

А. Г. КАЛАШНИКОВ

О ГИСТЕРЕЗИСЕ СЛАБОМАГНИТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком П. П. Лазаревым 30 VII 1940)

В геофизической литературе до сих пор господствует мнение, что все слабомагнитные горные породы (с коэффициентом восприимчивости  $\chi < 100 \cdot 10^{-6}$ ) и в особенности осадочные—парамагнитны или диамагнитны (1, 2). Если величина магнитной восприимчивости не меняет своего значения в зависимости от напряженности поля, то совершенно безразлично, в каком поле определяется коэффициент восприимчивости. Если же коэффициент восприимчивости слабомагнитных пород есть величина переменная, то для различных геофизических расчетов надо учитывать изменение этой величины в зависимости от напряженности поля и выяснить причины такого изменения.

Для исследования этого вопроса была применена методика крутильных весов, разработанная Фарадеем и усовершенствованная Кюри. В поле небольшого электромагнита помещался образец в виде цилиндрика диаметром 2 мм и длиной 18 мм. В качестве образца обычно употреблялась мелкоистолченная порода, насыпанная в цилиндрическую пробирку; но иногда из породы вытачивался сплошной цилиндр таких же размеров. Образец в межполюсном пространстве всегда устанавливался в одном и том же месте, которое фиксировалось с точностью до 0,04 мм. Напряженность поля электромагнита тщательно измерялась во всем пространстве, занятом образцом, двумя способами: способом рамки, обтекаемой током, и с помощью маленького измерительного индуктора, названного нами «полемером»; последний давал среднюю величину напряженности поля в пространстве, занятом образцом. По длине образца поле изменялось по сравнению со значением в центре образца на 2,8%. Пробирка с образцом помещалась в особый ограничитель, который не давал возможность ей перемещаться в поле больше чем на 0,3 мм.

Коэффициент восприимчивости породы определялся по сравнению с химически чистым висмутом или водой на основании формулы:

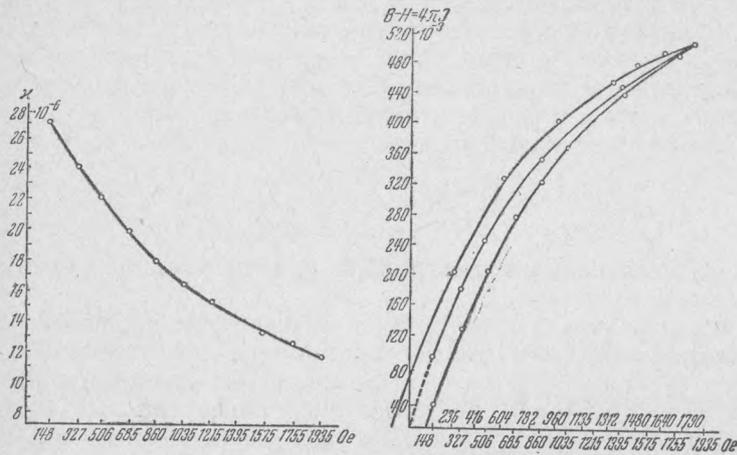
$$F_1 = kD_1 = \chi_1 m_1 H \frac{dH}{dx},$$

где  $F_1$ —сила взаимодействия поля и данного тела,  $k$ —постоянная крутильного подвеса,  $D_1$ —угол поворота крутильной головки,  $\chi_1$ —удельная восприимчивость,  $m_1$ —масса,  $H$ —средняя напряженность поля в пространстве, занятом образцом,  $\frac{dH}{dx}$ —градиент поля в том же месте. Для тел сравнения  $D_1$  было определено при значениях  $H$  от 148 эрстед до 1935.

Для испытуемого образца имеем:

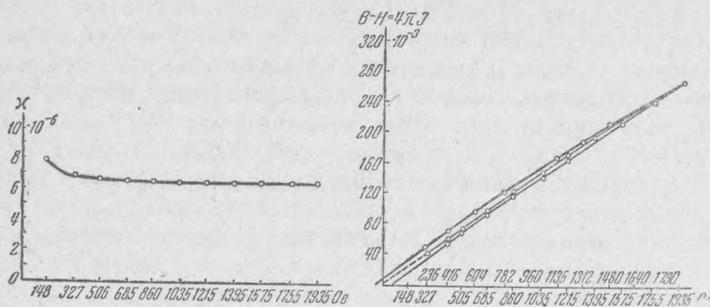
$$F = kD = \chi m H \frac{dH}{dx}. \quad \text{Отсюда} \quad \chi = \chi_1 \frac{m_1 D}{m D_1}.$$

Ввиду малого значения  $\chi$  размагничивающий фактор не учтен.  
 Было исследовано около 70 образцов осадочных пород из скважин так называемого Окско-Цнинского вала, охватывающих толщю земной коры



Фиг. 1. Кривая намагничивания образца № 48 Окско-Цнинского вала (песчаники с прослоями песков),  $Fe_2O_3$ —2,36;  $FeO$ —0,68;  $Fe$ —2,32.

до глубины в 617 м. Часть образцов вела себя в сильных полях как парамагнитные вещества, а часть—как диамагнитные. При изменении же поля так, как обычно его производят для снятия циклических кривых намагничивания, все породы не только показывали изменение  $\chi$  в зависимости от величины поля, но и демонстрировали известное остаточное намагничивание, что давало возможность построить петлю гистерезиса для таких слабомагнитных пород. В качестве примера приводим две кривые (см. фиг. 1 и 2). Химический анализ на окислы железа для ряда образцов пока не дал возможности установить какую-либо зависимость между содержанием окисного или закисного железа и интенсивностью намагничивания, величиной остаточного намагничивания и коэрцитивной силой.



Фиг. 2. Кривая намагничивания образца № 53а Окско-Цнинского вала (глина песчаная зеленая),  $Fe_2O_3$ —4,82;  $FeO$ —0,44;  $Fe$ —3,71.

Следует заметить, что много пород характеризовалось коэрцитивной силой порядка 100 эрстед при интенсивности остаточного намагничивания порядка  $3-10 \cdot 10^{-3}$  гаусса. Образцы, которые в сильных полях вели себя как диамагнитные, в слабых полях имели уменьшение (по абсолютной величине) коэффициента восприимчивости, а иногда и переход его к положительным значениям. Приводим одну из кривых (фиг. 3), показывающую изменение  $\chi$  в зависимости от напряженности поля.

<sup>2</sup> Доклады Акад. Наук СССР, 1940, т. XXIX, № 5—6.

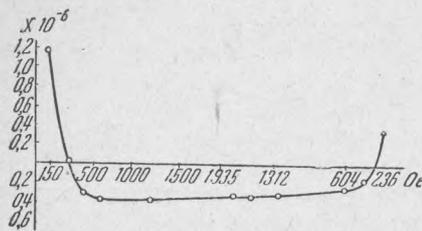
Обнаруженные явления гистерезиса в слабомагнитных породах могут быть объяснены тем, что эти породы подобно всем другим горным породам составлены, как правило, из трех различных фракций: ферромагнитной, парамагнитной и диамагнитной. В породах Окско-Цнинского вала наряду с парамагнитными и диамагнитными фракциями всегда имела место и ферромагнитная. Очень вероятно, что такой состав имеют все осадочные породы. Вследствие этого величина  $\chi$  складывается из трех средних значений  $\chi$ , относящихся к ферромагнитной, парамагнитной и диамагнитной фракциям, что можно выразить формулой:

$$\chi = \chi_f + \chi_p - \chi_d = \frac{\sum m_f \chi_f}{\sum m_f} + \frac{\sum m_p \chi_p}{\sum m_p} - \frac{\sum m_d \chi_d}{\sum m_d}, \text{ где } \sum m_f + \sum m_p + \sum m_d = m.$$

При изменении напряженности поля  $\chi_f$  меняется, в то время как  $\chi_p$  и  $\chi_d$  остаются постоянными.

Наши измерения показывают, что в большинстве образцов ферромагнитные фракции получают намагничение насыщения в поле напряженностью около 700—800 эрстед. Некоторые образцы в более сильных полях ведут себя как парамагнитные или как диамагнитные. Кривую (фиг. 3) можно объяснить тем, что она представляет собой результат суммирования кривой, представляющей изменение  $\chi_f$  ферромагнитной фракции, и прямой, выражающей изменение  $(\chi_p - \chi_d)$  парамагнитной и диамагнитной фракций.

Фиг. 3. Изменение восприимчивости образца № 37 в зависимости от напряженности поля.



Обнаруженные свойства некоторой части осадочных пород позволяют выдвинуть следующие положения:

1) Ввиду того, что как изверженные, так и осадочные породы обладают ферромагнитной фракцией и изменяют коэффициент восприимчивости в средних и сильных полях, для геофизических расчетов, производимых при интерпретации магнитных аномалий, надо иметь коэффициенты восприимчивости, определенные в полях порядка земного магнитного поля.

2) Данная методика исследования магнитных свойств горных пород дает возможность, при доведении намагничивания ферромагнитной фракции до насыщения, выделять парамагнитную или диамагнитную фракцию (если изменить при этом температуру, то, вероятно, можно разделить парамагнитную и диамагнитную фракции).

3) Поскольку микроскопическое исследование показывает, что ферромагнитная фракция существует в осадочных породах в виде небольшого количества рассеянных зерен различных ферромагнитных минералов, необходимо для объяснения магнитных свойств этих пород произвести исследование зависимости этих свойств от концентрации, формы и химического состава ферромагнитных зерен, распределенных в парамагнитных и диамагнитных минералах.

Институт теоретической геофизики  
Академии Наук СССР

Поступило  
30 VII 1940

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> G. Grenet, Ann. de Phys., XIII (1930). <sup>2</sup> Н. И. Спиридович, Тр. ВНИИМ, № 18 (1938).