

**С.А. ВОЛОСНЕВ, А.Н. КОЗЛОВ, А.В. НЕХОРОШЕВ,
С.Е. СИНЕЛЬНИКОВА, Ю.П. СКОВОРОДКИН**

МАГНЕТИЗМ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ КРЕМНЕЗЕМ-ВОДА

(Представлено академиком М.А. Садовским 13 V 1986)

Локальные изменения геомагнитного поля объясняются различными явлениями в земной коре. Так, магнитные вариации, обнаруженные в сейсмоактивных районах при заполнении водохранилищ, объясняются пьезомагнетизмом — изменением намагниченности горных пород под влиянием тектонических напряжений или электрическими токами, возникающими при фильтрации вод через проницаемые породы [1,2]. В настоящее время принято считать, что именно эти механизмы реализуются при сеймотектоническом процессе. Однако новые данные показывают, что возможны и другие причины изменения геомагнитного поля.

В ходе лабораторных экспериментов по исследованию кинетики магнитных свойств дисперсных систем нами обнаружено возникновение магнетизма у смеси кремнезем—вода. При этом использовался мелкодисперсный кремнезем (кварц) с размером частиц от 400 до 50 мкм. Коэффициент диамагнитной восприимчивости кремнезема $\chi = -4,9 \cdot 10^{-6}$, у воды $\chi = -9 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ. В смеси же кремнезема с водой, полученной простым перемешиванием, возникает парамагнитная восприимчивость, достигающая $\chi = 6 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, т.е. на порядок больше по значению, чем у исходных компонентов (рис. 1).

Экспериментальным доказательством парамагнетизма и магнитной изотропии смеси явилось соответствие направлению вектора индукции магнитного поля Земли направления намагниченности образцов и независимость модуля от их ориентации.

Использование в качестве жидкого компонента непредельных углеводородов типа ацетона, этанола и др. показало, что смесь кремнезема с ними обладает положительной магнитной восприимчивостью, которая близка по значению к смеси кремнезем—вода. Предельные углеводороды в смеси с кремнеземом практически дают те же значения диамагнитной восприимчивости, что и исходные компоненты.

Добавление к воде щелочей или солей в небольших количествах приводит к увеличению восприимчивости смеси: введение щелочи калия до 6% водного раствора вызывает возрастание k в 1,7 раза.

Измерения электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) для смеси кремнезем—вода показали отсутствие четко выраженного спектра ЭПР, т.е. система характеризуется малыми значениями времени релаксации.

Вероятно, что парамагнетизм возникает под влиянием поверхностных эффектов, которые обуславливают малые времена релаксации. Тогда естественно предполагать, что значение k будет зависеть от суммарной поверхности частиц, которая возрастет при уменьшении их размера. Полагая, что частицы имеют сферическую форму радиуса R , суммарная поверхность частиц S_{Σ} при известной массе m и плотности ρ : $S_{\Sigma}[\text{см}^2] = 3m[\text{г}]/\rho[\text{г/см}^3] \cdot R[\text{см}]$. Экспериментальная проверка зависимости k и S_{Σ} производилась при

смешивании равных навесок кремнезема с водой для средних размеров частиц от 42 до 300 мкм. Обнаруживается однозначная зависимость значений k от суммарной поверхности (табл. 1). Измерения магнитных свойств фильтрата после отстоя показали, что парамагнитные свойства его практически отсутствуют, т.е. переноса парамагнитных центров в жидкость не происходит. Таким образом, мы приходим к выводу о возникновении парамагнетизма в результате поверхностных эффектов на границе жидкость—твердое тело, обусловленных физико-химическими явлениями.

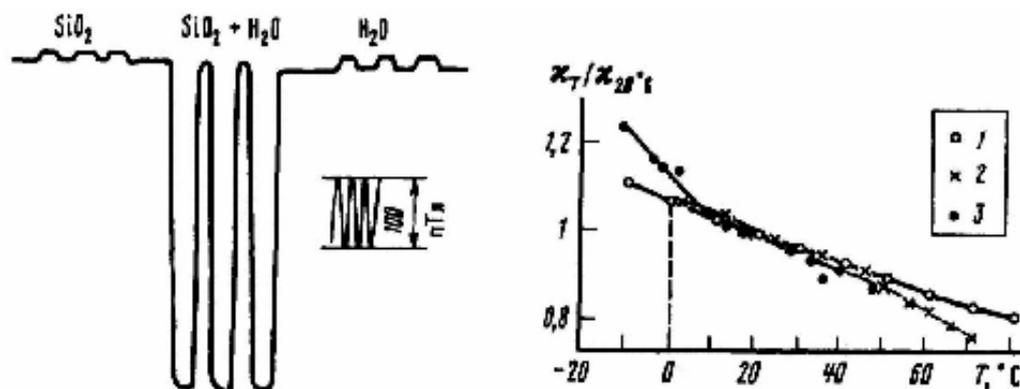


Рис.1. Диамагнитная намагниченность у равных объемов кремнезема, воды и смеси, обнаруживающей парамагнитные свойства.

Рис.2. Зависимость от температуры магнитной восприимчивости кислорода (1), смесей кремнезем – вода (2), кремнезем – ацетон (3).

Зависимость, магнитной восприимчивости мелкодисперсной системы кремнезем—жидкость от температуры исследована с целью определения влияния фазового перехода вода—лед и значений kT . Оказалось, что с повышением температуры смеси магнитная восприимчивость уменьшается по закону, близкому к линейному, и в области температур от 10 до 50°C практически совпадает с температурным ходом k парамагнитного кислорода O_2 , описываемого законом Кюри (рис. 2). Средний температурный коэффициент магнитной восприимчивости составляет около 0,30%/°C для смеси частиц размером от 10 до 400 мкм. При замерзании смеси восприимчивость резко уменьшается и полностью восстанавливается при размораживании. Причиной того, по-видимому, является уменьшение подвижности молекул, ионов при переходе воды в новое агрегатное состояние — лед. Уместно отметить, что при полном высыхании жидкости парамагнетизм исчезает и переходит в диамагнетизм, характерный для мелкодисперсного кремнезема.

Итак, экспериментальные данные указывают на то, что структурные изменения в граничных слоях полярных жидкостей на поверхности твердой фазы приводят к возникновению магнетизма. Не исключено, что ответственными за парамагнетизм являются ионы кислорода.

Из экспериментальных данных следует, что в естественных условиях над проницаемыми породами, содержащими кремнезем, при изменении их водонасыщенности должна возникать магнитная аномалия ΔH не только в процессе фильтрации, но и в результате самого факта насыщения порового пространства. Можно оценить значение ΔH , исходя из лабораторных определений k смесей. Очевидно, что расчетные значения ΔH будут близки к верхнему предельному, так как измерения проведены на не сцементированных зернах, причем их размеры оптимальны для флюид-содержащих коллекторов. Расчет же выполнен для случая ΔH над полубесконечным пространством: $\Delta H = 2\pi J$, в котором при заполнении водой возникает намагниченность J к H в поле Земли $H = 40$ А/м (средние широты).

Таблица 1

Зависимость магнитных свойств смеси кремнезем-вода
от средних размеров частиц их суммарной площади

Диаметр частиц, мм	$S_{\Sigma} \cdot 10^3 \text{ см}^2$	$\chi, 10^{-5} \text{ ед. СИ}$	$\Delta H, 10^{-3} \text{ А/м}$	$\Delta B, \text{ нТл}$
10-400	-	6	16	20
300±100	2	7.4	19	24
150±50	4	0.27	69	85
84±20	7	0.63	158	198

В предельном случае изменение индукции поля может достигать первых сотен пТл, причем значение ΔB сильно зависит от диаметра зерен коллектора. В реальных горных породах за счет меньшей активной контактной поверхности жидкость - твердая фаза, конечных размеров возмущающего объема и условий его залегания наблюдаемая аномалия будет существенно меньше. Однако даже на два—три порядка меньший расчетного сигнал может быть зарегистрирован с помощью современной магнитной градиентометрии, например на основе датчиков с оптической накачкой [3. 4].

В заключение отметим, что возникновение парамагнетизма в системе $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ при температурах выше 0°C может быть причиной появления локальных геомагнитных вариаций из-за изменения уровня подземных вод при сейсмотектоническом процессе и вблизи водохранилищ. Перспективным представляется использование высокоточной градиентометрии для контроля гидрорежима в различных геологических структурах.

Московский институт инженеров землеустройства
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Академии наук СССР
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн Академии наук СССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Сковородкин Ю.П. Изучение тектонических процессов методами магнитометрии. М., 1985. 196 с.
2. 2. Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е., Пушков А.Н., Шапиро В.А. - Геомагнетизм и аэрономия, 1979, т. 19, № 2, с. 317-320.
3. 3. Козлов А.Н., Синельникова С.Е. В кн.: Экспериментальное исследование геомагнитного поля. М., 1984, с. 25-30.
4. 4. Иваница А.И., Фастовский У.В. В кн.: Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977, с. 16-21.