

Введение в геофизику

МАГНИТОРАЗВЕДКА



## **Магнитный метод разведки**

**(магниторазведка)** основан на изучении магнитного поля на поверхности земли, изменяющегося в зависимости от магнитных свойств полезных ископаемых и окружающих их горных пород.



# 1. История развития магниторазведки

Первое полулегендарное упоминание о применении магнетита для ориентировки содержится в китайской летописи, датированной 2637 г. до н.э. Но только в 1100 г. н.э. китайцы установили наличие полюсов у магнита и стали пользоваться компасом.

В Европе простейший компас появился в 1187 г. и, вероятно, изобретен независимо от Китая. Колумб в 1492 г. использовал компас в своем историческом путешествии и открыл Америку.

Джильберт (Англия) около 1600 г. провел ряд важнейших опытов по магнетизму и открыл, что Землю в первом приближении можно считать элементарным магнитом.

Компас был впервые использован для поисков магнетитовых руд в Швеции в 1640 г.

Первая мировая магнитная карта с применением изолиний была составлена физиком и астрономом Галлеем в 1701 г.

Суточные вариации интенсивного магнитного поля открыты Араго (Франция) в 1827 г.

Начало современного учения о земном магнетизме были изложены в классических работах Гаусса (1832-1838 гг.) и казанского ученого И.М. Симонова (1837 г.).

в Швеции был сконструирован портативный магнитометр Тибберг-Талена (1789 г.).

В России применение магниторазведки началось с конца XIX века. Необходимо отметить работы Д.И. Менделеева, который применил магниторазведку в районах г. Магнитной, г. Благодать, г. Высокой и в Бакальском районе в 1899 г.

Более систематические и большие по объемам магнитные наблюдения были проведены профессором В.И. Бауманом в 1914-1917 гг. Им же создана методика проведения магнитных наблюдений и разработана теория интерпретации магнитных аномалий

Пильчиков Н.Д. в 1888 г., Лейст Э.Е. в 1894 г. и в 1906-1914 гг. оконтурили Курскую магнитную аномалию.

В 1914 г. немецкий геофизик Адам Шмидт создал прибор для измерения вертикальной составляющей магнитного поля. В нашей стране по такому же принципу сконструирован магнитометр М-2, который применялся при проведении магниторазведочных работ до 1970-х годов.

В 1936 г. впервые в мире профессором Ленинградского горного института создан индукционный аэромагнитометр, разработан и применен аэромагнитный метод съемки, получивший к настоящему времени очень широкое развитие и применение. В настоящее время вся территория нашей страны покрыта аэромагнитной съемкой масштаба 1:1000000 и 1:200000.

В 1960-х годах для проведения магниторазведочных работ разработаны протонные магнитометры. В настоящее время для проведения работ применяются квантовые магнитометры.

Начиная с 1920-х годов, магниторазведка стала ведущим методом разведочной геофизики. Она применяется не только для поисков железа, но и для решения многих других геологических задач.

## 2. Основные понятия в магнитной разведке

Основная характеристика магнитного поля – векторная величина, называемая **магнитной индукцией**. Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением силы, действующей на северный конец магнитной стрелки, помещенной в данную точку поля. Единицей измерения магнитной индукции в системе СИ является тесла (Тл); для полевых измерений широко применяется более мелкая единица – нанотесла (нТл);  $1\text{нТл} = 10^{-9}$ . Магнитная индукция зависит от свойств среды.

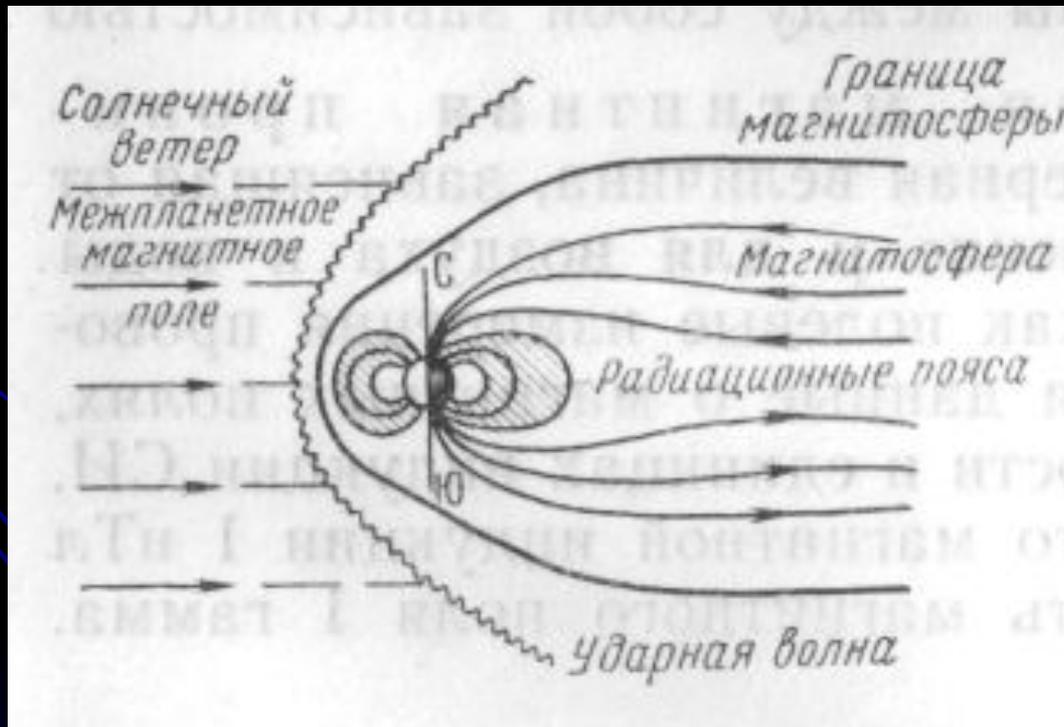
Второй характеристикой магнитного поля, наблюдаемого в некоторой среде, является напряженность магнитного поля. Этот параметр характеризует поле, не искаженное влиянием среды. В Международной системе единиц (СИ) напряженность магнитного поля выражается в амперах, деленных на метр (А/м), на практике используются эрстеды (Э), милли эрстеды (мЭ) и гаммы:  $1\text{Э} = 1000\text{ мЭ} = 10^{-5}\text{ гамм} = 10^3 / (4\pi)\text{ А/м}$ .

Модули векторов связаны между собой зависимостью:

где  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость среды

### 3. Магнитное поле Земли

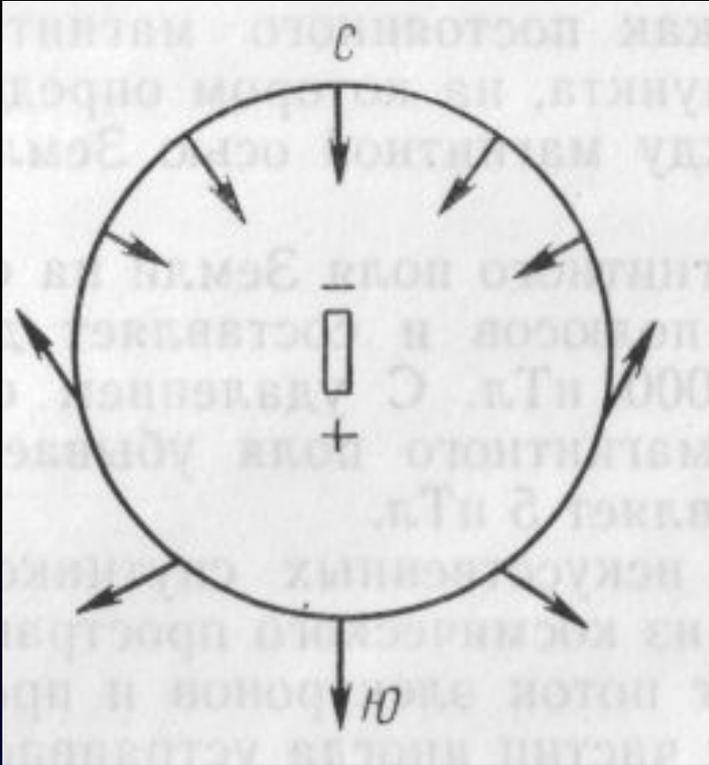
Земля представляет собой гигантский естественный магнит, вокруг которого распространяется магнитное поле – магнитосфера. Очертания границы магнитосферы имеют сложную форму, напоминающую гигантскую медузу, голова которой соответствует сжатой части магнитосферы, обращенной в сторону Солнца, а хвост образует более вытянутые силовые линии магнитного поля, сносимые в сторону солнечным ветром (шлейф магнитосферы). Магнитосфера распространяется на огромное расстояние от Земли: в сторону Солнца она составляет 60 тыс. км, а в противоположную – более 100 тыс. км.



*Характеристика магнитосферы*

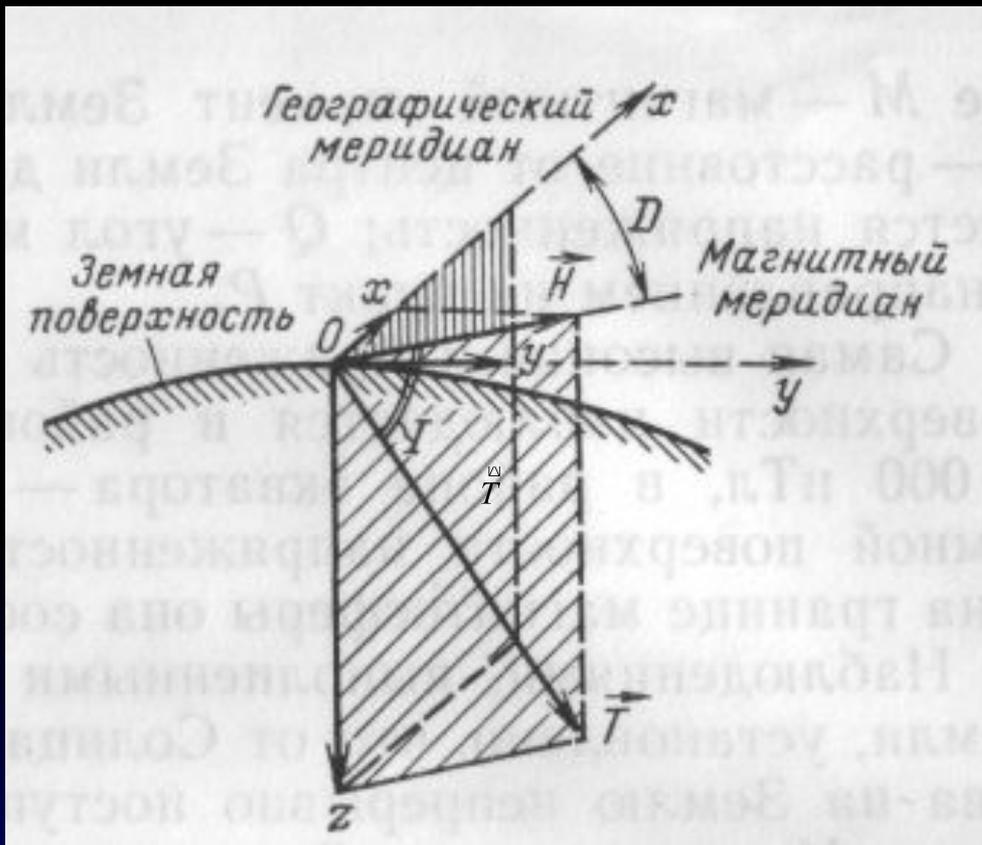
## 4. Элементы магнитного поля Земли

Общее магнитное поле Земли в каждой точке пространства характеризуется вектором напряженности — величина и направление которого меняется. На полюсах вектор вертикален, а на экваторе — горизонтален; от полюса к экватору он выполаживается постепенно.



*Направление вектора в различных пунктах Земли*

Проекцию вектора на вертикальную плоскость называют **вертикальной составляющей** и обозначают **Z**, проекцию на горизонтальную плоскость – **горизонтальной составляющей** и обозначают **H**



Составляющая  $H$  располагается в плоскости магнитного меридиана. Разложив  $H$  на оси  $x$  и  $y$ , получают **северную** и **восточную составляющие**  $X, Y$ .

Угол между географическим меридианом ( $x$ ) и магнитным ( $H$ ), отсчитанный по часовой стрелке, называют **магнитным склонением** и обозначают  $D$ .

Угол между вектором и составляющей  $H$  называется **наклоением**, и обозначают  $I$

*Элементы магнитного поля Земли*

$Z, H, X, Y, D$

# 5. Вариации магнитного поля Земли

Изменения магнитного поля во времени называют **магнитными вариациями**.

Вариации делятся на

- периодические
- непериодические.

**Периодические вариации** имеют законченный цикл изменений в определенное время и подразделяются на

- суточные,
- годовые,
- вековые.

**Непериодическая вариация**, или магнитная буря, не имеет определенного периода и длится от нескольких часов до 2-3 суток.

Суточные, годовые вариации и магнитная буря обусловлены влиянием излучения Солнца. Вековые вариации связывают с внутриземными факторами.

## 6. Магнитные свойства горных пород и руд

Интенсивность магнитных аномалий зависит в основном от интенсивности намагничения рудных тел и горных пород. Полная интенсивность намагничения складывается из **остаточного** и **индукционного намагничения**.

Остаточное намагничение проявляется в том, что породы и руды уже намагничены и представляют собою как бы естественные магниты. Намагнитились они, вероятно, еще в момент образования и формирования горных пород из магмы, или при длительном метаморфизме и воздействии на них существующего ранее магнитного поля Земли.

Индукционная намагниченность пород и руд в современном магнитном поле Земли определяется их **магнитной восприимчивостью**  $\chi$ . Величина  $\chi$  свидетельствует о способности горных пород намагничиваться в магнитном поле. Так как состав горных пород различен, они обладают разным значением  $\chi$  и намагничиваются в одном и том же поле с различной интенсивностью.

**Намагниченность горных пород  $J$**  пропорциональна магнитному полю Земли  $T$

$$J = \chi T$$

т.е. магнитная восприимчивость играет роль коэффициента пропорциональности. Значения  $\chi$  природных геологических образований меняется в очень широком диапазоне, более чем в миллион раз. Поэтому величину магнитной восприимчивости часто выражают в  $10^{-5}$  ед. СИ.

По величине  $\chi$  все минералы делятся на три группы:

- диамагнитные,
- парамагнитные,
- ферромагнитные.

**Диамагнитные минералы** (висмут, медь, золото, серебро, алмазы, свинец, кварц, гипс и др.) обладают самой малой восприимчивостью  $\chi < 0$ , обычно порядка (1-2)  $10^{-5}$  ед. СИ. Такие минералы не могут создать магнитных аномалий.

**Парамагнитные минералы** (платина, гранат, турмалин, мусковит, биотит и др.) имеют магнитную восприимчивость  $\chi > 0$ , порядка (20-90)  $10^{-5}$  ед. СИ. Их крупные скопления могли бы вызвать аномалии в несколько нанотесл.

**Ферромагнитные минералы** (магнетит, титаномагнетит, гематит, пирротин) обладают самым высоким значением магнитной восприимчивости: магнетит – 4-25 ед. СИ, титаномагнетит –  $10^{-5}$ -25 ед. СИ, пирротин –  $10^{-2}$ - $10^{-1}$  ед. СИ.

Магнитные свойства горной породы зависят от химико-минералогического состава, структуры, соотношения в породах диа-, пара- и ферромагнитных материалов и их количества.

Изверженные породы характеризуются возрастанием магнитной восприимчивости от кислых (граниты) к основным (габбро) и особенно ультраосновным (перидотиты). Метаморфические породы могут иметь различные значения магнитной восприимчивости. Осадочные породы, как правило, слабомагнитны; химические осадки (известняки, доломиты) – немагнитны.

# 7. Связь магнитных аномалий с геологическим строением

Магнитное поле на поверхности Земли не везде одинаково. Встречаются районы, где магнитное поле значительно сильнее, чем в соседнем. Такие районы получили название **магнитных аномалий**, например, аномалии в Кривом Роге, в Курской и Белгородской областях, на Урале, около Одессы и в ряде районов Сибири.

Основная **причина** возникновения магнитных аномалий – **наличие геологических тел, отличающихся по намагниченности от вмещающих пород**. Чаще всего аномалии вызываются изверженными или метаморфическими горными породами, железными рудами, в которых содержится значительное количество ферромагнитных материалов. Чем больше ферромагнитных минералов в породе, тем выше ее магнитная восприимчивость и интенсивность намагничения  $J$ .

Осадочные породы практически слабомагнитны, что объясняется незначительным присутствием в них ферромагнетиков. Величина магнитных полей над ними близка к нормальному полю.

Следовательно, по величине магнитных аномалий можно сделать заключение о породах, залегающих в данном районе. Большое разнообразие горных пород по интенсивности намагничения создает благоприятные условия для применения магниторазведки при геологическом картировании, тектоническом районировании и поисках многих полезных ископаемых.

# 8. Аппаратура для измерения магнитного поля

Приборы для измерения магнитного поля называются **магнитометрами**. Для суждения о степени и характере изменения магнитного поля Земли необязательно измерять величину и направление его полного вектора. Вполне достаточно проводить систематические наблюдения какого-либо из его элементов. Особенно широкое практическое применение получили Z-магнитометры, измеряющие вертикальную составляющую земного магнитного поля.

В зависимости от конструкции и принципа измерения геомагнитного поля выделяют

- оптико-механические,
- феррозондовые,
- протонные,
- квантовые магнитометры.

Современная магниторазведочная аппаратура обеспечивает точность измерений магнитного поля до десятых долей нТл. Приборы, предназначенные для пешеходных наземных, автомобильных и дистанционных аэро- и космических магнитных съемок существенно различаются по конструкции.



*Магнитометры*

# 9. Задачи, решаемые с помощью магниторазведки

1. **Поиски месторождений железных руд полиметаллов (руды свинца, цинка и серебра), бокситов, никеля, алмазов и других полезных ископаемых.**
2. **Изучение глубинного строения и определение возраста горных пород, направления и скорости движения крупных блоков земной.**
3. **Геологическое картирование.**
4. **Установление ориентировки струй в речных отложениях и россыпях, реконструирование направления потока застывшей лавы.**
5. **Археологические задачи.**
6. **Трассирование трубопроводов, поиски затонувших судов, планомерные рудо- и нефтепоисковые работы в пределах шельфа Мирового океана.**
7. **Исследования в области магнитобиологии.**