

А. Г. КАЛАШНИКОВ и С. П. КАПИЦА

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЯХ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 19 VII 1952)

Зависимость магнитных свойств горных пород от одноосных упругих напряжений до сих пор не исследовалась, за исключением магнетита (1, 2). Между тем знание изменения магнитной восприимчивости и остаточного намагничивания горных пород при изменении напряжений имеет большое геофизическое значение. Если геотектонические процессы, например те, которые связаны с землетрясением, сопровождаются изменением упругих напряжений в горных породах, то изменение намагниченности горных пород при изменении напряжений должно вызывать также соответствующие вариации геомагнитного поля на поверхности Земли (тектономагнитный эффект). Одной из задач настоящей работы являлось выяснение физических предпосылок такого тектономагнитного эффекта.

Как показывают наши предыдущие исследования (3), почти все горные породы включают в себя три фракции породообразующих минералов: диамагнитную, парамагнитную и ферромагнитную; последняя почти всегда представлена зернами или микроскопическими включениями магнетита, количество которого в основном и определяет величину магнитной восприимчивости горных пород. Магнетит, как известно (4, 5), обладает положительной магнитострикцией и следовательно, при сжатии магнетита в целом или отдельных его включений магнитная восприимчивость его должна уменьшаться, что и показано в работах М. А. Грабвского (1). Результаты этих работ дают возможность предвидеть, что магнитная восприимчивость горных пород, содержащих магнетит, должна изменяться при сжатии на небольшую величину. Поэтому необходимо было разработать такой метод измерения, который давал бы возможность отмечать весьма малые изменения восприимчивости при сжатии и притом в слабых полях, порядка земного поля, что очень важно для геофизических приложений. Таким методом оказался компенсационный способ измерения изменения взаимной индуктивности катушек, общим сердечником которых является исследуемая горная порода.

Схема установки показана на рис. 1. Образец 1, диаметром в 30 мм, длиной 110 мм, вырезанный из керна, помещается в поле намагничивающей катушки 2 и внутри индукционной катушки 3. Намагничивающая и индукционная катушки были связаны с парой компенсационных катушек 4, 5. Катушки 2 и 4 питались переменным током от генератора 6 частотой 130 гц; амплитудное значение тока измерялось амперметром А. Индуцированная э. д. с. в катушке 3 компенсировалась э. д. с. в катушке 5. При сжатии восприимчивость образца 1 изменялась, вследствие чего в катушке 3 возникала э. д. с., пропорциональная изменению восприимчивости; компенсация ее проводилась путем перемещения микрометром 9 длиной и узкой катушки 6, последовательно соединенной с катушкой 5.

Напряжение, находящееся в фазе с намагничивающим током, вызываемое потерями энергии в образце, компенсировалось снятием напря-

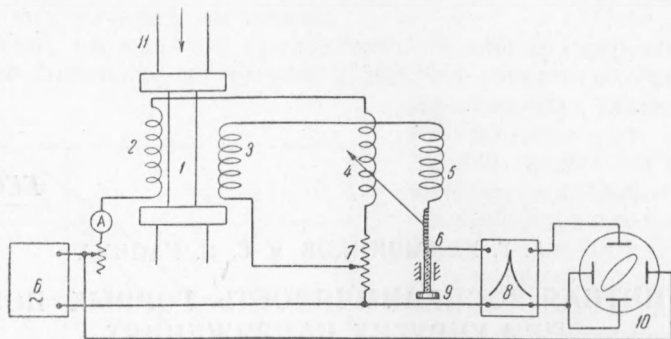


Рис. 1. Схема установки

жения с потенциометра 7. Э. д. с., возникавшая при напряжении компенсации, усиливалась узкополосным регенеративным усилителем 8 и по-

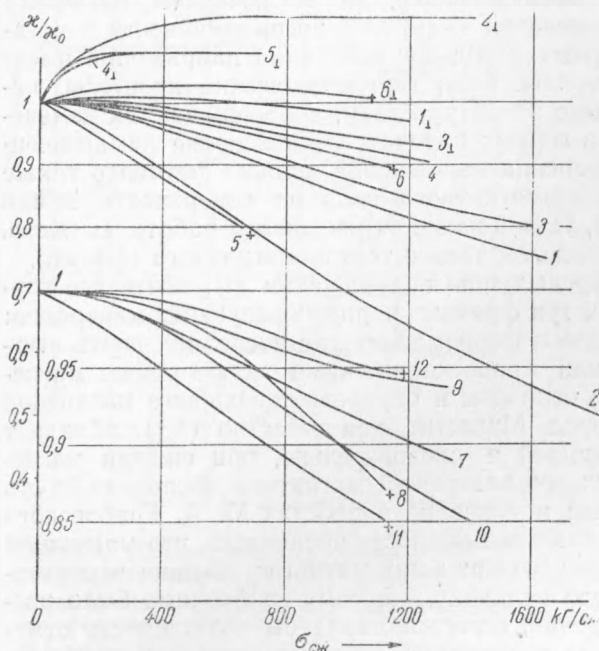


Рис. 2. Изменение магнитной восприимчивости горных пород при сжатии. Обозначено: 1 — диабаз, Сибайское месторождение $\chi = 4660 \cdot 10^{-6}$, 2 — базальт Берестовецкое м-ние $\chi = 2510 \cdot 10^{-6}$, 3 — базальт, Салтаевское м-ние $\chi = 3720 \cdot 10^{-6}$, 4 — сиенит, г. Благодать $\chi = 1300 \cdot 10^{-6}$, 5 — андезит, Бакуриани $\chi = 1865 \cdot 10^{-6}$, 6 — горнблендит, Первоуральск $\chi = 3000 \cdot 10^{-6}$, 7 — диорит-порфир, Урал, Магнитогорск $\chi = 80 \cdot 10^{-6}$, 8 — базальт, Кутайси $\chi = 500 \cdot 10^{-6}$, 9 — габбро, Турчинское м-ние $\chi = 104 \cdot 10^{-6}$, 10 — порфир, Магнитогорск $\chi = 1140 \cdot 10^{-6}$, 11 — скарн гранатовый, Магнитогорск $\chi = 470 \cdot 10^{-6}$, 12 — диорит, Магнитогорск $\chi = 5300 \cdot 10^{-6}$, \perp — измерения при $H \perp \sigma$, остальные при $H \parallel \sigma$, + — разрушение образца

давалась на осциллограф 10 типа Э04, который служил в качестве фазочувствительного нуль-индикатора. Чувствительность этой установки была такова, что при напряженности поля в намагничивающей катушке 0,6 эрстед можно было заметить изменение восприимчивости в $1 \cdot 10^{-6}$ с.g.s.m.

В этих катушках измерялось изменение восприимчивости в поле, направленном параллельно силе сжатия. Для изучения изменения восприимчивости перпендикулярно силе сжатия применялась аналогичная пара катушек, в которых намагничивающая катушка намагничивала образец перпендикулярно силе сжатия, а индукционная отмечала изменение восприимчивости в том же направлении. Чувствительность катушек, перпендикулярных направлению сжатия, была на порядок меньше чувствительности параллельных. Упругие напряжения в образцах создавались 25-тонным гидравлическим прессом 11. Действие метал-

лических частей пресса на катушки было исключено.

Нами были исследованы образцы некоторых горных пород различного

происхождения. При сжатии образцов восприимчивость, измеренная параллельно направлению сжатия, всегда уменьшалась, иногда очень значительно (до 50% у базальта). Относительная величина уменьшения восприимчивости мало зависит от исходной восприимчивости пород. Как показывают приведенные графики (рис. 2), в начале действия напряжения (в пределах до 100—200 кГ/см²) градиент изменения κ/κ_0 нарастает, а затем становится постоянным.

Изменение восприимчивости перпендикулярно силе сжатия имеет другой характер; для ряда образцов после некоторого увеличения восприимчивости дальнейший рост κ прекращается и увеличение напряжения сжатия перестает влиять на изменение κ (см. рис. 2, кривые 2, 5, 4). В других случаях наблюдалось незначительное уменьшение восприимчивости при сжатии и в поперечном поле.

Некоторые кривые на графиках обрываются в конце прямолинейной части — при дальнейшем увеличении напряжения порода разрушается. Нам до сих пор не удалось сжать какую-либо породу до таких напряжений, при которых линейное изменение κ прекращается и наступает выполаживание кривой. Никаких особых явлений в изменении κ/κ_0 перед разрушением пород нам обнаружить не удалось.

Проведенные опыты показывают, что магнитная восприимчивость горных пород сильно зависит от одноосных напряжений. Поскольку восприимчивость горных пород зависит от наличия в них магнетита, изменения κ при сжатии имеют отрицательные значения. Закономерность уменьшения κ у разных пород выражается различно; повидимому, это зависит с одной стороны от упругих свойств вмещающей магнетит породы, а с другой — от величины, формы и структуры магнетитовых включений.

Значительные изменения κ при сжатии заставляют нас предполагать, что при сильных тектонических процессах должно иметь место и изменение намагниченности горных пород; последнее должно отражаться на вариациях геомагнитного поля, наблюдаемых на поверхности Земли.

Обнаруженные нами явления следует учитывать при определении восприимчивости пород в глубоких скважинах методом магнитного кароттажа. Пробуренная скважина вызывает перераспределение напряжений в непосредственной близости от стенок скважины. Поэтому восприимчивость пород, измеренная вблизи стенок скважин, может отличаться от восприимчивости неразгруженной породы.

Поступило
2 VI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Грабовский, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., 13, № 2 (1949).
² E. Wilson, Proc. Roy. Soc., 101 A, 445 (1922). ³ А. Г. Калашников, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., 317, № 3 (1941). ⁴ Дорогой, Уч. зап. Харьк. ун-та (к 130-летию Харьковского университета), 1, 1935. ⁵ М. А. Грабовский, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., 14, № 6 (1951).