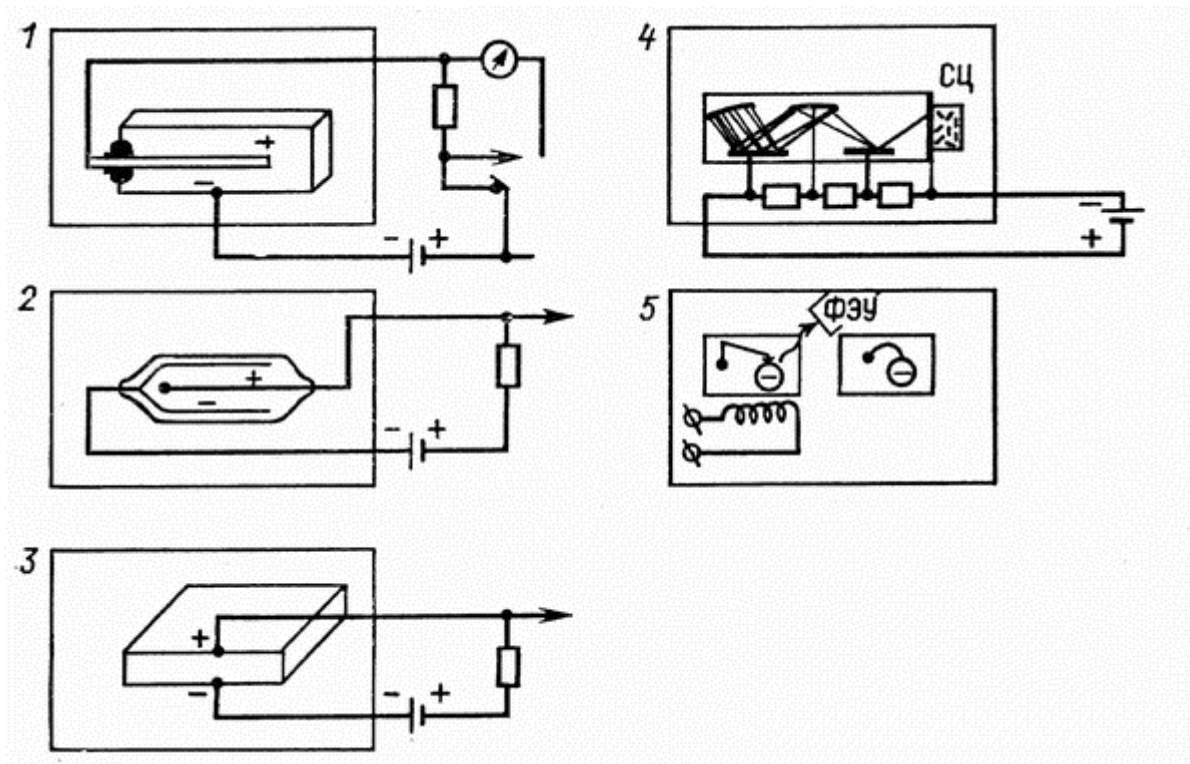


Рис. 1. Схемы чувствительных элементов (детекторов) для приборов, используемых при ядерно-геофизических наблюдениях: 1 - ионизационная камера; 2 - счетчик Гейгера - Мюллера; 3 - полупроводниковый кристалл; 4 - сцинтилляционный счетчик; 5 - тер-молюминесцентный кристалл; СЦ - сцинтиллятор; ФЭУ - фотоэлектронный умножитель

- В ионизационной камере находятся газ и два электрода, к которым подводят напряжение в несколько сот вольт. Под действием альфа-, бета-лучей или вторичных заряженных частиц, возникающих при поглощении нейтронов, газ ионизируется, а получающиеся свободные электроны и ионы движутся к электродам. В результате в цепи возникает ток. Измеряя его или разность потенциалов, можно определить интенсивность излучений, вызывающих ионизацию.
- В счетчиках Гейгера - Мюллера, называемых также газоразрядными, в баллоне под пониженным давлением находится инертный газ (обычно аргон для измерения гамма-лучей или гелий для определения потока нейтронов) и два электрода под высоким напряжением (до 1000 В). При появлении хотя бы одной пары ионов возникает краткий разряд. При облучении баллона гамма-квантами возникают вторичные заряженные частицы (ионы и электроны) и в нем наблюдается система разрядов в виде импульсов тока, которые можно зафиксировать.

- Полупроводниковый детектор - твердотельный аналог ионизационной камеры. Ионизирующие частицы, возникающие при облучении детектора, создают в полупроводнике электронно-дырочные пары, что при воздействии электрического напряжения приводит к возникновению тока.
- Сцинтилляционный счетчик состоит из сцинтиллятора (неорганические или органические кристаллы, жидкие и газообразные), способного под действием гамма-квантов испускать вспышки света. Кванты света, попадая на фотокатод фотоумножителя, выбивают из него электроны. За счет вторичной эмиссии и наличия ряда электродов, находящихся под все большим напряжением, в фотоумножителе возникает лавинообразный, увеличивающийся поток электронов. В результате на аноде собирается в $10^5 - 10^{10}$ раз больше электронов, чем было выбито из фотокатода, а в цепи возникает электрический ток.
- Термолюминесцентный кристалл (например, LiF) обладает способностью под действием ионизации создавать свободные электроны, которые накапливаются за счет дефектов кристаллической решетки кристалла и могут долго храниться. Такой кристалл будет испускать свет, и на выходе фотоумножителя возникнет электрический ток, пропорциональный принятой ранее дозе облучения.

Приборы для ядерно-геофизических исследований.

1. *Общая характеристика.* В радиометрических приборах, кроме чувствительных элементов, имеются усилители, индикаторы (для визуального отсчета), регистраторы (для автоматической записи) интенсивности либо естественного гамма-излучения, либо концентрации эманаций радона (), либо искусственно вызванных излучений. Для определения энергетического спектра излучений в приборах устанавливают дискриминаторы и амплитудные анализаторы. С их помощью выделяют импульсы, соответствующие определенному диапазону энергий ионизирующих излучений. Далее сигналы подаются в нормализаторы, которые создают импульсы определенной амплитуды и формы для их измерения или регистрации.

РАЗДЕЛ 7.

Геофизические исследования в скважинах.

Урок 70

Геофизические исследования в скважинах.

План:

1. Предмет исследования ГИС.
2. Принципы решения прямых и обратных задач ГИС
3. Схема проведения ГИС в скважине.

Предмет исследования ГИС

Предметом исследования ГИС является геологический объект (пласт, горная порода), характеризующийся определенными физическими свойствами, вещественным составом и определенными геометрическими размерами и описываемый конкретной геологической или

петрофизической моделью. Конечная цель ГИС – получение обобщенных оценок состояния изучаемого объекта, однозначно определяющих место изучаемого объекта в принятой системе классификации. По результатам ГИС получают векторную величину или некоторую обобщенную оценку (например, запасы полезных ископаемых).

Существуют мешающие факторы, которые влияют на результаты измерений геофизическими методами в скважинах, такие как, например, породы, вскрытые скважиной, ее диаметр и промывочная жидкость, заполняющая ствол скважины, глинистая корка, образующаяся при заполнении скважины промывочной жидкостью. Чтобы понизить влияние мешающих факторов и улучшить помехоустойчивость переходят к многозондовым измерениям.

Т а б л и ц а 1

Название групп методов	Название методов	Изучаемые физические свойства пород	Измеряемые параметры	Решаемые геологические задачи
Электрические	метод естественной поляризации (ПС)	электро-химическая активность	естественные потенциалы	геологическое расчленение разрезов в комплексе с методами КС, выявление сульфидных руд, углей, графитовых сланцев, коллекторов и водоупоров
	методы токового каротажа, скользящих контактов (МСК)	удельное электрическое сопротивление (УЭС)	изменение тока в питающей цепи	выделение в разрезах хорошо проводящих горизонтов (сульфидов, углей, графитов и др.)
	метод кажущихся сопротивлений (КС), боковое ка-ротажное зондирование (БКЗ) и др.	то же	кажущееся сопротивление	геологическое расчленение разрезов, определение мощности слоев и истинного сопротивления пород, выделение коллекторов,

				водоупоров, рудных и нерудных пропластков
	резистивиметрия	УЭС жидкости в стволе скважины	УЭС жидкости в стволе скважины	определение сопротивления воды и глинистого раствора в скважине
	метод вызванных потенциалов (ВП)	поляризуемость	вызванные потенциалы (ВП)	геологическое расчленение разрезов скважин, выявление сульфидных руд, угля, графитов, сланцев
	индуктивный метод (ИМ)	электропроводность	потенциалы	расчленение низкоомных разрезов
	диэлектрический метод (ДМ)	диэлектрическая проницаемость	потенциалы	расчленение водоносных разрезов
Ядерные	гамма-метод (ГМ) или гамма-каротаж (ГК)	естественная радиоактивность	интенсивность естеств. гамма-излучения (I_γ)	обнаружение радиоактивных руд, геологическое расчленение разрезов
	гамма-гамма-метод (ГГМ) или гамма-гамма-каротаж (ГГК)	плотность и хим. состав	интенсивность рассеянного гамма-излучения ($I_{\gamma\gamma}$)	изучение плотности горных пород и их хим. состава
	нейтронный гамма-метод (НГМ) или каротаж (НГК)	поглощение нейтронов с последующим гамма-излучением	интенсивность вторичного гамма-излучения ($I_{n\gamma}$)	расчленение разреза по водородосодержанию, оценка пористости пород
	нейтрон-нейтронный метод (ННМ)	поглощение быстрых нейтронов и определение медленных	интенсивность потока тепловых и	то же, что и в методе НГК, но более точное

	или каротаж (ННК)	нейтронов	надтепловых нейтронов	определение количества водорода в породах
Термические	метод естественного теплового поля (МЕТ)	теплопроводность	температура	изучение геологического разреза скважин, определение наличия газа, нефти, сульфидов и др., определение техн. сост. скважин
	метод искусственного теплового поля (МИТ)	тепловое сопротивление, температуропроводность	то же	то же
Сейсмоакустические	метод акустического каротажа	скорость распространения волн, амплитуда сигналов	время и скорость упругих волн, их затухание (t, V, b)	геологическое расчленение разреза, оценка пористости, проницаемости, состава флюида
	сейсмический каротаж	то же	то же	определение пластовых и средних скоростей
Магнитные	метод естественного магнитного поля	магнитная восприимчивость горных пород	напряженность магнитного поля Земли	геологическое расчленение разрезов и выявление железосодержащих руд
	метод искусственного магнитного поля	то же	напряженность поля магнита	то же
Гравитационные	гравиметровые	плотность	аномалии силы тяжести	геологическое расчленение разреза

Все используемые в геофизике методы применяются и в ГИС. В таблице 1 приведены группы методов ГИС (в порядке объемов их применения) и основные методы в них. Здесь же, даны

физические свойства пород, на которых основаны методы, измеряемые параметры, а также решаемые геологические задачи.

2. Принципы решения прямых и обратных задач ГИС

Поскольку при геофизических исследованиях скважин используются те же поля, что и в полевых геофизических методах (гравимагнитные, электромагнитные, сейсмоакустические, ядерно-физические, тепловые), то принципы теоретического решения задач - прямых (определение физических параметров поля по известному геофизическому разрезу) и обратных (определение физического разреза по наблюдаемым физическим параметрам) - одинаковы. Однако строгое теоретическое решение прямых задач ГИС сложнее, так как приходится учитывать влияние заполнителя скважины (обсадные колонны, цемент, глинистый раствор, по-разному проникающие в поры в зависимости от их трещиноватости и пористости). Кроме того, прямые задачи по размерности являются двух-трехмерными и решаются для погруженных источников. Рассмотренные выше основы теории полевых методов геофизики иллюстрировались в основном одно- и двумерными задачами с поверхностными источниками, решение которых проще. Вместе с тем решение обратных задач ГИС и интерпретация материалов оказались проще по следующим причинам. Во-первых, интерпретация бывает прежде всего полуколичественной, то есть выделяются глубины залегания, мощности пластов или рудных объектов вблизи от источников. Во-вторых, для геологического истолкования результатов ГИС используются теоретически установленные или эмпирически получаемые корреляционные связи между геофизическими и геолого-гидрогеологическими, механическими, коллекторскими свойствами с оценкой заполнителя пор (вода, нефть, газ). В-третьих, интерпретацию материалов легче формализовать и осуществлять с помощью ЭВМ.

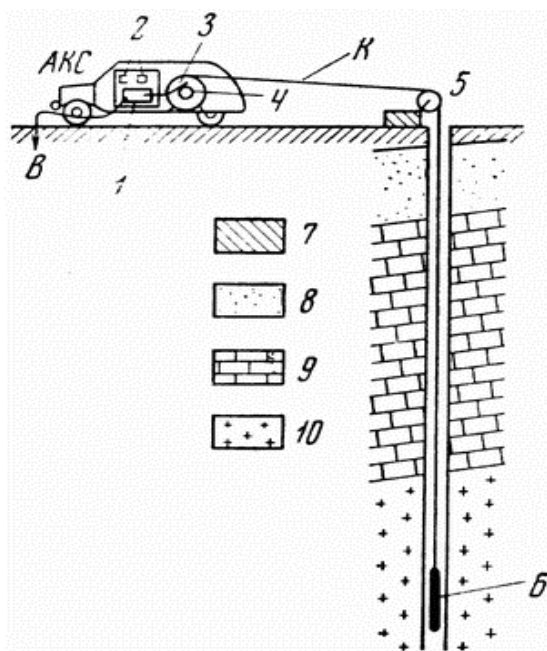


Рис. 1. Схема выполнения ГИС: АКС - автоматическая каротажная станция, К - каротажный кабель, 1 - источник питания, 2 - приборы для регистрации, 3 - лебедка, 4 - коллектор лебедки, 5 - блок-баланс, 6 - глубинный каротажный зонд, 7 - глины, 8 - пески, 9 - известняки, 10 - изверженные породы

Контрольные вопросы

1. Факторы, влияющие на результаты ГИС?
2. Принципы решения задач ГИС?
3. Методы не имеющие аналогов в наземном применении?

УРОК 71

Тема 7.1: Метод кажущегося сопротивления

План

1. Зонды для работ методом КС.
2. Вычисления кажущегося сопротивления.
3. Методика и техника метода КС.

Скважинные исследования методом кажущихся сопротивлений (каротаж КС) основаны на расчленении пород, окружающих скважину, по их удельному электрическому сопротивлению (УЭС).

1. Зонды для работ методом КС. Простейшим зондом для измерения силы тока, проходящего в буровом растворе и окружающих скважину породах, служит одноэлектродный зонд. В этом виде исследований, называемом токовым каротажом, один электрод заземлен неподвижно, вблизи устья скважины, а второй - закреплен на кабеле (рис. 1, а). В результате перемещения зонда по скважине регистрируется кривая изменения силы тока.

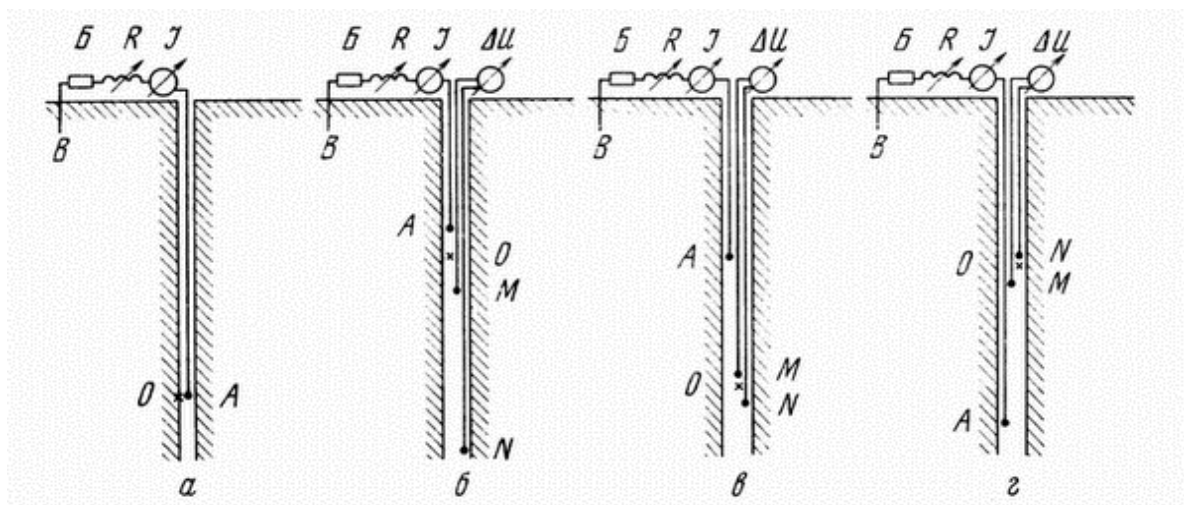


Рис. 1. Различные зонды для электрического каротажа скважин: А, В - питающие электроды, Б - батарея или другой источник питания, R - реостат для регулировки силы тока, I - прибор, измеряющий силу тока, MN - приемные измерительные электроды, ΔU - прибор для измерения (регистрации) разности потенциалов, O - точка записи, к которой относят результаты замеров; а - одноэлектродный зонд токового каротажа, б - трехэлектродный потенциал-зонд, в - трехэлектродный подошвенный (последовательный) градиент-зонд, г - трехэлектродный кровельный (обращенный) градиент-зонд

Чаще всего при работах методом КС используются трехэлектродные зонды, в которых три электрода располагаются в скважине (четвертый электрод заземляется на поверхности, вблизи от скважины). Трехэлектродный зонд, состоящий из одного питающего A и двух приемных M и N электродов, называется однополюсным. Трехэлектродный зонд, состоящий из одного приемного M и двух питающих A и B электродов, называется двухполюсным.

2. В обоих случаях расчет КС (ρ_k) ведется по формуле метода сопротивления: $\rho_k = k \cdot \Delta U / I$, где k - коэффициент, зависящий от расстояния между электродами в зонде; (ΔU - разность потенциалов между приемными электродами M и N ; I - сила тока в питающей цепи AB).

В трехэлектродном зонде $k = 4\pi \cdot AM \cdot AN / MN$ или $k = 4\pi \cdot MB \cdot NB / MN$, где AM , AN , MN , MB , NB - расстояния в метрах между соответствующими электродами.

Название зонда складывается из обозначения электродов, расположенных в скважине сверху вниз и расстояний между ними. Например, в зонде $A2M0,05N$ сверху расположен питающий электрод A , далее в двух метрах - приемный электрод M , а в пяти сантиметрах от последнего - электрод N . Различают потенциал- и градиент-зонды (рис. 7.5). В потенциал-зонде расстояние между приемными MN или питающими AB (их называют парными) электродами превышает расстояние от непарного электрода A или M до ближайшего парного. Точка записи, к которой относится измеренное кажущееся сопротивление, располагается посередине AM (точка O). В градиент-зонде расстояние между парными электродами в пять-десять раз меньше расстояния до непарного. Точка записи находится посередине MN . Если парные электроды располагаются выше непарного, то зонд называется кровельным (или обращенным), а если под питающим, то подошвенным (или последовательным). Расстояние AM у потенциал-зонда и AO (или MO) у градиент-зонда называется размером зонда. Обычно размер зонда меняется от 0,5 до 3 м. Радиус обследования пород вокруг скважины примерно равен размеру зонда.

Иногда используются более сложные 5 - 7-электродные зонды. Благодаря различной комбинации питающих и приемных электродов с помощью этих зондов создаются направленные фокусированные электрические поля, что позволяет точнее отбить границы пластов и определить их сопротивление. Такие зонды используются при боковом каротаже. Для выявления тонких пластов применяются микрозонды.

Методика и техника метода КС. Как отмечалось выше, при исследованиях методом КС может регистрироваться либо сила тока (токовый каротаж), либо разность потенциалов. В результате токового каротажа (в сухих скважинах он называется методом скользящих контактов, или МСК) получают токовые диаграммы, характеризующие изменение силы тока по стволу скважины.

Основным видом скважинных электрических наблюдений является измерение КС (ρ_k) по стволу скважины с помощью стандартного зонда с постоянным в данных геологических условиях размером. Это аналог электропрофилеирования (ЭП). Стандартный, или оптимальный для изучаемого района зонд обеспечивает наилучшее выделение по кривым КС слоев с разным удельным электрическим сопротивлением. Его вид и размеры зависят от поставленных задач и выбираются опытным путем. Чтобы получить кривую изменения КС по скважине, сила тока I на питающих электродах обычно поддерживается постоянной, а измеренная непрерывная кривая

разностей потенциалов ΔU на приемных электродах при постоянной длине зонда является фактически графиком изменения ρ_k . Для перевода кривой ΔU (в милливольтгах) в кривую ρ_k (в ом метрах) изменяется лишь масштаб записи с учетом величины коэффициента установки и силы тока.

По диаграммам КС (по вертикали откладываются точки записи, по горизонтали - ρ_k) можно получить лишь общее представление о сопротивлениях пород и об их изменении по стволу скважины. Однако для расшифровки диаграмм и интерпретации результатов электроразведки большое значение имеет определение истинного значения сопротивления пород. Его получают с помощью боковых каротажных зондирований (БКЗ) или бокового каротажа (БК). Методика БКЗ сводится к последовательному выполнению работ КС несколькими (5 - 7) однотипными зондами разной длины (например, $AO = 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 7$ м). Проведя измерения зондами разной длины, получаем кажущиеся сопротивления, соответствующие разным радиусам обследования пород вокруг скважины. Для каждого пласта, сопротивление которого необходимо определить, на логарифмических бланках строят кривую БКЗ, т.е. кривую зависимости КС от длины зонда. Кривые БКЗ интерпретируются с помощью специальных теоретических кривых (палеток БКЗ) так же, как это делается при интерпретации ВЭЗ. В результате получают истинное сопротивление пород и оценивают глубину проникновения бурового раствора в среду.

Контрольные вопросы

1. Формула для нахождения кажущегося электрического сопротивления?
2. Типы зондов КС?
3. Какой зонд называют градиент - зонд?
4. Методика проведения БКЗ?
5. Методика проведения КС?

Урок 72

Тема: **Метод естественного поля.**

План:

1. Сущность метода.
2. Методика проведения ПС.
3. Результаты работ.

Метод естественного поля.

Скважинные исследования методом естественного поля (ЕП) или поля самопроизвольного (каротаж ПС) сводятся к измерению постоянных естественных потенциалов, возникающих у пластов с разной электрохимической активностью. Естественные потенциалы (потенциалы

собственной поляризации) возникают при окислительно-восстановительных, диффузионно-адсорбционных и фильтрационных процессах, протекающих в различных горных породах.

2. Зондом для измерения собственных потенциалов служат свинцовые приемные электроды. Работы в методе ПС чаще выполняются способом потенциала, то есть установкой, состоящей из одного неподвижного приемного электрода N , заземленного вблизи устья скважины, и второго электрода M , перемещаемого по скважине (рис. 1, а). Иногда, особенно при наличии электрических помех, запись ПС ведется способом градиента потенциала. В этом случае оба приемных электрода M и N передвигаются по скважине, а расстояние между ними остается постоянным (1 - 2 м).

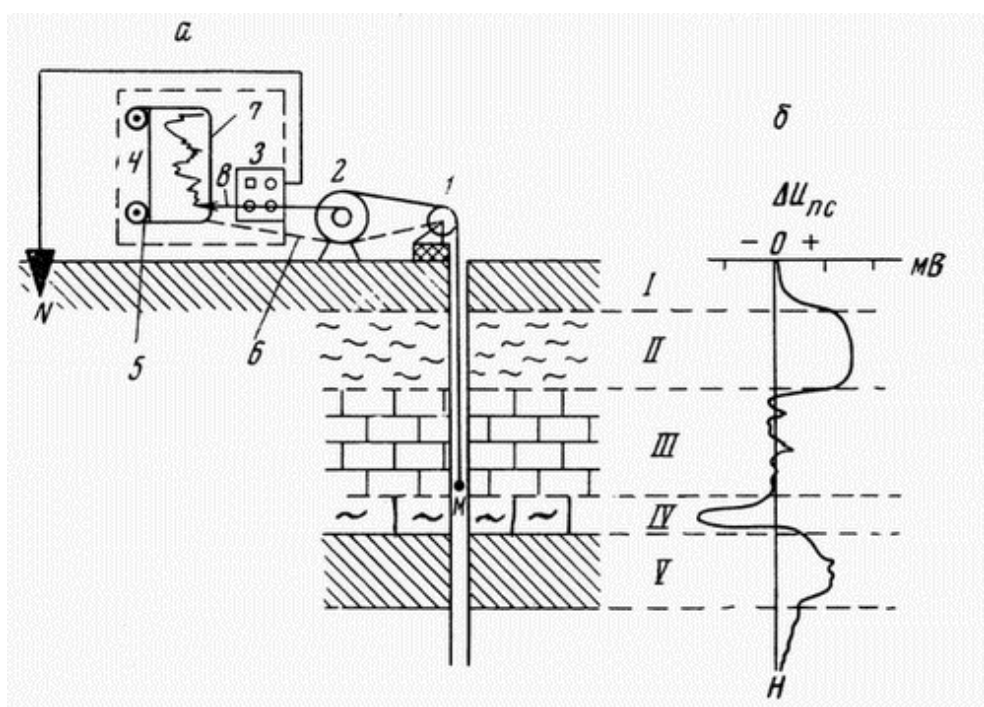


Рис. 1. Схема каротажа ПС способом потенциала с полуавтоматической регистрацией: а - схема установки: 1 - блок-баланс, 2 - лебедка с коллектором, 3 - милливольтметр, 4 - регистратор, 5 - лентопротяжной механизм, соединенный гибким валиком (б) с роликом блок-баланса, 7 - диаграммная бумага, 8 - карандаш; б - диаграмма естественных потенциалов по стволу скважины: I (почва) и III (известняки) - пласты со слабой электрохимической активностью, II (суглинки) и V (глины) - пласты с положительными аномалиями ПС, IV - пласт с отрицательной аномалией ПС, характерной для проницаемых слоев

В результате работ получают графики естественных потенциалов, измеряемые в милливольтгах (см. рис. 1б, 2). По аномалиям на диаграммах ПС выделяются пласты с разной электрохимической активностью. Однозначная литологическая интерпретация диаграмм ПС затруднена, т.к. естественное электрическое поле зависит от многих факторов. Чаще всего против глинистых пород наблюдаются положительные аномалии потенциала ПС, а около пористых проницаемых пластов - отрицательные. Интенсивными аномалиями положительного и отрицательного знака выделяются сульфидные залежи, пласты антрацита, графита. Слабыми аномалиями (единицы милливольт)

отличаются массивные, плотные, плохо проницаемые песчаники, известняки, изверженные породы.

Скважинные исследования методом ПС служат для расчленения геологических разрезов и корреляции по соседним скважинам отдельных пластов, выявления плохо проницаемых сланцев, глин и хорошо проницаемых песков, пористых известняков, выделения сульфидных, полиметаллических руд, угля, графита, оценки пористости и проницаемости пород.

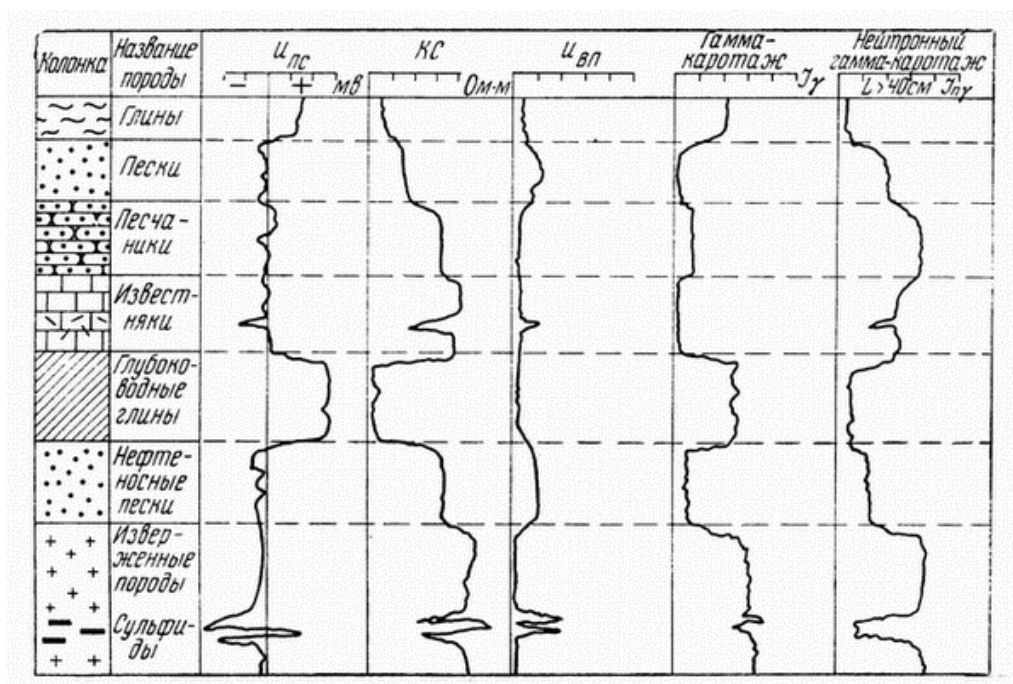


Рис. 2. Типичные диаграммы электрического и ядерного методов ГИС

Контрольные вопросы.

1. Что является предметом исследований ГИС?
2. Что такое электрический каротаж?
3. На чем основан метод КС и какие используют измерительные установки?
4. Что измеряется в методе ПС и какие используются установки?

Урок_73 (практика)

Тема 7.1: Изучение теоретических и фактических кривых каротажа. Оформление и обработка каротажных диаграмм. Геологическое истолкование полученных результатов.

План:

1. Геологическое расчленение разрезов скважин

2. Принципы корреляции.

Геофизические исследования в скважинах дают сведения о литологии пород, наличии тех или иных полезных ископаемых, мощности отдельных пластов, коллекторских, фильтрационных свойствах, пористости окружающих пород и т.п..

Геологическое расчленение разрезов скважин

Геологическое расчленение разрезов скважин и, в частности, определение литологии, мощности слоев, наличия различных полезных ископаемых - главное назначение геофизических методов исследований скважин. Эти задачи в ходе качественной интерпретации решаются в такой последовательности. На диаграммах, полученных разными методами, выделяются аномалии: максимумы, минимумы, положительные, отрицательные, повышенные, пониженные, средние, нулевые значения тех или иных параметров поля. Производится расчленение разреза на пласты, выясняются их положение и мощность, которая может быть определена по ширине большинства аномалий (ПС, КС, γ и др.). Кровля или подошва пластов выделяется по экстремумам КС, измеренным градиент-зондом, по акустическому каротажу.

Далее проводится корреляция одинаковых по виду аномалий по соседним скважинам. Сначала выделяются опорные горизонты (реперы), т.е. такие участки диаграмм, которые связаны с выдержанными по простиранию пластами, четко отличающимися по физическим свойствам от окружающих пород (например, в песчано-глинистых отложениях репером может быть пласт глин, слой известняков). Затем по каротажным диаграммам соседних скважин проводится корреляция всех слоев с одинаковым типом и формой аномалий.

Следующий этап интерпретации - сопоставление полученных по аномалиям разных методов каротажа пластов с определенными литологическими комплексами, или геологическое истолкование результатов. Для увязки геофизических данных с литологией используют все сведения по геологическому строению района, в том числе данные картировочного бурения, поинтервального отбора керна, анализа образцов, полученных с помощью грунтоносов, а также шлама и буровой жидкости в процессе проходки скважин.

Изверженные породы на диаграммах естественного поля (ПС) выделяются слабыми аномалиями положительного и отрицательного знака.

Полиметаллические, железные, сульфидные руды отличаются следующими аномалиями: интенсивными максимумами и минимумами ПС (особенно сульфидные руды), минимумами КС, максимумами ВП, повышенными значениями естественного гамма-излучения, скорости распространения упругих волн и магнитной восприимчивости (особенно у железных руд), пониженной интенсивностью рассеянного гамма-излучения.

Карбонатные породы характеризуются отрицательными значениями ПС, высокими сопротивлениями (сотни и даже тысячи ом*метров) у плотных пород и низкими сопротивлениями (десятки ом*метров) у трещиноватых и обводненных, небольшими аномалиями вызванных потенциалов. На диаграмме гамма-каротажа они выделяются низкими значениями, а на диаграммах нейтральных методов больших зондов - повышенными и у сухих пород и

пониженными у трещиноватых и обводненных. Они отличаются высокими скоростями распространения упругих волн и очень низкими значениями магнитной восприимчивости.

Песчаники и пески на диаграммах собственной поляризации выделяются, как правило, отрицательными аномалиями; сопротивление их меняется от долей ом*метров у песков, насыщенных минерализованными водами, до сотен ом*метров у цементированных песчаников; вызванные потенциалы бывают повышенными, особенно если в породе присутствуют глинистые частицы. Естественное гамма-излучение песчаников и песков по сравнению с глинами невелико, а вторичное гамма-излучение большое.

Глины и глинистые сланцы отмечаются на диаграммах положительными аномалиями ПС, низкими сопротивлениями (1 - 50 ом*м), малыми значениями вызванных потенциалов. Гамма-излучение у глин выше, чем у всех других осадочных пород. На диаграммах нейтронных методов глины отличаются минимумами, тем большими, чем больше их кавернозность, пористость и влагонасыщенность. Скорость распространения упругих волн у глин больше, чем у песков, и меньше, чем у песчаников.

Угли отличаются резкими положительными значениями ПС, широким диапазоном изменения КС (от единиц у антрацитов до сотен ом*метров у коксующихся и газовых углей), максимумами вызванных потенциалов. На диаграммах ядерных, акустических и магнитных методов пласты угля выделяются минимумами.

Приведенный обзор особенностей аномалий, наблюдаемых при каротаже против разных пород, показывает, что по данным одного-двух методов трудно судить о литологии пород, пройденных скважиной. Имея же несколько параметров (4 - 8), литологическую характеристику разреза можно дать довольно точно. Геологическую интерпретацию каротажных диаграмм можно проводить автоматически, применяя электронные вычислительные машины. Проще всего такую обработку вести при цифровой регистрации геофизических полей в скважинах.

По данным интерпретации диаграмм каротажа и корреляционных разрезов в изученном районе можно построить геологические разрезы, структурные карты, карты мощностей и решить другие геологические задачи.

Урок_74 (практика)

Тема 7.1: Изучение устройства каротажной станции, скважинных приборов, каротажного оборудования.

План:

1. Состав и назначение оборудования для комплексных геофизических исследований скважин.

Для проведения геофизических исследований скважин используется как общая аппаратура и оборудование, применяемые в большинстве методов ГИС (автоматические каротажные станции (АКС) или аппаратура геофизических исследований скважин (АГИС), спускоподъемное

оборудование), так и специальные скважинные приборы, разные в разных методах (глубинные или каротажные зонды). АКС (АГИС) смонтированы на автомашинах хорошей проходимости.

К общему оборудованию (рис. 1) каротажной станции относятся:

- источники питания (батарея аккумуляторов);
- приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока;
- лебедка, работающая от двигателя автомобиля и предназначенная для спуска и подъема каротажного кабеля в скважину (при каротаже глубоких скважин - более 3 км - лебедка устанавливается на отдельном автомобиле-подъемнике);
- блок-баланс, располагающийся вблизи скважины и предназначенный для направления кабеля в скважину и синхронной передачи глубины расположения индикатора поля на лентопротяжный механизм регистратора;
- одножильный, трехжильный или многожильный кабель в хорошей изоляции.

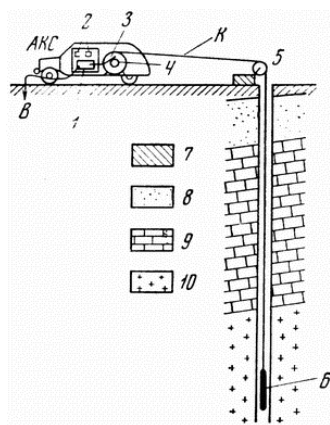


Рис. 1. Схема выполнения ГИС: АКС - автоматическая каротажная станция, К - каротажный кабель, 1 - источник питания, 2 - приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока, 3 - лебедка, 4 - коллектор лебедки, 5 - блок-баланс, 6 - глубинный каротажный зонд, 7 - глины, 8 - пески, 9 - известняки, 10 - изверженные породы

Изолированные друг от друга жилы кабеля с одной стороны подключаются к кольцам коллектора лебедки, а с другой - к глубинному каротажному зонду, то есть к устройству для измерения тех или иных параметров поля в скважине и трансформации их в электрические импульсы. В методах электрического каротажа зонд состоит из одного, двух, трех и более свинцовых электродов, укрепленных на кабеле. Такие зонды используются в скважинах, заполненных буровой жидкостью или водой. При работах в сухих скважинах применяются скользящие электроды, каждый из которых состоит из металлической щетки, укрепленной в обойме из изолятора на плоской металлической пружине. Пружины такого "фонарного" зонда прижимают электроды к стенкам скважины. Аналогично устроены микрозонды, в которых точечные электроды располагаются на планке из изолятора на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга. Планка укреплена на плоской пружине "фонаря", которая прижимает электроды к стенкам скважины.

В глубинном зонде ядерных методов помещаются счетчики гамма- или нейтронного излучения и предварительные усилители сигналов на их выходе. Для искусственных методов там же располагаются источники и экраны, препятствующие прямому облучению счетчика.

В гамма-методах экраны свинцовые, в нейтронных методах они парафиновые (см.2).

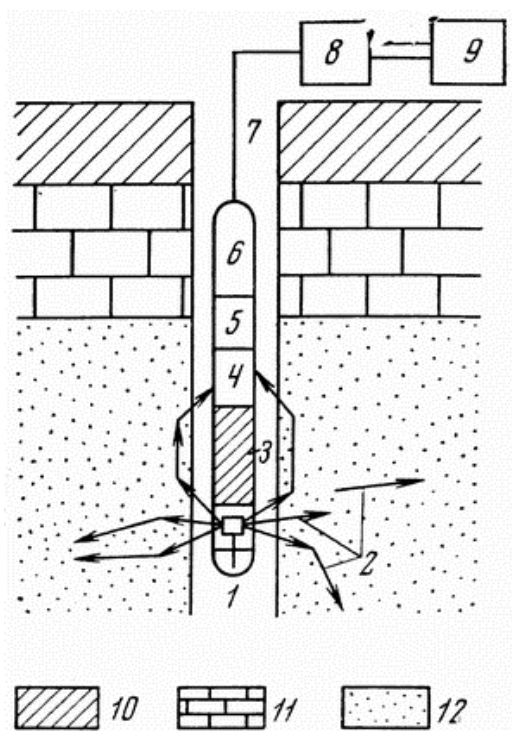


Рис. 2. Схема устройства глубинного прибора для искусственного ядерного каротажа: 1 - источник гамма-лучей или нейтронов; 2 - условные пути движений гамма-лучей или нейтронов; 3 - экран; 4 - счетчик; 5 - блок питания; 6 - предварительный усилитель; 7 - кабель; 8 - усилитель; 9 - регистратор; 10 - глина; 11 - известняки; 12 - пески

В глубинном зонде сейсмоакустических методов смонтирован источник упругих волн и два сейсмоприемника, изолированные резиновым экраном от источника.

В глубинном зонде для терморазведки установлен электрический термометр. Скважинные магнитные и гравиметрические наблюдения выполняются специальными приборами, трансформирующими наблюдаемые параметры в электрические сигналы. В глубинных приборах, кроме датчиков поля, размещаются электронные усилители электрических сигналов и блоки питания. Корпуса их герметичны, термостойки, баростойки.

В наземной автоматической каротажной станции смонтированы электронные усилители и регистраторы. Аналоговую регистрацию проводят на рулонной (редко фото-) бумаге или магнитной ленте. Современные АГИС являются цифровыми. В них сигналы кодируются в двоичном коде и записываются на магнитную ленту. Это обеспечивает возможность машинной обработки информации как с помощью больших ЭВМ, так и компьютеров, входящих в комплект станции. Имеются устройства для представления материалов в аналоговой форме.

Раньше существовали одноканальные станции. Сейчас изготавливаются многоканальные компьютеризированные телеизмерительные системы, позволяющие регистрировать информацию от нескольких датчиков. Станции АГИС изготавливаются для разных целей: изучения нефтегазовых, рудных и инженерно-геологических и гидрогеологических скважин.

ГИС неглубоких скважин (до 200 м) можно проводить с помощью полуавтоматических регистраторов. В них измеряемый милливольтметром сигнал компенсируется эталонной разностью потенциалов, пропорциональной отклонению карандаша от нулевой линии. Запись сигнала ведется на диаграммной бумаге.

Контрольные вопросы

1. Общее оборудование каротажной станции?
2. Типы каротажных кабелей?
3. Основные блоки каротажной станции?

Урок 75

Боковой каротаж

План

1. Основы метода.
2. Трёхэлектродный зонд
3. Семиэлектродный зонд
4. Область применения БК.
5. Микробоковой каротаж

1. Основы метода

Методом бокового каротажа исследуется кажущееся удельное сопротивление пластов. Этот метод входит в группу модификаций электрического каротажа, в которых используются зонды с управляемым электрическим полем. Боковой каротаж так же называют каротажем с зондами с фокусировкой тока.

Боковой каротаж проводят многоэлектродными (семь, девять электродов) и трёх электродными зондами. Применяют многоэлектродные зонды с электродами небольшого размера (точечными) и с кольцевыми электродами, установленными на изолированной трубе.

Трёхэлектродный зонд

Представляет собой длинный цилиндрический электрод, разделённый изоляционными прослойками на три части. Имеется основной (центральный электрод) А0; симметрично по отношению к нему расположены соединённые между собой удлинённые экранирующие электроды А1 и А2.

Отличается от каротажа обычными трёхэлектродными зондами тем, что кроме основного (центрального) питающего электрода А0, здесь используют дополнительные (экранирующие) электроды, через которые пропускают ток той же полярности, что и через питающий электрод А0.

Сила тока через электроды автоматически регулируется так, чтобы ток, выходящий из электрода А0, в некоторых пределах распространялся в направлении, перпендикулярном оси скважины (при вертикальных скважинах-горизонтально), захватывая слой определённой толщины.

Благодаря применению экранирующих электродов с регулируемой силой тока через них уменьшается влияние на результаты измерений бурового раствора, заполняющего скважину, и вмещающих пород и кажущееся сопротивление получается близким к удельному.

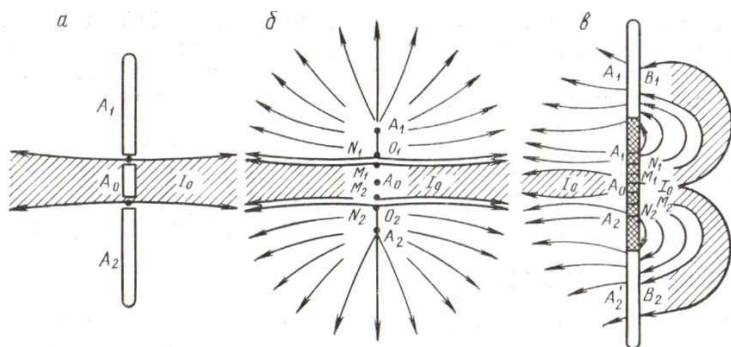


Рис. 1 Зонды бокового каротажа.

Семиэлектродный зонд

Имеется один центральный электрод А0 и три пары электродов, расположенных симметрично относительно него: М1 и М2, N1, и N2, А1 и А2; симметричные электроды соединены между собой. Электрод А0 - основной электрод, А1 и А2 - экранирующие.

Силы тока через электрод А0 сохраняют постоянной; силы тока через экранирующие электроды поддерживают такой, чтобы разность потенциалов между электродами М1 (М2) и N1 (N2) была равна нулю. Измеряют разность потенциалов DU между измерительными электродами зонда и удалённым электродом N.

В результате измерений получают кажущееся удельное сопротивление ρ_k , оно определяется по формуле:

$$\rho_k = K \Delta U_{KC} / I_0,$$

где I_0 сила тока через основной электрод А0; К-коэффициент зонда; он берётся таким, что бы в однородной среде кажущееся удельное сопротивление получалось равным удельному.

Результат измерений зондом бокового каротажа относят к точке А0; за длину L зонда принимают расстояние между точками O1 и O2 (серединами интервалов М1N1 и М2N2). Характеристиками для зонда являются также расстояние $L_{об} = A_1A_2$, называемое общим размером зонда, и параметр фокусировки зонда $q = (L_{об} - L) / L$.

Боковой каротаж целесообразно применять при бурении на сильноминерализованных растворах, так как хорошо проводящий раствор оказывает значительно меньшее влияние на показания бокового каротажа, чем на результаты измерения установками других типов. При проникновении в

пласт раствора большой минерализации велика вероятность понижающего проникновения, которое мало сказывается на кривых бокового каротажа. Также хорошие результаты получаются при применении бокового каротажа в разрезах, представленных малопористыми породами, для которых наблюдается большее отношение удельного сопротивления пород к удельному сопротивлению бурового раствора. В этом случае боковой каротаж обеспечивает хорошее расчленение разреза. Метод мало эффективен при изучении пластов с повышающим проникновением.

Большое применение получило комплексирование метода бокового каротажа, как с другими модификациями этого метода так и с другими методами геофизического исследования скважин, такими как индукционный каротаж.

Микробоковой каротаж

С помощью зондов этого типа измеряется удельное сопротивление прилегающей к стенке скважины части пласта.

На башмаке из изоляционного материала на стороне, обращённой к стенке скважины, монтируют небольшой зонд, состоящий из центрального основного А0 и трёх кольцевых электродов - двух (М и N) измерительных и внешнего А1 экранирующего.

Расстояние между кольцевыми электродами 1,25- 2,5 см, электрод А1 обычно образован совокупностью небольших электродов, центры которых расположены по окружности.

Принцип действия установки такой же, как и установки семиэлектродного бокового каротажа, вариантом которой он является.

Из этих данных можно заключить, что этот метод имеет широкое применение для решения задач исследования разреза скважины. Хотя существуют различные модификации метода, для решения конкретных задач, но общей особенностью всех модификаций является применение фокусирующих электродов, что позволяет значительно сузить толщину токовых линий и направить их непосредственно в изучаемый пласт. Так же с помощью некоторых модификаций можно наоборот уменьшить зону исследования зонда или придать токовым линиям определённую форму.

Контрольные вопросы

1. Сущность бокового каротажного зондирования.
2. Сущность микрокаротажа?
3. Область применения БК?
4. Область применения микрокаротажа?
5. Устройство трехэлектродного зонда БК?

Урок 76

Индукционный каротаж

План

1. Сущность метода.
2. Зонд ИК.
3. Результаты ИК.

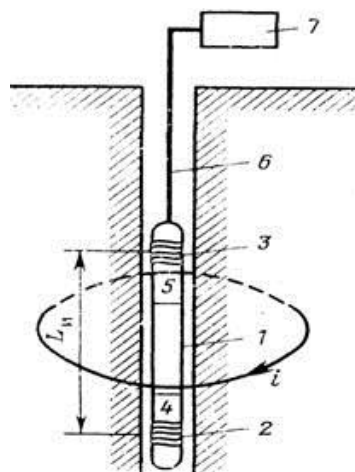


Рис.1. Принципиальная схема индукционного метода. 1-скважинный снаряд-зонд; 2-излучающая катушка; 3-приемная катушка; 4-генератор; 5-усилитель и выпрямитель; 6-кабель; 7-регистрирующий прибор

1.Изучение разрезов скважин индукционным методом основано на различии в электропроводности горных пород - величине, обратной удельному электрическому сопротивлению. Первоначально метод разрабатывался для исследования скважин, заполненных не проводящим электрический ток буровым раствором (на нефтяной основе), в котором обычно метод КС или метод экранированного заземления, имеющие систему токопроводящих и измерительных электродов, применены быть не могут. Однако в последующем были обнаружены существенные преимущества индукционного метода при изучении геологических разрезов низкого сопротивления в скважинах, заполненных обычным токопроводящим буровым раствором.

2.В самом элементарном виде индукционный каротажный зонд состоит из двух катушек - генераторной и измерительной, укрепленных на изолированном немагнитном стержне на некотором расстоянии $L_{и}$, друг от друга, называемом размером зонда . Генераторная катушка питается постоянным по величине переменным током высокой частоты (20-60 кГц), создающим переменное магнитное поле – прямое или первичное. В результате в породах; окружающих зонд индуцируются вихревые токи. токовые линии которых в однородной среде представляют собой окружности с центром по оси скважины. Вихревые токи создают. в свою очередь. вторичное переменное магнитное поле той же частоты.

Первичное и вторичное магнитные поля индуцируют в измерительной катушке ЭДС $E_{п}$. В индуцируемую ЭДС $E_{п}$ входит как составляющая ЭДС E_1 созданная прямым полем генераторной катушки и не связанная с электрическими свойствами горных пород. Поэтому в цепь приемной катушки с помощью дополнительной компенсационной катушки вводят компенсационную ЭДС $E_{к}$, равную E_1 и противоположную ей по фазе. Полезная часть сигнала, т. е. ЭДС E_2 , индуцируемая вторичным магнитным полем, подается на усилитель и далее через фазочувствительный выпрямитель по кабелю на поверхность к регистрируемому прибору. E_2 является активной составляющей ЭДС, индуцируемой вторичным магнитным полем, и приблизительно пропорциональна электропроводности окружающей среды. В результате в процессе перемещения зонда регистрируется диаграмма изменения электропроводности среды по

разрезу скважины. Точка записи зонда - середина расстояния между центрами генераторной и приемной катушек. Единицей измерения электропроводности σ пород является величина, обратная Ом-м, - сименс на метр (См/м). На практике используют мСм/м.

3. За отсчитываемые значения $\sigma_k(\rho_k)$ принимают экстремальные значения против пласта. Они близки к удельной электропроводности пласта и могут быть использованы вместо нее в пластах достаточной мощности при наличии скважины с пресным глинистым раствором ($\rho_p > 1,5$ Ом-м), отсутствии проникновения в пласт или наличии неглубокого повышающего проникновения. В остальных случаях при определении σ_p в исходные данные необходимо вносить соответствующие поправки на влияние скважины, ограниченную мощность пласта, явление скин-эффекта и наличие зоны проникновения фильтрата глинистого раствора. Для этих целей используют специальные палетки.

Индукционные зонды среднего размера (0,75-1 м) имеют радиус исследования, почти в 4 раза превышающий радиус обычных зондов каротажа КС, что позволяет более точно определять истинное сопротивление пород, обычно в диапазоне до 50 Ом.

Контрольные вопросы

1. Сущность метода ИК?
2. Методика и техника проведения каротажа.
3. Зонд ИК?

Урок 77

Методы радиоактивного каротажа

План

1. *Ядерные методы исследования скважин.*
2. Сущность гамма каротажа.
3. Диаграммы ГК.
4. Зонд ГК.
5. Область применения метода.

1. Ядерные методы исследования скважин

Ядерные исследования скважин подразделяются на методы изучения естественной радиоактивности (гамма-методы) и искусственно вызванной радиоактивности, называемые ядерно-физическими или ядерно-геофизическими (гамма-гамма и нейтронные методы).

2. Методы изучения естественной радиоактивности горных пород в скважинах.

На изучении естественной радиоактивности горных пород основан гамма-каротаж или гамма-метод (ГМ). Это аналог радиометрии.

Работы проводят с помощью скважинных радиометров разных марок. Электрические сигналы, пропорциональные интенсивности гамма-излучения, передаются с них по кабелю в обычную каротажную станцию, где и осуществляется их автоматическая регистрация.

В результате гамма-каротажа записывается непрерывная кривая, или диаграмма, интенсивности гамма-излучения. Величина измеряется в импульсах за минуту или в микрорентгенах в час (гаммах). Поскольку распад ядер является случайным процессом, то интенсивность гамма-излучения колеблется около среднего уровня, испытывая статистические флуктуации. Для их учета применяются повторные записи с меньшей скоростью проведения наблюдений. Так как гамма-лучи почти полностью поглощаются слоем породы толщиной 1 - 2 м, а до 30 % ядерной энергии не пропускается обсадными трубами, то скважинный радиометр может фиксировать гамма-излучение пород, расположенных в радиусе, не превышающем 0,5 м от оси скважины. Увеличение диаметра скважины и наличие воды или бурового раствора в ней еще больше снижают радиус обследования.

3. На диаграммах гамма-каротажа выявляются пласты с разной степенью радиоактивности. Максимумы выделяются породы и руды, содержащие уран, радий, торий, калий-40 и другие радиоактивные элементы, а также граниты, глины; минимумы - песчаные и карбонатные породы.

Среди других радиометрических методов исследования скважин наиболее распространенным является метод естественной радиоактивности горных пород или, как его чаще называют, гамма – метод. В его основе лежит изучение закономерностей изменения естественной радиоактивности горных пород, обусловленной присутствием главным образом урана и тория с продуктами распада, а также радиоактивного изотопа калия K^{40} . остальные радиоактивные элементы (Rb^{87} , Zr^{96} , La^{138} , Sm^{147} и т.д.) имеют столь большие периоды полураспада, что при существующей распространенности в земной коре заметного вклада в суммарную радиоактивность внести не могут.

В гамма – методе исследования скважин о величине естественной радиоактивности горных пород судят по интенсивности I_γ их естественного γ -излучения, регистрируемой радиометром, движущимся по стволу скважины.

4. Гамма – излучение включает также и так называемое фоновое излучение (*фон*). Фоновое излучение вызвано загрязнением радиоактивными веществами материалов, из которых изготовлен глубинный прибор, и космическим излучением. Влияние космического излучения резко снижается с глубиной и на глубине нескольких десятков метров на результатах измерений уже не сказывается.

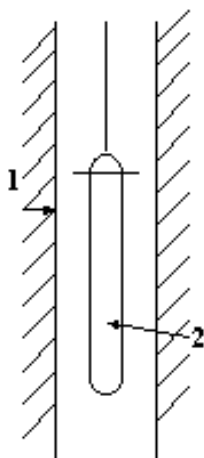


Рис.1 Схема зонда гамма-каротажа.

1 - точка записи результатов измерений.

2 - детектор гамма-излучения.

Условно считают, что эффективный радиус действия установки гамма – каротажа (радиус сферы, из которой исходит 90% излучений, воспринимаемых индикатором) соответствует приблизительно 30 см; излучение от более удаленных участков породы поглощается окружающей средой, не достигнув индикатора. Увеличение d_c из-за размыва стенки скважины и образования каверн (обычно в глинистых породах) сопровождается уменьшением показаний гамма – каротажа. Цементное кольцо в большинстве случаев также влияет на величину регистрируемого γ -излучения, уменьшая ее. Для определения γ -активности пласта при количественной интерпретации данные гамма – каротажа приводят к стандартным условиям.

Интенсивность радиоактивного излучения пород в скважине измеряют при помощи индикатора γ -излучения, расположенного в глубинном приборе. Регистрация осуществляется в процессе взаимодействия гамма – излучения с атомами и молекулами вещества, наполняющего индикатор. В качестве индикатора используют счетчики Гейгера – Мюллера или более эффективные, лучше расчленяющие разрез сцинтилляционные счетчики.

5. Область применения метода.

В комплексе с данными других методов промысловой геофизики результаты гамма – метода исследования скважин используются для литологического расчленения разрезов скважин, для их корреляции и для выделения в них полезных ископаемых. В осадочных отложениях они являются наиболее надежным геофизическим критерием степени глинистости горных пород.

Контрольные вопросы

1. Сущность гамма метода?
2. Принцип работы зонда ГК?
3. Сущность обработки данных ГК?
4. Счетчики применяемые в зондах ГК?

Урок 78

Гамма-гамма каротаж.

План

1. **Сущность гамма-гамма каротажа.**
2. **Модификации метода ГГК.**
3. **ГГК плотностной.**
4. **ГГК селективный.**

Гамма-Гамма-каротаж (ГГК)

1. Гамма-гамма-каротаж (ГГК) – один из важнейших методов исследования разрезов нефтегазовых скважин. ГГК применяется для количественного определения плотности и эффективного атомного номера горных пород.

При гамма-гамма-каротаже горная порода облучается γ -квантами и регистрируется γ -излучение, достигшее детектора, расположенного на некотором расстоянии (длине зонда) от источника.

2. Различают две основные модификации ГГК: метод поглощения γ -излучения или метод прямого пучка, применяемый для изучения свойств среды, находящейся между источником и детектором, и метод рассеянного γ -излучения, при котором среда находится вне прямой, соединяющей детектор и источник. Когда говорят о ГГК без оговорок, имеется в виду именно этот метод. В приборах этого метода экран, установленный между источником и детектором, практически полностью поглощает прямое излучение источника, и поэтому детектором измеряется излучение, притерпевшее хотя бы одно рассеяние на атомах среды, окружающей прибор.

В зависимости от преобладающей энергии квантов, регистрируемых детектором, различают плотностную и селективную модификации ГГК.

Характерный диапазон энергий квантов, регистрируемых при плотностном гамма-гамма каротаже –0.15-0.4 МэВ. В этом диапазоне энергий показания определяются плотностью пород.

4. Измеряемым параметром плотностной модификации ГГКП является "эквивалентная плотность" пород, равная такой плотности водонасыщенного известняка, у которого электронная плотность равна электронной плотности исследуемой породы. В породах с одинаковой электронной плотностью показания ГГКП совпадают.

При проведении ГГК существует ряд мешающих факторов. Как и в других геофизических методах, от них не удастся избавиться. Это возможно сделать в специально организованном (оптимизированном) двухзондовом варианте.

Изменение диаметра скважины в диапазоне от 160 до 300 мм практически не влияет на результаты измерения плотности горных пород. Также не влияет тип и вещественный состав промывочной жидкости.

ГГКП основан на измерении жесткой составляющей рассеянного гамма-излучения, применяется для измерения плотности горных пород в разрезах скважин.

В качестве источника гамма-излучения при ГГКП используют изотоп цезия (^{137}Cs) с периодом полураспада 26 лет и энергией γ -квантов 0,662 МэВ. Для регистрации излучения применяются в основном сцинтилляционные детекторы. Источник и индикатор расположены на одной стороне исследуемого объекта. Индикатор заключен в стальную гильзу, поглощающую мягкую компоненту (до 200 кэВ) гамма-излучения, которая не достигает индикатора. В этом случае регистрируется жесткая компонента рассеянного гамма-излучения. Расстояние между серединой источника и серединой индикатора называют длиной зонда. Оптимальная длина зонда 30—50 см. В породах с малой плотностью при небольшой длине зонда линейность нарушается. Для снижения влияния скважины на показания ГГКП источник и индикатор прижимаются к стенке скважины и экранируются от нее свинцом. Однако наличие между прибором и стенкой скважины промежуточного слоя (ПЖ, воздуха, глинистой корки, железной колонны) приводит к изменению средней плотности исследуемой среды. Глинистая корка и неровности стенки скважины вызывают

увеличение показаний ГГКП.

Из расчетов следует, что увеличение толщины промежуточного слоя между прибором и пластом всего на 1 см изменяет кажущуюся плотность пород по ГГКП на $0,12—0,3 \text{ г/см}^3$, что снижает точность определения плотности пород, несмотря на наличие прижимного устройства. Сильное влияние промежуточной среды объясняется малой глубиной ГГКП; при длине зонда $l_z = 30 \text{ см}$ 90% регистрируемого излучения поступает от слоя пород толщиной 10—12 см, а при $l_z = 12\text{--}15 \text{ см}$ — от слоя пород толщиной всего 6—7 см. Минерализация промывочной жидкости и пластовой воды мало сказывается на показаниях ГГКП.

Селективная модификация Гамма – Гамма каротажа.

В селективной модификации применяют источники мягкого излучения, дающие поток гамма – квантов с энергией менее 0,3 – 0,4 МэВ, а детекторы регистрируют мягкую компоненту с $E < 0,2 \text{ МэВ}$. Применение ГГКС решает, в общем случае, задачи по изучению вещественного, элементного состава горных пород через определение эффективного атомного номера $Z_{\text{эф}}$.

Облучение исследуемой среды гамма - квантами и регистрация рассеянного гамма - излучения осуществляют с помощью зондовых устройств скважинного прибора. Зондовое устройство включает в себя источник излучения, детектор и экраны. В прижимных зондах источник и детектор помещены в экраны из тяжелого вещества (свинец, вольфрам) с ориентированными коллиматорами (апертура раскрытия $20—70^\circ$), контактирующими со стенкой скважины.

Метод хорошо работает на рудных скважинах, как основной ставится на угольных месторождениях. Позволяет определять зольность углей, а в комплексе с КС определять марку углей

Контрольные вопросы.

1. На чем основан гамма-гамма каротаж?
2. Из чего состоят зонды ГГК?
3. Для чего применяют ГГК?

Урок 79

Тема: Нейтронный каротаж

План:

1. Сущность метода.
2. Виды нейтронного каротажа.
3. Диаграммы нейтронного каротажа.
4. Аппаратура нейтронного каротажа.
5. Область применения нейтронного каротажа.

Нейтронный каротаж

1. метод геофизических исследований, основанный на взаимодействии нейтронов с веществом горных пород. В скважину опускают толстостенную стальную гильзу, содержащую нейтронный источник и детектор, регистрирующий вторичное излучение. Последнее возникает в результате взаимодействия нейтронов с атомными ядрами породы. Между источником и детектором устанавливается фильтр из парафина, Рb или Bi, препятствующий прямому попаданию нейтронов из источника в детектор. Сигналы детектора, усиленные и сформированные с помощью электронных устройств, передаются по кабелю наверх для регистрации и анализа. Перемещая гильзу вдоль скважины, записывают каротажную диаграмму — зависимость скорости счёта сигналов от глубины.

2. Существует около 10 вариантов нейтронного каротажа, отличающихся типом нейтронного источника, видом вторичного излучения, а также характером получаемой информации. В случае нейтрон-нейтронного каротажа регистрируются тепловые нейтроны, образующиеся в результате замедления в горной породе быстрых нейтронов источника. При нейтронном γ -каротаже регистрируются γ -кванты, возникающие при захвате медленных нейтронов ядрами. В этих вариантах нейтронного каротажа с источником непрерывного действия определяется относительное количество водорода в пластах. Так как водород — наиболее эффективный замедлитель нейтронов, то в породах с порами, заполненными водой или нефтью, нейтроны замедляются уже на небольших расстояниях от источника. Например, в песчанике с 20%-ной пористостью расстояние, в котором около 60% нейтронов источника (с энергией 5 Мэв) становятся тепловыми, — порядка нескольких см. Число тепловых нейтронов (или γ -квантов радиационного захвата, достигающих при этом детектора, невелико, так как расстояние до него существенно больше (30—50 см). С уменьшением содержания водорода в пласте длина замедления растёт, нейтроны становятся тепловыми в области, более близкой к детектору, и число его отсчётов увеличивается. Т. о., минимумы на каротажной диаграмме соответствуют пластам с повышенным содержанием водорода.

3. Кроме пористых пластов (песчаника, известняка) с водой или нефтью, диаграммы нейтронного каротажа дают возможность выделить более плотные пласты, границы пластов, глинистые прослойки, а также границы между жидкостью и газом, что даёт возможность применять Н. к. при поисках месторождений газа.

Нейтронный каротаж с источником непрерывного действия не даёт, однако, возможности надёжно отличать пласты, насыщенные водой и нефтью, так как они как замедлители нейтронов неразличимы. Для этой цели эффективнее оказался нейтронного каротажа с импульсным источником (импульсный Н. к.). Пластовая вода обычно содержит минеральные соли, например NaCl, в то время как в нефти они отсутствуют. Из-за поглощения нейтронов в Cl время жизни τ тепловых нейтронов в пласте, содержащем воду, меньше, чем в нефтяном пласте. В импульсном нейтронном каротаже нейтроны испускаются в течение коротких интервалов времени — от 1 до 10 мксек, а регистрируются лишь те сигналы от детектора, которые приходят через время $t > \tau$ после нейтронного импульса. При этом число регистрируемых сигналов будет зависеть от τ . В пласте, содержащем воду, для которого τ невелико, к моменту t остаётся мало нейтронов и интенсивность регистрации мала. В пласте же, насыщенном нефтью, τ больше и нейтронов остаётся больше. В районах с сильной минерализацией пластовых вод (200 г NaCl на 1 л) достигаются десятикратные различия в показателях прибора против нефте- и водонасыщенных участков пласта. Импульсный нейтронного каротажа получил распространение после создания малогабаритных импульсных нейтронных генераторов.

4. В нейтронном каротаже с регистрацией γ -квантов применяются сцинтилляционный счётчик и полупроводниковые детекторы, обладающие высокой разрешающей способностью. Измерение спектра γ -квантов радиационного захвата позволяет осуществлять элементный анализ горных пород. Используя при этом импульсный нейтронный каротаж, удаётся определять и спектр γ -лучей, возникающих при неупругом рассеянии нейтронов на ядрах. Такой вариант нейтронного каротажа сулит возможность выделения нефтеносных пластов по содержанию C , т. е. независимо от наличия солей в пластовых водах.

5. Нейтронный каротаж входит в комплекс обязательных геофизических работ, проводимых на всех скважинах, вводимых в строй. Нейтронный каротаж применяется также для поиска пропущенных нефтяных горизонтов в старых скважинах.

После облучения породы нейтронами в ней возникает радиоактивность, измерение которой даёт также информацию о составе породы (нейтронно-активационный каротаж). Основанные на этом методы нейтронного каротажа применяются при поиске полезных ископаемых и в др. геологических исследованиях.

Контрольные вопросы

1. Отличие НК от других методов радиоактивного каротажа?
2. Зонд НК?
3. Область применения НК?

Урок 80(практика)

Тема 7.2: Методы радиоактивного каротажа.

Работы проводят с помощью скважинных радиометров разных марок. Электрические сигналы, пропорциональные интенсивности гамма-излучения, передаются с них по кабелю в обычную каротажную станцию, где и осуществляется их автоматическая регистрация.

В результате гамма-каротажа записывается непрерывная кривая, или диаграмма, интенсивности гамма-излучения (Γ). Величина измеряется в импульсах за минуту или в микрорентгенах в час (гаммах). Поскольку распад ядер является случайным процессом, то интенсивность гамма-излучения колеблется около среднего уровня, испытывая статистические флуктуации. Для их учета применяются повторные записи с меньшей скоростью проведения наблюдений. Так как гамма-лучи почти полностью поглощаются слоем породы толщиной 1 - 2 м, а до 30 % ядерной энергии не пропускается обсадными трубами, то скважинный радиометр может фиксировать гамма-излучение пород, расположенных в радиусе, не превышающем 0,5 м от оси скважины. Увеличение диаметра скважины и наличие воды или бурового раствора в ней еще больше снижают радиус обследования.

На диаграммах гамма-каротажа выявляются пласты с разной степенью радиоактивности. Максимумы выделяют породы и руды, содержащие уран, радий, торий, калий-40 и другие радиоактивные элементы, а также граниты, глины; минимумы - песчаные и карбонатные породы.

Спектрометрия естественного гамма-излучения, т.е. определение энергии гамма-лучей, служит для выделения в разрезах скважин пород и руд, содержащих определенные элементы, например, калий, торий, уран, фосфор и др.

Методы скважинных исследований с искусственным облучением горных пород.

1. В искусственных скважинных методах ядерных исследований изучаются явления поглощения, замедления, рассеяния гамма-лучей и нейтронов, а также вызванное, вторичное радиоактивное излучение. Эти методы являются ядерно-физическими. Для этого в скважину опускается глубинный зонд с источником гамма-лучей или нейтронов, облучающий горные породы. В этой же скважине за экраном (свинец для гамма-лучей или парафин для нейтронов), препятствующим прямому воздействию облучений, помещается регистратор гамма-лучей или нейтронов (рис. 7.2). В настоящее время широко используются несколько методов искусственных ядерных исследований в скважинах. Рассмотрим некоторые из них.

2. При гамма-гамма-каротаже (ГГК), или гамма-гамма-методе (ГГМ), измеряется рассеянное гамма-излучение, являющееся следствием облучения пород источником гамма-лучей, например, радиоактивным кобальтом, сурьмой. При взаимодействии гамма-квантов с атомами горной породы происходит ряд сложных процессов, среди которых основные - фотоэлектрическое поглощение гамма-квантов атомами вещества, комптон-эффект и др. Чем больше плотность породы, тем больше поглощение и меньше интенсивность рассеянного излучения. И наоборот, против пористых пород с малой плотностью наблюдаются максимумы на диаграммах гамма-гамма-каротажа. Поэтому основная область применения этого метода - расчленение пород по их плотности. Радиус обследуемых пород равен 10 - 15 см от оси скважины. Получаемая по данным ГГК средняя объемная плотность пород может служить для расчета их пористости и оценки коллекторских свойств.

3. В нейтронных методах каротажа изучаются ядерные процессы, происходящие при облучении пород быстрыми нейтронами. Если порода содержит большое количество ядер водорода (вода, нефть, газ), то быстрые нейтроны превращаются в тепловые после небольших путей пробега (до 30 см) или вблизи источника. На больших расстояниях (свыше 40 см) плотность тепловых нейтронов будет меньшей. Поскольку тепловые нейтроны подвержены радиационному захвату с сопровождающим его вторичным гамма-излучением, то с ростом тепловых нейтронов растет вторичное гамма-излучение, а там, где тепловых нейтронов мало, гамма-излучение будет слабым.

Таким образом, на больших расстояниях от источника (40 - 60 см), т.е. на зондах большой длины, в породах, содержащих тяжелые элементы, плотность тепловых нейтронов и вторичное гамма-излучение будут выше, чем в водородсодержащих породах. Радиус обследуемых нейтронными методами пород меняется от 20 до 60 см.

При нейтрон-нейтронном каротаже (ННК), или нейтрон-нейтронном методе (ННМ), измеряется плотность тепловых нейтронов или их интенсивность. При нейтронном гамма-каротаже (НГК), или нейтрон-гамма методе (НГМ), измеряется интенсивность вторичного гамма-излучения, возникающего при радиационном захвате тепловых нейтронов ядрами элементов горной породы. Наблюдения в методах ННК и НГК проводятся с зондами большого размера (40 - 60 см от источника нейтронов).

Нейтронные методы каротажа (ННК и НГК) применяются для расчленения геологических разрезов и особенно для выявления водород- и хлорсодержащих пород, а также оценки их пористости.

4. Среди искусственных методов ядерного каротажа на месторождениях твердых полезных ископаемых одним из наиболее перспективных является рентгенорадиометрический каротаж (РРК). В этом методе породы облучаются каким-нибудь радиоизотопным источником (например, селен-75, кобальт-57, железо-55 и др.). В результате облучения ядра рудных элементов возбуждаются, что сопровождается так называемым характеристическим рентгеновским излучением, энергетический спектр которого различен у разных элементов. Изучая спектры этого излучения или отношения интенсивностей в разных интервалах спектров, можно выделить в разрезах скважин руды, содержащие определенные элементы.

Рентгенорадиометрический метод можно использовать для выявления вольфрама, молибдена, меди, свинца, олова, ртути, сурьмы и многих других элементов. Этот метод позволяет не только выделить рудные зоны, но и дать оценку процентного содержания в них рудных элементов.

Урок 81

Тема: Магнитный каротаж. Термометрия.

План

1. Сущность магнитного каротажа.
2. Область применения магнитного каротажа.
3. Сущность термометрии.
4. Виды термометрии.
5. Область применения термометрии.

1 Магнитный каротаж основан на изучении магнитных характеристик горных пород и напряженности геомагнитного поля в породах, вскрытых скважиной. Он включает:

- каротаж естественного магнитного поля, основанный на изучении: вектора (модуля вектора) T напряженности геомагнитного поля или его составляющих X, Y, Z ; приращений полного вектора или его составляющих ($\Delta T, \Delta Z$); компонент нормального (T_n, Z_n) и аномального (T_a, Z_a) поля. Единица измерения в системе СИ - тесла (Тл), дробная единица - нанотесла ($1 \text{ нТл} = 10^{-9} \text{ Тл}$). Радиус исследований при каротаже естественного магнитного поля изменяется от нескольких метров до 100-150 м в зависимости от геометрии и магнитных свойств влияющего объекта;
- каротаж магнитной восприимчивости (КМВ), основанный на изучении искусственного переменного электромагнитного поля, величина ЭДС которого определяется магнитной восприимчивостью s горных пород. Допускается выражение результатов измерений в единицах СИ или СГС, связанных между собой соотношением $\chi(\text{СИ}) = 4\pi\chi(\text{СГС})$. Радиус исследований составляет 10-60 см.

2. В нефтегазовых скважинах магнитный каротаж применяют для:

- определения магнитной восприимчивости и намагниченности пород в разрезах параметрических скважин;
- литологического расчленения и корреляции геологических разрезов;

- выделения интервалов разреза, содержащих магнитные минералы и зоны оруденения;
- определения элементов залегания пород, которые дифференцируются по магнитным свойствам;
- обеспечения интерпретации наземных магниторазведочных работ.

Магнитный каротаж выполняют в необсаженных скважинах. Дополнительными ограничениями являются присутствие в промывочной жидкости добавок ферромагнитных минералов (гематита) и влияние металлических конструкций скважины в радиусе исследования зондов.

2 Для проведения магнитного каротажа применяют: скважинные каппаметры — для исследования магнитной восприимчивости среды; скважинные магнитометры для измерения напряженности магнитного поля. Рекомендуется использовать приборы, сочетающие оба модуля.

Основные требования к приборам для магнитного каротажа: определение магнитной восприимчивости χ и модуля вектора T напряженности геомагнитного поля и его составляющих; возможность исследования слабомагнитных разрезов с $\chi < 10^{-4}$ ед. СИ и аномалиями магнитного поля менее 10000 нТл.

3. Термический метод.

При термическом (или геотермическом) каротаже вдоль ствола скважины непрерывно регистрируется температура среды. Для термических исследований чаще всего применяют электрические термометры (или термометры сопротивлений) разных марок и регистрирующее устройство обычной каротажной станции.

На температуры в скважинах искажающее влияние могут оказывать разные причины: изменение диаметра скважины, потоки воздуха или буровой жидкости, нагрев породы после бурения и др. Эти факторы необходимо учитывать или исключать при выявлении температурных аномалий.

4. Термический каротаж подразделяется на методы естественных (МЕТ) и искусственных (МИТ) тепловых полей. Кривая изменения естественных температур пород в скважине (рис. 1, а) и рассчитанный по ней геотермический градиент каждого i -го пласта $\Gamma_i = \Delta T_i / \Delta H_i = q_i / \lambda_i$ зависят от теплового потока q_i и теплопроводности слагающих пород λ_i . В случае горизонтального залегания пород тепловой поток по стволу скважины остается практически постоянным, и по графику геотермического градиента легко выделить породы с разной теплопроводностью.

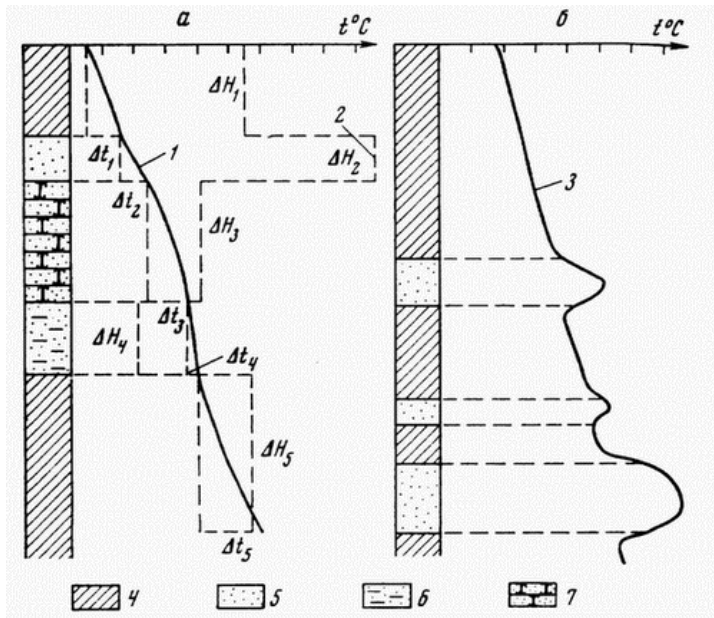


Рис. 1. Общий вид скважинных термограмм тепловых полей, естественного (а) и искусственного (б) при температуре бурового раствора, меньшей температуры породы: 1, 3 - термограммы; 2 - график геотермического градиента; 4 - глины; 5 - пески сухие; 6 - пески влажные; 7 - песчаники

При изучении искусственных тепловых полей буровая жидкость или вода в скважине подогревается или охлаждается. Периодически измеряют температуру по стволу скважины до установления нормальных температур. В результате выявляются аномалии (рис. 1, б).

5. Термические исследования применяют для изучения тепловых потоков в земной коре, изучения границ распространения мерзлых пород, выявления в разрезах скважин газо-, нефте- и водоносных пород, углей, различных руд, определения мест притоков газа, нефти, подземных вод, оценки скоростей фильтрации подземных вод и решения ряда других задач. Методы искусственного теплового поля применяют в основном для изучения пористости пород и их фильтрационных свойств.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры измеряют в магнитном каротаже?
2. Область применения магнитного каротажа?
3. Сущность термометрии?
4. Определение термического градиента?
5. Задачи решаемые термометрией?

Урок 82

Тема: Акустические методы

План

1. Сущность акустического каротажа.
2. Зонд акустического каротажа.
3. Область применения акустического каротажа.

Акустический каротаж (АК) основан на изучении характеристик упругих волн ультразвукового и звукового диапазона в горных породах. При АК в скважине возбуждаются упругие колебания, которые распространяются в ней и в окружающих породах и воспринимаются приемниками, расположенными в той же скважине.

1. Физические основы акустического каротажа

В естественном залегании горные породы практически являются упругими телами. Если в элементарном объеме некоторой упругой среды в течение короткого времени действует внешняя возбуждающаяся сила, в среде возникают напряжения, вызывающие относительное перемещение частиц. Это ведет к возникновению двух типов: деформации объема (растяжения, сжатия) и деформации формы (сдвига). Процесс последовательного распространения деформации называется упругой сейсмической волной. Упругая волна, распространяясь во все стороны, захватывает все более удаленные области. Поверхность, отделяющая в данный момент времени область среды, в которой уже возникло колебание частиц, от той, где колебания еще не наблюдаются, называется фронтом волны.

Линии, нормальные к волновым поверхностям, носят название лучей. В однородной среде лучи прямолинейны, а в неоднородной они имеют криволинейную форму. Распространение фронта волны изучается при помощи известного в геометрической сейсмике принципа Гюйгенса-Френеля, согласно которому каждая точка фронта рассматривается как источник элементарных волн, а понятие луча связывают с направлением переноса энергии волны. Различают два типа волн - продольные Р и поперечные S

2. При акустическом каротаже возбуждение упругих колебаний частотой 10 - 20 кГц и 20 кГц - 2 МГц производится с помощью магнестрикционных (или иных) излучателей. Упругие колебания измеряют с помощью двух пьезоэлектрических сейсмоприемников, расположенных по одной линии на расстояниях 0,5 - 2 м друг от друга и от излучателя (рис. 1.6). Между излучателем и ближайшим приемником устанавливается звукоизолятор, например, из резины, препятствующий передаче упругих колебаний по зонду. Все перечисленные приборы вместе с электронным усилителем принятых колебаний размещаются в скважинном снаряде акустического каротажа. Остальная аппаратура располагается в каротажной станции. Акустический каротаж выполняется как в необсаженных скважинах, заполненных жидкостью, так и в обсаженных скважинах. Радиус исследования пород от оси скважины не превышает 0,5 - 1 м.

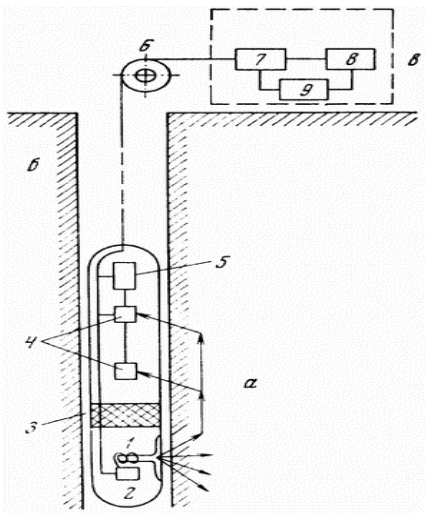


Рис. 1. Схема аппаратуры акустического каротажа: а - скважинный снаряд; б - кабель; в - наземная аппаратура; 1 - излучатель; 2 - генератор импульса; 3 - акустический изолятор; 4 - приемники; 5 - электронный усилитель; 6 - блок-баланс; 7 - усилитель; 8 - регистратор; 9 - блок питания

Наиболее простой способ акустических исследований - каротаж скорости, когда автоматически регистрируется кривая изменения времени пробега прямой или головной волны между двумя приемниками. Поскольку расстояние между приемниками постоянно, то кривая времени является фактически обратным графиком изменения скорости. При каротаже по затуханию измеряется амплитуда упругой волны и ослабление сигнала между двумя приемниками.

Скорость распространения упругих волн зависит от упругих модулей пород, их литологического состава, плотности и пористости, а величина затухания - от характера заполнителя пор, текстуры и структуры породы.

3. Данные акустического каротажа в комплексе с другими геофизическими методами дают возможность определить пористость пород; выделять зоны трещиноватости и кавернозности в карбонатном разрезе; уточнить литологию разреза; получить сведения о техническом состоянии скважин (высоте подъема цементного кольца в затрубном пространстве и качестве цементации скважин); вычислить средние и пластовые скорости распространения упругих колебаний, используемых при интерпретации данных сейсморазведки. Располагая диаграммами акустического каротажа, можно сократить объем экспериментальных сейсмических исследований в районе проведения сейсморазведочных работ с целью выделения отражающих горизонтов и оценки качества отражения.

Контрольные вопросы.

1. Из чего состоит прибор акустического каротажа?
2. Сущность АК?
3. Область применения АК?

Урок 83

Тема 7.3: Кавернометрия. Инклинометрия.

План:

2. Кавернометрия.
3. Инклинометрия.

Кавернометрия.

Для измерения диаметров скважин применяются специальный прибор - каверномер и оборудование обычной каротажной станции. Каверномер состоит из металлической гильзы, вдоль ствола которой располагаются ромбовидные рычаги-щупы, при подъеме каверномера рычаги под действием пружины раскрываются и плотно прижимаются к стенкам скважины. При изменении угла раскрытия рычагов движется закрепленный на них шток, который связан с ползунковым реостатом. Это приводит к изменению сопротивления реостата и тока в электрической цепи, который подается на регистратор. Установив в процессе градуировки зависимость между током и радиусом раскрытия рычагов, легко перевести график его изменения в кривую изменения диаметра скважины (кавернограмму). Она служит для уточнения геологического разреза, изучения технического состояния скважин и интерпретации результатов скважинных исследований.

Инклинометрия.

Для определения на любой глубине угла отклонения оси скважины от вертикали и азимута ее искривления по отношению к устью применяются специальный прибор - инклинометр и оборудование обычной каротажной станции. В не обсаженных скважинах используются электрические инклинометры. В корпусе такого инклинометра помещается свободно подвешенная рамка, которая по отвесу располагается горизонтально. На ней имеется буссоль для измерения азимута и указатель наклона. Стрелка буссоли и указатель наклона рамки скользят по реохордам азимутам и углов наклона, которые поочередно можно подключать к токовой линии инклинометра. Стрелка и указатель передают напряжение с реохордов, пропорциональное азимуту или углу наклона.

В скважинах, обсаженных металлическими трубами, измерение азимута и угла проводят гироскопическими инклинометрами. Принцип работы этих приборов основан на свойстве гироскопа (устройства, маховик которого быстро вращается от специального электромотора) сохранять неизменной в пространстве ось вращения. В инклинометре два гироскопа: один для измерения азимутам, другой - для измерения углов наклона. С помощью особых электрических схем определяются углы, составленные инклинометром (направлением скважины) с осями вращения гироскопов.

Точность измерения углов инклинометром достигает 30', а азимутам - нескольких градусов. Если учесть, что глубокая скважина на разных глубинах может отклоняться от вертикали на сотни метров, а по азимуту превышать 360°, то нетрудно понять практическое значение инклинометрии. Особенно необходима инклинометрия в скважинах наклонного бурения.

Контрольные вопросы.

1. Какой прибор используют для измерения диаметра скважин?
2. Какой прибор используют для определения искривлений скважин?

Урок 84 (практика)

Кривые акустического каротажа, термометрии.

При акустическом каротаже возбуждение упругих колебаний частотой 10 - 20 кГц и 20 кГц - 2 МГц производится с помощью магнитострикционных (или иных) излучателей. Упругие колебания измеряют с помощью двух пьезоэлектрических сейсмоприемников, расположенных по одной линии на расстояниях 0,5 - 2 м друг от друга и от излучателя (рис. 6). Между излучателем и ближайшим приемником устанавливается звукоизолятор, например, из резины, препятствующий передаче упругих колебаний по зонду. Все перечисленные приборы вместе с электронным усилителем принятых колебаний размещаются в скважинном снаряде акустического каротажа. Остальная аппаратура

располагается в каротажной станции. Акустический каротаж выполняется как в необсаженных скважинах, заполненных жидкостью, так и в обсаженных скважинах. Радиус исследования пород от оси скважины не превышает 0,5 - 1 м.

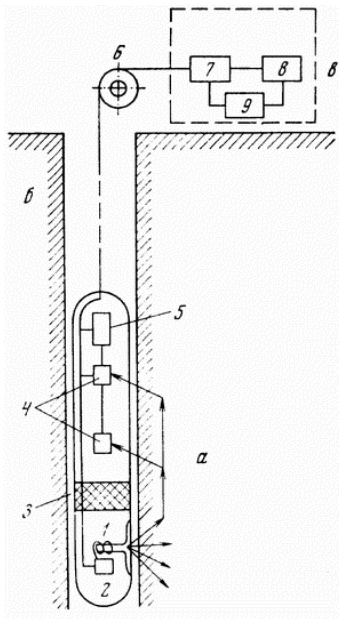


Рис. 6. Схема аппаратуры акустического каротажа: а - скважинный снаряд; б - кабель; в - наземная аппаратура; 1 - излучатель; 2 - генератор импульса; 3 - акустический изолятор; 4 - приемники; 5 - электронный усилитель; 6 - блок-баланс; 7 - усилитель; 8 - регистратор; 9 - блок питания

Наиболее простой способ акустических исследований - каротаж скорости, когда автоматически регистрируется кривая изменения времени пробега прямой или головной волны между двумя приемниками. Поскольку расстояние между приемниками постоянно, то кривая времени является фактически обратным графиком изменения скорости. При каротаже по затуханию измеряется амплитуда упругой волны и ослабление сигнала между двумя приемниками.

Скорость распространения упругих волн зависит от упругих модулей пород, их литологического состава, плотности и пористости, а величина затухания - от характера заполнителя пор, текстуры и структуры породы (рис. 7). На акустических диаграммах высокими значениями скоростей распространения упругих волн выделяются плотные породы - магматические, метаморфические, скальные, осадочные. В рыхлых песках и песчаниках скорость тем ниже, чем больше пористость. Наибольшее затухание (наименьшая амплитуда сигнала) наблюдается в породах, заполненных газом, меньше затухание в породах нефтенасыщенных, еще меньше - у водонасыщенных.

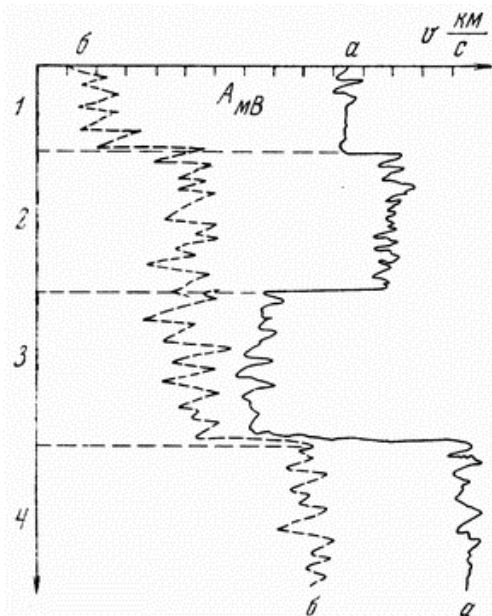


Рис.7. Общий вид диаграммы скорости (а) и амплитуды (б) при акустическом каротаже: 1 - породы средней пористости, сухие; 2 - породы средней пористости, влажные; 3 - породы высокой пористости; 4 - породы низкой пористости, плотные

Акустический метод применяется для расчленения разрезов скважин по плотности, пористости, коллекторским свойствам, а также для выявления границ газ - нефть, нефть - вода и определения состава насыщающего породы флюида. Кроме того, по данным этого метода можно судить о техническом состоянии скважин и, в частности, о качестве цементации обсадных колонн.

Термический метод.

При термическом (или геотермическом) каротаже вдоль ствола скважины непрерывно регистрируется температура среды. Для термических исследований чаще всего применяют электрические термометры (или термометры сопротивлений) разных марок и регистрирующее устройство обычной каротажной станции.

На температуры в скважинах искажающее влияние могут оказывать разные причины: изменение диаметра скважины, потоки воздуха или буровой жидкости, нагрев породы после бурения и др. Эти факторы необходимо учитывать или исключать при выявлении температурных аномалий.

Термический каротаж подразделяется на методы естественных (МЕТ) и искусственных (МИТ) тепловых полей. Кривая изменения естественных температур пород в скважине (рис. 8, а) и рассчитанный по ней геотермический градиент каждого i -го пласта $\Gamma_i = \Delta T_i / \Delta H_i = q_i / \lambda_i$ зависят от теплового потока и теплопроводности слагающих пород. В случае горизонтального залегания пород тепловой поток по стволу скважины остается практически постоянным, и по графику геотермического градиента легко выделить породы с разной теплопроводностью.

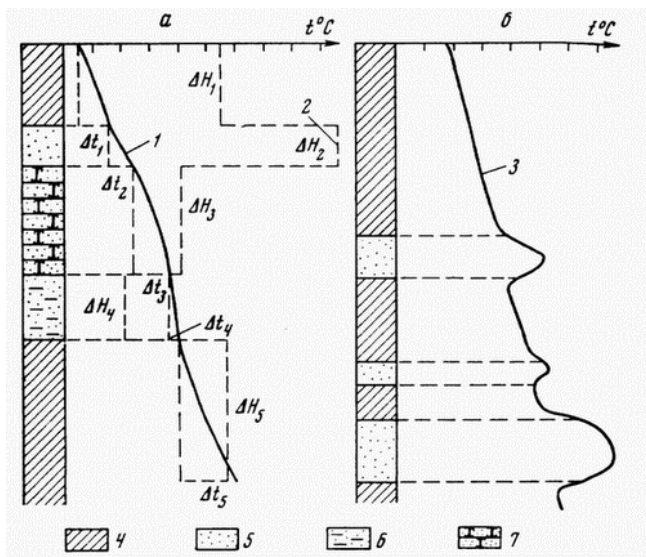


Рис. 8. Общий вид скважинных термограмм тепловых полей, естественного (а) и искусственного (б) при температуре бурового раствора, меньшей температуры породы: 1, 3 - термограммы; 2 - график геотермического градиента; 4 - глины; 5 - пески сухие; 6 - пески влажные; 7 - песчаники

При изучении искусственных тепловых полей буровая жидкость или вода в скважине подогревается или охлаждается. Периодически измеряют температуру по стволу скважины до установления нормальных температур. В результате выявляются аномалии (рис. 8, б).

Термические исследования применяют для изучения тепловых потоков в земной коре, изучения границ распространения мерзлых пород, выявления в разрезах скважин газо-, нефте- и водоносных пород, углей, различных руд, определения мест притоков газа, нефти, подземных вод, оценки скоростей фильтрации подземных вод и решения ряда других задач. Методы искусственного теплового поля применяют в основном для изучения пористости пород и их фильтрационных свойств.

Магнитный скважинный метод

1. В магнитном скважинном методе (магнитном каротаже) изучается либо магнитная восприимчивость пород, окружающих ствол скважины, либо изменения вертикальной составляющей геомагнитного поля с помощью скважинных магнитометров. По магнитограммам можно судить о местоположении и мощности слоев с повышенными магнитными свойствами. Магнитный каротаж применяется при изучении разрезов скважин, для выявления железных, полиметаллических руд с вкрапленностью ферромагнитных минералов, а также выделения пластов песчаников, кварцитов, изверженных пород. Ценное преимущество этого метода - возможность выявления высокомагнитных руд, расположенных в стороне (от 1 до 30 м) от скважины.

2. К магнитному близок метод ядерно-магнитного каротажа (ЯМК), в котором изучается свободная прецессия протонов жидкости, окружающей ствол скважины. Этот метод может применяться для изучения коллекторских свойств пород и их водонасыщенности.

Урок 85 (практика)

Качественная интерпретация ГИС

Принципы качественной интерпретации ГИС

Геофизические исследования в скважинах служат для геологической документации разрезов при бескерновом бурении и дают сведения о литологии пород, наличии тех или иных полезных

ископаемых, мощности отдельных пластов, коллекторских, фильтрационных свойствах, пористости окружающих пород и т.п.

Интерпретация данных скважинных геофизических исследований часто бывает качественной, т.е. по графикам тех или иных параметров, полученных вдоль ствола скважины. Визуально выделяются аномалии (минимумы, максимумы, средние, нулевые значения и др.) (см. 17.3.5). По ним оценивается местоположение пластов с разными физическими свойствами, а затем дается геологическое истолкование разреза.

Геологическое расчленение разрезов скважин

Геологическое расчленение разрезов скважин и, в частности, определение литологии, мощности слоев, наличия различных полезных ископаемых - главное назначение геофизических методов исследований скважин. Эти задачи в ходе качественной интерпретации решаются в такой последовательности. На диаграммах, полученных разными методами, выделяются аномалии: максимумы, минимумы, положительные, отрицательные, повышенные, пониженные, средние, нулевые значения тех или иных параметров поля. Производится расчленение разреза на пласты, выясняются их положение и мощность, которая может быть определена по ширине большинства аномалий (ПС, КС, I_{γ} и др.). Кровля или подошва пластов выделяется по экстремумам КС, измеренным градиент-зондом, $I_{\text{пг}}, I_{\gamma\gamma}$, акустическому каротажу.

Далее проводится корреляция одинаковых по виду аномалий по соседним скважинам. Сначала выделяются опорные горизонты (реперы), т.е. такие участки диаграмм, которые связаны с выдержанными по простиранию пластами, четко отличающимися по физическим свойствам от окружающих пород (например, в песчано-глинистых отложениях репером может быть пласт глин, слой известняков). Затем по каротажным диаграммам соседних скважин проводится корреляция всех слоев с одинаковым типом и формой аномалий.

Следующий этап интерпретации - сопоставление полученных по аномалиям разных методов каротажа пластов с определенными литологическими комплексами, или геологическое истолкование результатов. Для увязки геофизических данных с литологией используют все сведения по геологическому строению района, в том числе данные картировочного бурения, поинтервального отбора керн, анализа образцов, полученных с помощью грунтоносов, а также шлама и буровой жидкости в процессе проходки скважин.

В результате сопоставления геологических данных с типичными диаграммами каротажа, полученными разными методами, составляют нормальные или сводные геолого-геофизические разрезы, которые служат "эталоном" для интерпретации всех материалов каротажа в данном районе (рис. 7.3). При подготовке этих разрезов используют диаграммы, полученные стандартными зондами, однотипной аппаратурой, с учетом характера бурового раствора, обсадных колонн и т.д. При сопоставлении нормальных или сводных геолого-геофизических разрезов, а также при интерпретации материалов используют наборы типичных аномалий геофизических параметров, полученных теоретическим и экспериментальным путем.

Изверженные породы на диаграммах естественного поля (ПС) выделяются слабыми аномалиями положительного и отрицательного знака. Кажущиеся сопротивления (КС) у этих пород высокие (сотни

и тысячи ом*метров), вызванные потенциалы (ВП) небольшие. На графиках акустического и магнитного методов они выявляются максимумами.

Полиметаллические, железные, сульфидные руды отличаются следующими аномалиями: интенсивными максимумами и минимумами ПС (особенно сульфидные руды), минимумами КС, максимумами ВП, повышенными значениями естественного гамма-излучения, скорости распространения упругих волн и магнитной восприимчивости (особенно у железных руд), пониженной интенсивностью рассеянного гамма-излучения.

Карбонатные породы характеризуются отрицательными значениями ПС, высокими сопротивлениями (сотни и даже тысячи ом*метров) у плотных пород и низкими сопротивлениями (десятки ом*метров) у трещиноватых и обводненных, небольшими аномалиями вызванных потенциалов. На диаграмме гамма-каротажа они выделяются низкими значениями I_γ , а на диаграммах нейтронных методов больших зондов - повышенными $I_{\text{пл}}$ и $I_{\text{пг}}$ у сухих пород и пониженными у трещиноватых и обводненных. Они отличаются высокими скоростями распространения упругих волн и очень низкими значениями магнитной восприимчивости.

Песчаники и пески на диаграммах собственной поляризации выделяются, как правило, отрицательными аномалиями; сопротивление их меняется от долей ом*метров у песков, насыщенных минерализованными водами, до сотен ом*метров у цементированных песчаников; вызванные потенциалы бывают повышенными, особенно если в породе присутствуют глинистые частицы. Естественное гамма-излучение песчаников и песков по сравнению с глинами невелико, а вторичное гамма-излучение большое.

Глины и глинистые сланцы отмечаются на диаграммах положительными аномалиями ПС, низкими сопротивлениями (1 - 50 ом*м), малыми значениями вызванных потенциалов. Гамма-излучение у глин выше, чем у всех других осадочных пород. На диаграммах нейтронных методов глины отличаются минимумами, тем большими, чем больше их кавернозность, пористость и влагонасыщенность. Скорость распространения упругих волн у глин больше, чем у песков, и меньше, чем у песчаников.

Угли отличаются резкими положительными значениями ПС, широким диапазоном изменения КС (от единиц у антрацитов до сотен ом*метров у коксующихся и газовых углей), максимумами вызванных потенциалов. На диаграммах ядерных, акустических и магнитных методов пласты угля выделяются минимумами.

Приведенный обзор особенностей аномалий, наблюдаемых при каротаже против разных пород, показывает, что по данным одного-двух методов трудно судить о литологии пород, пройденных скважиной. Имея же несколько параметров (4 - 8), литологическую характеристику разреза можно дать довольно точно. Геологическую интерпретацию каротажных диаграмм можно проводить автоматически, применяя электронные вычислительные машины. Проще всего такую обработку вести при цифровой регистрации геофизических полей в скважинах.

По данным интерпретации диаграмм каротажа и корреляционных разрезов в изученном районе можно построить геологические разрезы, структурные карты, карты мощностей и решить другие геологические задачи.

Урок 86

Тема 7.4: Геолого - технические методы в скважинах.

План:

1. Бурящиеся скважины, объект геофизических и технологических исследований.
2. Классификация скважин.
 - a) Разведочные скважины
 - b) Эксплуатационные скважины
3. Механический каротаж.

Бурящиеся скважины — объект геологических, геофизических и технологических исследований

Вскрываемый бурящейся скважиной геологический разрез представляет собой объект детальных геологических, геохимических, геофизических и технологических исследований. В дальнейшем полученный в процессе строительства скважины объем информации используется на всех этапах ее жизни.

Основной оперативной задачей поисково-разведочных работ на нефть и газ является обнаружение коллекторов в процессе бурения и оценка их характера насыщенности. Бурение скважины является необходимым условием для извлечения на земную поверхность образцов горных пород для всестороннего исследования их коллекторских, физико-химических, механических и других свойств. В то же время процесс вскрытия, само присутствие в изучаемой среде ствола скважины с отличными физико-химическими свойствами искажают действительную картину и вносят определенные погрешности в результаты измеряемых физических и геологических параметров горных пород. В большинстве случаев продуктивные пласты находятся на глубине нескольких километров, и поэтому скважина в первую очередь необходима для подъема на поверхность углеводородов, а также для доставки в исследуемые интервалы геофизических, гидродинамических, технологических и других датчиков, с помощью которых выполняются необходимые исследования.

Скважина представляет собой вертикальную или наклонную горную выработку малого поперечного сечения (десятки и сотни миллиметров диаметра) и большой длины (несколько тысяч метров). Номинальный диаметр скважины определяется диаметром долота, которым она бурится. Скважина в процессе бурения пересекает последовательно сверху вниз слои (пласты) осадочной толщи с различными физико-химическими и механическими свойствами. Некоторые породы (например, глины, соли и др.) размываются, образуя так называемые каверны, и, наоборот, против проницаемых прослоев за счет фильтрации в них промывочной жидкости на стенках образуется глинистая корка, и наблюдается сужение диаметра ствола скважины. Проникновение в пласт фильтрата промывочной жидкости оттесняет пластовый флюид из ближней, прискважинной зоны, и достоверность информации о характере насыщенности коллектора этой зоны снижается.

Несмотря на большое разнообразие геолого-технических условий и целенаправленности бурения, представляется возможным сформулировать общие принципы получения и использования информации как для оптимизации условий бурения, так и для успешного заканчивания скважин с высокими технико-экономическими показателями.

2.Скважины, предназначенные для поисков, разведки и разработки нефтяных и газовых залежей, подразделяются на: картировочные, сейсморазведочные, опорные, параметрические, структурно-поисковые, разведочные, эксплуатационные и специальные по каким-либо более узким назначениям, однако по числу бурящихся скважин наиболее представительными следует считать разведочные и эксплуатационные.

Разведочные скважины бурят на площадях после установления их нефтегазоносности. На первом этапе разведочного бурения оценивают промышленное значение месторождения и составляют технико-экономический доклад (ТЭД), подтверждающий экономическую целесообразность разведки. После утверждения ТЭДа целью разведочного бурения является подготовка запасов промышленной категории В + С_в При бурении разведочных скважин отбирают керн из продуктивных интервалов, проводят комплекс промыслово-геофизических исследований, испытывают пласты в открытом стволе и осуществляют пробную эксплуатацию объектов промышленного значения. Разведочные скважины, вскрывшие промышленные нефтеносные пласты, в дальнейшем передаются в фонд эксплуатационных.

Эксплуатационные скважины бурят в соответствии с проектом разработки нефтяного и газового месторождения для эксплуатации залежи. В категорию эксплуатационных входят также нагнетательные, контрольные, оценочные, наблюдательные, пьезометрические скважины, которые выполняют задачи контроля за рациональной разработкой месторождения (наблюдение за пластовым давлением, контроль движения ВНК, ГЖК, поддержание режима эксплуатации).

Эксплуатационные скважины бурят для поисков и добычи пресной и технической воды, содержащей различные компоненты минеральных солей (йод, бром и др.), твердых полезных ископаемых (уголь, металлические и неметаллические руды), решения различных инженерных задач во время строительства гидротехнических и других сооружений, а также для глушения открытых фонтанов нефти и газа, сброса промысловых вод и промышленных отходов, подготовки структур для подземных газохранилищ и др.

В зависимости от стоящих перед бурением задач и геолого-технических условий проходки скважин определяется комплекс исследовательских работ в них.

Успешное Решение поставленных задач зависит от правильного выбора комплекса исследований, качества подготовки к ним скважин, соблюдения действующих технических инструкций проведения геофизических работ, квалификации и инициативы персонала обслуживаемой буровой, специалистов геологической и геофизической служб, совместно выполняющих намеченные

3.Механический каротаж

Механический каротаж или каротаж по продолжительности проходки заключается в регистрации времени, затрачиваемого на разбуривание каждого погонного метра скважины - T_z , мин./м.

При одинаковых технических условиях бурения продолжительность проходки зависит от сопротивляемости горных пород их механическому разрушению, т.е. их прочности, которая характеризуется критическим сопротивлением механическому разрушению - $\sigma_{кз}$.

Наиболее крепкими являются изверженные и метаморфические породы, особенно некоторые кварциты и базальты, затем идут карбонатные осадочные породы, конгломераты, песчаники, глинистые сланцы. Наименьшей крепостью отличаются глины и пески-плывуны. Различие пород по их механической крепости и позволяет использовать измерения τ для литологического расчленения разреза скважин непосредственно в процессе бурения.

$$\tau = \frac{S}{k \cdot n \cdot p^2} \cdot \sigma_{кр}, \quad (1)$$

S - площадь породоразрушающего наконечника; число оборотов за единицу времени бурового снаряда; его давление на забой;

n - коэффициент, учитывающий тип породоразрушающего наконечника и степень его износа.

p - Параметры p и i регистрируются на самой буровой установке по показаниям приборов, входящих в комплект измерительной аппаратуры на буровой, коэффициент k определяется опытным путем. Величина $\sigma_{кр}$ у различных горных пород может отличаться на несколько порядков.

Диаграммы продолжительности проходки имеют очень характерный вид - они представляют собой ломаные линии, длина каждого отрезка которых по вертикали равна в масштабе 1 м (рис. 1). Диаграммы механического каротажа очень хорошо коррелируются с диаграммами КС, хотя обе они отражают изменение совершенно различных физических свойств горных пород.

Большое преимущество механического каротажа перед КС заключается в том, что его диаграммы получают прямо в процессе бурения скважин, без дополнительных затрат времени и средств.

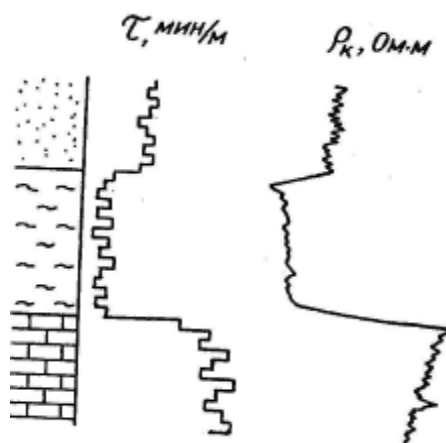


Рис. 1. Диаграмма механического каротажа и ее сопоставление с диаграммой КС

Контрольные вопросы

1. Что из себя представляет скважина?
2. Назначение разведочной скважины?
3. Назначение эксплуатационной скважины?
4. Сущность механического каротажа?
5. Каковы преимущества механического перед др. видами каротажа?
6. Какие породы отличаются максимальной и какие минимальной продолжительностью проходки?

Урок 87

Газовый каротаж

План:

1. Физические основы метода
2. Аппаратура и регистрируемые параметры
- 3.

Газовый каротаж предназначен для своевременного выявления нефтеносных и газоносных пластов, к которым подходит забой скважины во время ее бурения. Этот метод был разработан в СССР в 1933-34 г.г., несколько позднее он появился в США под названием mud logging (mud - грязь).

Физические основы метода

В горных породах, даже залегающих на очень большой глубине, всегда содержится небольшое количество газов, которые могут находиться в них в свободном, сорбированном или растворенном состоянии. Это азот, гелий, углекислый газ, углеводородные газы. Последние распространены в горных породах нефтяных, газовых и угольных месторождений. Для газовых месторождений характерно преобладание метана (СН₄) доля которого составляет более 93%; в газах нефтяных месторождений преобладают тяжелые углеводороды: этан (С₂Н₆), пропан (С₃Н₈), бутан (С₄Н₁₀), пентан (С₅Н₁₂) и гексан (С₆Н₁₄), доля метана составляет менее 48% (см. табл. 1).

Газ	Вид залежи		
	Газовая	Газоконденсатная	Нефтяная
Метан СН ₄	93,5	82	48
Этан С ₂ Н ₆	3,0	4,5	3
Пропан	2,0	3,5	2
Бутан	1,0	4,3	2
Пентан	-	1	2
Гексан	-	1	2
Гептан	-	3,0	40

Таблица

1. Состав углеводородных газов на месторождениях углеводородного

сырья

При высоких температурах сама нефть может находиться в газообразном состоянии (газоконденсат). На больших глубинах при высоком давлении в 1 м³ нефти может содержаться до 200 м³ природного газа, приведенного к нормальным условиям.

При вскрытии скважиной газоносного или нефтеносного пласта горная порода подвергается разрушению, а газ, содержащийся в ней, выделяется в буровой раствор и увлекается им на поверхность. Дегазируя раствор на поверхности и изучая количество и состав газов в нем, можно непрерывно определять содержание углеводородных газов в горных породах. В этом и заключается газовый каротаж.

Вместе с буровым раствором с забоя скважины извлекается и выносится на поверхность измельченная горная порода - шлам. В шламе горных пород нефтяных месторождений содержатся частицы битуминозных веществ, способных люминесцировать в ультрафиолетовых лучах. На изучении люминесценции битумов в шламе и буровом растворе основан люминесцентно-битуминологический анализ (ЛБА), который выполняется одновременно с газовым каротажем. ЛБА позволяет с высокой точностью определять малые (до 0,01-0,005%) содержания нефти, а в некоторых случаях по цвету свечения распознавать качество нефти: для легкой, маслянистой нефти характерны светлые тона, для тяжелой, густой — темные.

Аппаратура и регистрируемые параметры

Аппаратура для газового каротажа и ЛБА называется автоматическими газокаротажными станциями (АГКС).

Рассмотрим схему газовой воздушных линий современной газокаротажной станции (рис. 2).

На пути бурового раствора, вытекающего из устья скважины в отстойник, устанавливают дегазатор, в котором углеводородные газы (УВГ) выделяются из бурового раствора и, смешиваясь с атмосферным воздухом, образуют газозвдушную смесь (ГВС). Из дегазатора ГВС проходит через отстойник, где оседают капельки жидкости; реометр, который измеряет скорость движения ГВС; увлажнитель, придающий ей постоянную влажность, и нагреватель, служащий для поддержания постоянной температуры смеси, и поступает на катарометр для измерения содержания в ней УВГ.

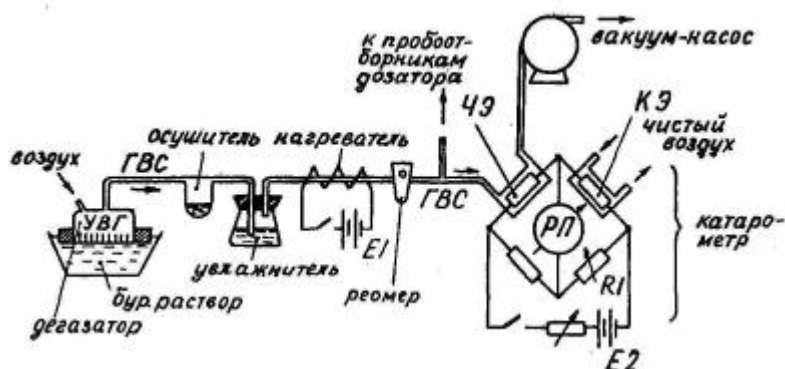


Рис. 2. Схема газовой воздушных линий автоматической газокаротажной станции

Катарометр представляет собой мост сопротивлений, два плеча которого выполнены в виде тонкой платиновой проволоки, нагреваемой током от источника Е2 до температуры 850 °С. Одна такая проволока помещена в измерительную камеру, через которую прокачивается исследуемая ГВС, и образует так называемый чувствительный элемент ЧЭ. Другая, совершенно идентичная проволока, образует компенсирующий элемент КЭ, она помещена в такую же камеру, как измерительная, но через нее прокачивается чистый воздух с той же скоростью, что и УВГ через измерительную камеру. Служит КЭ для учета охлаждающего действия движущегося газа на чувствительный элемент. При температуре 850 °С мост сопротивлений уравнивается с помощью реостата R1, и регистрирующий прибор РП дает нулевые показания.

При наличии в ГВС, проходящей через измерительную камеру, УВГ они сгорают, выделяющееся тепло повышает температуру ЧЭ, его сопротивление увеличивается, баланс измерительной схемы нарушается и регистрирующий прибор дает показания, характеризующие суммарное содержание углеводородных газов (и легких, и тяжелых вместе) в газовой смеси - $G_{сум} \%$ Эти показания непрерывно фиксируются на диаграммной ленте самописца, которая протягивается синхронно с углублением скважины.

Для градуировки катарометра через него пропускают газоздушные смеси с известным содержанием УВГ. Чувствительность газоанализатора по метану составляет 0,1%, а диапазон измерений его - от 0 до 10 %.

После катарометра ГВС проходит через вакуумметр и вакуумным насосом выбрасывается в атмосферу.

Перед катарометром отдельные порции ГВС могут быть отобраны с помощью отводной линии для последующего покомпонентного анализа, позволяющего определить содержание в ГВС каждого из УВГ - от метана до гексана. Эти пробы отбираются по заданной программе (например, через 1 м проходки скважины) или по команде оператора в специальный пробоотборник емкостью около 200 см³. Пробоотборник представляет собой стеклянный стакан, в котором помещен баллон из полиамидной пленки. От баллона отходит трубка, через которую проба газа поступает в него из схемы газоздушных линий станции или отбирается из него на анализ, а в пробке стакана имеется трубка, которую подключают либо к вакуум-насосу, либо к компрессору (рис. 3).

При отборе пробы трубку подключают к вакуум-насосу, полиамидный мешок раздувается и засасывает пробу ГВС, при подключении трубки к компрессору в стакан закачивается воздух, который выдавливает пробу из мешка для анализа.

Для покомпонентного анализа используется устройство, которое называется хроматермографом. Основными узлами его являются дозатор Д, разделительная колонка РК, пламенно-ионизационный детектор ПИД и прибор регулируемого нагрева ПРН (рис.4).

Разделительная колонка представляет собой стеклянную трубку, заполненную сорбентом - веществом с большой удельной поверхностью. Поверх трубки намотана спираль нагревателя, подключенного к ПРН.

При анализе проба ГВС из дозатора выдувается на разделительную колонку. При комнатной температуре сорбент в РК впитывает все углеводородные газы, кроме метана.

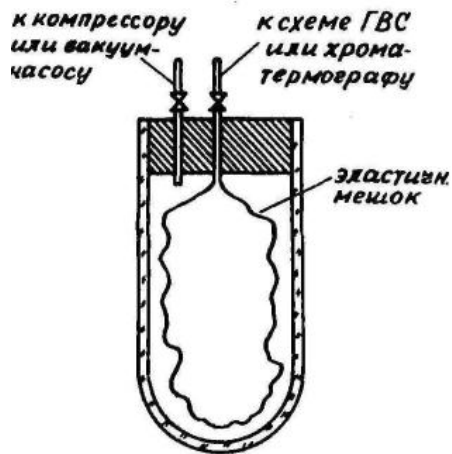


Рис. 3. Устройство дозатора

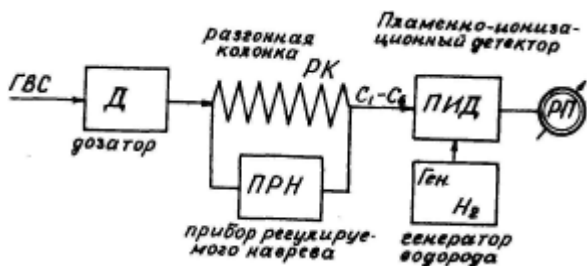


Рис.4. Схема хроматографа газокаротажной станции

Метан проходит через РК и поступает на пламенно-ионизационный детектор ПИД. В ПИД находится горелка, в которой сжигается водород, поступающий с генератора водорода (Ген. Н₂). Сопло горелки расположено между электродами, на которые подается высокое напряжение. Пламя чистого водорода почти не содержит ионов, и его электропроводность близка к 0, поэтому регистрирующий прибор, включенный в цепь электродов, фиксирует нулевой ток.

В настоящее время механический и газовый каротаж выполняются с помощью станций геолого-технологических исследований (ГТИ), аппаратура которых обеспечивает не только регистрацию вышеперечисленных, но и многих дополнительных параметров, характеризующих процесс бурения (частоту вращения ротора, вес бурового инструмента, вращающий момент ротора, давление промывочной жидкости и ее уровень в емкостях), а также свойства промывочной жидкости (плотность, вязкость, температуру и сопротивление). Одновременно на станциях ГТИ исследуется и шлам.

Контрольные вопросы

1. Каков состав углеводородных газов на нефтяных и газовых месторождениях?
2. Поясните схему газовоздушных линий газокаротажной станции.
3. Каким образом изучают покомпонентный состав углеводородных газов?
4. В чем заключается люминесцентно-битуминологический анализ ЛБА?
5. Что такое истинная и действующая глубина скважины при газовом каротаже?

Контрольные вопросы.

1. Какие геолого-технические задачи решаются в бурящихся скважинах?
2. На какие типы скважин подразделяются скважины предназначенные для поисков, разведки и разработки нефтяных и газовых залежей?

Урок 88 (практика)

Тема 7.4: *Геолого - технические методы в скважинах.*

План:

1. Резистивиметрия.
2. Термометрия.

1. Резистивиметрия. Под резистивиметрическими исследованиями понимается определение сопротивления бурового раствора или воды в скважине. Работы проводят резистивиметром, который представляет собой зонд малых размеров, помещенный в трубку из изолятора. При перемещении зонда по скважине внутри трубки свободно проходит жидкость, заполняющая скважину, а влияние окружающих пород исключается стенками трубки. Регистрация проводится так же, как и в методе КС. Коэффициент резистивиметра определяется путем его эталонировки в жидкости с известным сопротивлением.

Данные о сопротивлении бурового раствора или воды в скважине используются для обработки каротажных диаграмм (особенно при БКЗ) и для выявления мест подтока подземных вод разной минерализации. Кроме того, резистивиметрия применяется для изучения скоростей фильтрации подземных вод.

2. Термометрия. *При термическом (или геотермическом) каротаже вдоль ствола скважины непрерывно регистрируется температура среды. Для термических исследований чаще всего применяют электрические термометры (или термометры сопротивлений) разных марок и регистрирующее устройство обычной каротажной станции.*

На температуры в скважинах искажающее влияние могут оказывать разные причины: изменение диаметра скважины, потоки воздуха или буровой жидкости, нагрев породы после бурения и др. Эти факторы необходимо учитывать или исключать при выявлении температурных аномалий. Термический каротаж подразделяется на методы естественных (МЕТ) и искусственных (МИТ) тепловых полей. Кривая изменения естественных температур пород в скважине (рис. а) и рассчитанный по ней геотермический градиент каждого i -го пласта зависят от теплового потока и теплопроводности слагающих пород. В случае горизонтального залегания пород тепловой поток по стволу скважины остается практически постоянным, и по графику геотермического градиента легко выделить породы с разной теплопроводностью.

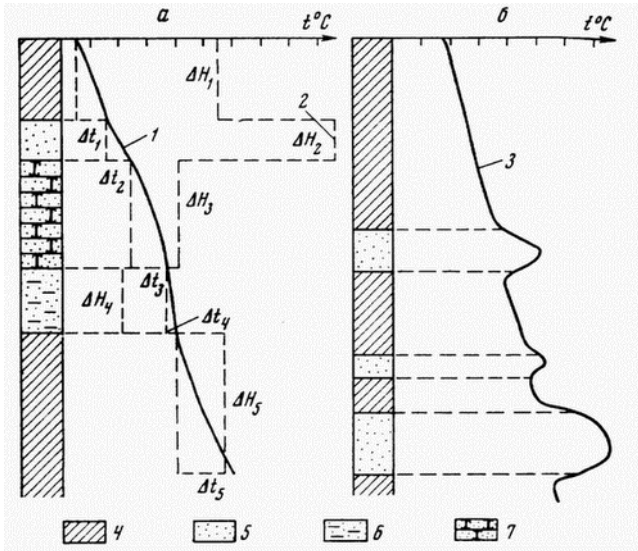


Рис. 1 Общий вид скважинных термограмм тепловых полей, естественного (а) и искусственного (б) при температуре бурового раствора, меньшей температуры породы: 1, 3 - термограммы; 2 - график геотермического градиента; 4 - глины; 5 - пески сухие; 6 - пески влажные; 7 - песчаники

При изучении искусственных тепловых полей буровая жидкость или вода в скважине подогревается или охлаждается. Периодически измеряют температуру по стволу скважины до установления нормальных температур. В результате выявляются аномалии (рис.1).

Термические исследования применяют для изучения тепловых потоков в земной коре, изучения границ распространения мерзлых пород, выявления в разрезах скважин газо-, нефте- и водоносных пород, углей, различных руд, определения мест притоков газа, нефти, подземных вод, оценки скоростей фильтрации подземных вод и решения ряда других задач. Методы искусственного теплового поля применяют в основном для изучения пористости пород и их фильтрационных свойств.

Урок 89 (практика)

Тема 7.4: Геолого - технические методы в скважинах.

План:

1. Каверномеры.
2. Инклинометры.
3. Отбор фунтов и перфорация скважин.

3. Кавернометрия. Для измерения диаметров скважин применяются специальный прибор - каверномер и оборудование обычной каротажной станции. Каверномер состоит из металлической гильзы, вдоль ствола которой располагаются ромбовидные рычаги-щупы, при подъеме каверномера рычаги под действием пружины раскрываются и плотно прижимаются к стенкам скважины. При изменении угла раскрытия рычагов движется закрепленный на них шток, который связан с ползунковым реостатом. Это приводит к изменению сопротивления реостата и тока в электрической цепи, который подается на регистратор. Установив в процессе градуировки зависимость между током и радиусом раскрытия рычагов, легко перевести график его изменения в кривую изменения диаметра скважины (кавернограмму). Она служит для уточнения геологического разреза, изучения технического состояния скважин и интерпретации результатов скважинных исследований.

4. Инклинометрия. Для определения на любой глубине угла отклонения оси скважины от вертикали и азимута ее искривления по отношению к устью применяются специальный прибор - инклинометр и оборудование обычной каротажной станции. В необсаженных скважинах используются электрические инклинометры. В корпусе такого инклинометра помещается свободно подвешенная рамка, которая по отвесу располагается горизонтально. На ней имеется буссоль для измерения азимута и указатель наклона. Стрелка буссоли и указатель наклона рамки скользят по реохордам азимутов и углов наклона, которые поочередно можно подключать к токовой линии инклинометра. Стрелка и указатель передают напряжение с реохордов, пропорциональное азимуту или углу наклона.

В скважинах, обсаженных металлическими трубами, измерение азимута и угла проводят гироскопическими инклинометрами. Принцип работы этих приборов основан на свойстве гироскопа (устройства, маховик которого быстро вращается от специального электромотора) сохранять неизменной в пространстве ось вращения. В инклинометре два гироскопа: один для измерения азимутов, другой - для измерения углов наклона. С помощью особых электрических схем определяются углы, составленные инклинометром (направлением скважины) с осями вращения гироскопов.

Точность измерения углов инклинометром достигает 30', а азимутов - нескольких градусов. Если учесть, что глубокая скважина на разных глубинах может отклоняться от вертикали на сотни метров, а по азимуту превышать 360°, то нетрудно понять практическое значение инклинометрии. Особенно необходима инклинометрия в скважинах наклонного бурения.

5. Отбор фунтов и перфорация скважин.

Для извлечения нефти, газа, подземных вод из пластов, обсаженных трубами, надо пробить отверстие в трубах, чтобы обеспечить доступ жидкого или газообразного ископаемого в скважину, а затем подачу его на поверхность. Прострелочные работы в скважинах выполняются с помощью специальных устройств - перфораторов с использованием оборудования обычных каротажных станций. Операция по прострелу колонны обсадных труб производится различными стреляющими устройствами: пулевыми, беспулевыми, кумулятивными, торпедными перфораторами.

Пулевой перфоратор состоит из стального ствола с несколькими отверстиями по длине, в которых располагаются пули весом 9 - 27 г. За каждой пулей имеется взрывная камера, заполненная порохом. Для подрыва пороха в камеру подводится электровоспламенитель. При взрыве пуля пробивает трубу, окружающий ее цемент и образует отверстие, что и обеспечивает поступление из пласта в скважину газа, нефти или воды.

В беспулевых, кумулятивных перфораторах перфорация производится раскаленной металлической струей, возникающей при взрыве взрывчатого вещества (гексагена).

Торпедный перфоратор стреляет снарядами диаметром от 22 до 84 мм. В снаряде имеется взрывчатое вещество, которое взрывается, когда снаряд входит в породу, и разрушает ее.

Для взятия на отдельных участках скважины образцов пород применяется огнестрельный (стреляющий) грунтонос. Он похож на пулевой перфоратор. Боек грунтоноса имеет отверстие, в которое проникает порода при внедрении его в стенки скважины. При подъеме грунтоноса боек на тросике извлекается вместе с породой.

Контрольные вопросы

1. Сущность технического контроля за состоянием скважин?
2. Устройство пулевого перфоратора?
3. Сущность кавернометрии?
4. Сущность инклинометрии?
5. Назначение перфорации в скважинах?

Урок 90

Тема 7.5: *Комплексирование геофизических исследований в скважинах.*

План:

1. *Комплексирование геофизических исследований.*
2. *Построение геолого-геофизических разрезов и структурных карт.*

ГИС при поисках и разведке нефтяных и газовых месторождений проводят с целью:

Литологического расчленения горных пород, вскрытых скважиной, определения глубин их залегания и мощностей;

Выделения коллекторов и оценки характера их насыщения;

Определения эффективной мощности поддуктивных коллекторов и оценки их коллекторских свойств;

Изучения структуры и геологического строения нефтяных и газовых месторождений.

В результате проведенных работ выполняют раздельную и комплексную интерпретации.

Раздельная интерпретация заключается в обработке диаграмм каждого метода, с целью расчленения разреза, а также вносятся поправки.

Комплексная интерпретация включает в себя обработку данных всех методов с целью построения литологической колонки, выделения и промышленной оценки полезных ископаемых.

Сводная интерпретация сводится к подсчету запасов.

1. Литологическое расчленение разрезов скважин

Литологическое расчленение разреза с последующим построением литологической колонки включает в себя определение границ и мощностей отдельных пластов и оценку литологической характеристики выделенных однородных интервалов на основании признаков, выявленных на диаграммах различных методов.

Диаграммы различных методов привязывают по глубине на основании показаний пластов, четко выделяющихся на диаграммах различных методов, а также против башмака колоны. При изучении литологического состава пород пользуются результатами стандартного комплекса ГИС: КС, ПС, ГК и НГК, кавернометрия.

Расчленение рассмотрим на примере трех разрезов терригенного, карбонатного и карбонатно-гидрохимического.

Терригенный разрез.

Изучение песчано-глинистого разреза, представленного главным образом песками, песчаниками, алевролитами и глинами, основное значение имеют диаграммы электрического каротажа, гамма-каротажа и кавернометрии.

Глины и глинистые породы при ($r_{\phi} > r_{\psi}$) отмечаются положительными значениями на кривых ПС и естественной радиоактивности J_{γ} . Пески, песчаники и алевролиты характеризуются отрицательными аномалиями ΔU_{ψ} и низкими значениями J_{γ} . Глинистые пески и плотные глинистые песчаники, сцементированные глинистым цементом, выделяются слабыми отрицательными аномалиями ПС. На диаграммах КС глинистые и песчаные пласты, насыщенные минерализованной водой, имеют низкое сопротивление. При насыщении песчаных пластов нефтью или газом их сопротивление резко возрастает.

На диаграммах микрозондов пласты- коллекторы выделяются положительными приращениями r_k ($r_{kPM3} > r_{kMG3}$) и уменьшением диаметра скважины на кавернограмме. Плотные породы с низкой пористостью (плотные песчаники, алевролиты с карбонатным цементом) характеризуются

высокими показаниями на диаграммах НГК и микрозондов и номинальными значениями на кавернограмме. Глины отмечаются минимальными значениями на диаграммах НГК. На кривых интервального времени и затухания амплитуды упругих волн АК плотные породы характеризуются минимальными значениями ΔT и α ; максимальные значения ΔT и α наблюдаются против высокопористых пород и глин.

Карбонатный разрез.

Стандартный комплекс ГИС позволяет выделить глинистые карбонатные разности, глины и карбонатные разности

Выбор комплекса проходит в два этапа. На первом оценивают возможность отдельных методов при решении конкретных геологических задач. Основой для оценки служат знания геологического строения, физических свойств и на анализе ранее проведенных работ.

На втором этапе составляют варианты возможных комплексов, способных наиболее полно решить поставленную задачу.

Также важным при выборе комплекса является комплексирование интерпретации данных, полученных в результате работ.

Контрольные вопросы.

1. Цели и задачи комплексирования.
2. Выбор рационального комплекса методов каротажа скважин

Урок 91

Тема 7.5: Комплексирование геофизических исследований в скважинах.

План:

1. Комплексирование геофизических исследований.
2. Построение геолого-геофизических разрезов и структурных карт.

Внутриметодные геофизические комплексы

Основными тенденциями исследований недр, геокартирования, поисков и разведки полезных ископаемых, изучения геологической среды с геологическими, инженерно-геологическими, гидрогеологическими и геоэкологическими целями являются повышение глубин исследования объектов, точности их выделения и усложнение поставленных задач. Наличие десятков методов геофизики не случайно. Оно свидетельствует об отсутствии универсальных методов. Поэтому только рациональный выбор их комплексов (наряду с совершенствованием каждого метода) может дать высокий эффект при изучении земной коры с различными целями. Особая роль при этом принадлежит петрофизике, научной дисциплине, которая обеспечивает перевод петрофизических параметров в комплексные геолого-гидрогеологические свойства горных пород

Основными ФГГМ являются:

горизонтально-слоистые толщи, представленные сверху сухими породами зоны аэрации, а ниже обводненными породами либо с резко контрастирующей по физическим свойствам границей - уровнем грунтовых вод (в грубообломочных отложениях и песках), либо с градиентным изменением физических свойств в зоне капиллярной каймы (в мелкозернистых песчано-глинистых отложениях). Снизу обводненные породы подстилаются водоупорными глинистыми или скальными породами. В них может находиться еще несколько горизонтов подземных вод, включая артезианские, с разной минерализацией, обычно повышающейся с глубиной;

крутозалегающие слоистые толщи с трещинно-карстовыми подземными водами, приуроченными к тектоническим нарушениям, зонам трещиноватости скальных и закарстованности карбонатных отложений.

Первые изучаются сейсморазведкой методом преломленных волн (МПВ), а также различными модификациями электромагнитных зондирований (ЭМЗ): вертикальными электрическими с измерением кажущихся сопротивлений (ВЭЗ) и вызванных потенциалов (ВЭЗ-ВП), частотными зондированиями (ЧЗ), зондированиями становлением поля (ЗС) и др. Вторые разведываются различными модификациями электромагнитного профилирования (ЭМП), ядерными методами, реже гравиразведкой и магниторазведкой.

Принципы построения моделей

Наиболее эффективным способом отображения сложных объектов при любых исследованиях является их моделирование. При проведении и интерпретации геофизических исследований широко используют физико-геологические модели (ФГМ) объекта геологического изучения. Под ними понимают обобщенное и формализованное описание пространственно-временной структуры геологических объектов и геофизических полей, с определенной степенью вероятности отражающей реальные геологические объекты или геологическое строение территории. Взаимосвязи между геологическими характеристиками и геофизическими параметрами находят на эталонных участках, где геологический объект хорошо изучен, например, бурением. Основная цель моделирования - абстрактное или физическое отображение геологического объекта в другом представлении, адекватно описывающем его поведение.

Понятие ФГМ имеет достаточно строгую формулировку и включает определенные требования к описанию модели. Для характеристики проводимых в данном разделе исследований мы прибегаем к несколько вольной трактовке “геолого-геофизическая модель”, упрощая ее понятие и одновременно адаптируя терминологию применительно к характеру исследований.

Построенные в работе геолого-геофизические модели можно условно назвать априорными. В качестве геофизических компонент для описания моделей используются не только геофизические поля, но их различные трансформации, выступающие как признаки.

ФГМ и ФГГМ бывают априорными и интерпретационными. По мере повышения детальности работ, расширения числа методов и в ходе комплексной интерпретации представления о виде и параметрах ФГМ и ФГГМ меняются, уточняются. Сами модели становятся основой для построения окончательных геолого-геофизических разрезов и карт.

Поиски и разведка рудных месторождений

К рудным полезным ископаемым относят различные типы минерального сырья, из которого технологически возможно и экономически целесообразно извлекать в промышленных масштабах металлы или получать на их основе другие материалы, используемые в народном хозяйстве. Геофизические методы при поисках и разведке месторождений рудных полезных ископаемых

(рудная геофизика) применяются на всех стадиях геологоразведочных работ - от региональных исследований до обслуживания рудничной геологии во время эксплуатации месторождений.

Контрольные вопросы.

1. На чем основывается выбор рационального комплекса методов?
2. На чем основывается построение геолого-геофизических разрезов?

Список использованной литературы:

1. Бондаренко В.М., Демура Г.В., Ларионов А.М., "Общий курс геофизических методов разведки". М. Недрa 1986г.
2. Гринкевич Г.И. "Магниторазведка" М, недра 1987г.
3. Грушинский Н.П., Сажина Н.Б. "Гравитационная разведка" М. Недрa 1987г.
4. Якубовский Ю.В., Ренарл И.В. "Электроразведки" М. Недрa 1991г.
5. Гурвич И.И. "Сейсморазведка" М. Недрa 1975г.
6. Нагля В.В., Овчинников Л.И., "Радиометрические и ядерно-физические методы разведки". М. Недрa 1982г.
7. Знаменский В.В., Жданов М.С, Петров Л.П., "Геофизические методы разведки исследования скважин". М. Недрa, 1991г.
8. Дягилева А.И., Андревич В.В., "Основы геофизических методов разведки". М. Недрa, 1987г.