

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/271907031>

Superparamagnetic effect over gold and nickel deposits

Article in *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics* · January 1997

CITATIONS

40

READS

96

2 authors:



Pavel Barsukov

Russian Academy of Sciences

28 PUBLICATIONS 189 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



E. B. Fainberg

Russian Academy of Sciences

173 PUBLICATIONS 793 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Electromagnetic sounding of the Earth's interior [View project](#)



Аномалия электропроводности земной коры в Якутии. Физика Земли. №10 [View project](#)

УДК 550.837

“КАМИННЫЙ” СУПЕРПАРАМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ НАД ЗАЛЕЖАМИ ЗОЛОТА И НИКЕЛЯ

© 1997 г. П. О. Барсуков, Э. Б. Файнберг

Представлено академиком В.Н. Страховым 05.11.95 г.

Поступило 06.12.95 г.

В начале 90-х годов в ряде публикаций описывался эффект, проявление которого резко снижало эффективность наиболее популярного и широко применяемого метода электроразведки – ТЕМ (метод переходных процессов). Особенно интенсивно эффект проявлялся при импульсных зондированиях по ТЕМ-технологии с использованием близко расположенных или совмещенных приемных и передающих антенн: наблюдаемый в детекторах процесс затухания вихревых токов содержал компоненту с аномально малой скоростью релаксации, частично или полностью затушевывающую полезный сигнал.

Изучение образцов горных пород, продуцирующих этот эффект, позволило связать наблюдаемый процесс с явлением магнитной вязкости или суперпарамагнитным эффектом – SPM.

SPM-эффект обусловлен особенностями динамики намагничивания ферромагнитных частиц, имеющих размеры в первые сотни ангстрем. В горных породах SPM-эффект связан главным образом с наличием тонкодисперсных зерен магнетита, маггемита, гематита, лимонита [1]. Магнитные моменты этих частиц, ориентированные в возбуждающем поле, после его выключения релаксируют во времени к хаотическому состоянию по логарифмическому закону.

В ТЕМ-технологии детекторы регистрируют производную магнитного поля по времени t и SPM-эффект проявляется в виде процесса, затухающего как $\sim 1/t$.

Теория SPM, созданная Неелем [2], однозначно постулирует логарифмический спад во времени намагниченности образца, содержащего ферромагнитные частицы различных объемов, вне

зависимости от их распределения, концентрации и агрегатного состояния.

Эксперименты, выполненные магнитологами для различных образцов горных пород и искусственных ферритов [1], в целом подтверждают теоретические выводы [2], однако в ряде случаев наблюдаются отличия характера спада намагниченности от логарифмического [3–5]. Аномальными свойствами, например, обладают природные окислы железа: магнетит и маггемит.

Ю.Д. Тропин [6–8] и В.С. Аверьянов [4], проведя ревизию теории Нееля с учетом широкого круга экспериментальных данных, доказали возможность спада намагниченности по закону, отличному от $\lg(1/t)$. Однако ими не указано, какие конкретно структурные особенности ферромагнитных зерен или их агрегатного состояния приводят к изменению скорости релаксации намагниченности.

В то же время экспериментально установлено, что ничтожные по объему добавки некоторых соединений в искусственных ферритах могут кардинально изменить характер динамики намагничивания [3–5].

Таким образом, более точно спад производной магнитного поля SPM-процессов можно представить в форме

$$H'(t) \sim 1/t^{1+d}.$$

Здесь d характеризует аномальную часть процесса.

Результаты исследований, приведенные в настоящей работе, были получены при изучении SPM-эффектов образцов поверхностных терригенно-осадочных горных пород и почв на золоторудных и никельсодержащих рудопроявлениях. Основной целью исследований было изучение корреляционных связей между SPM-аномалиями и пространственным расположением рудных объектов.

Для измерений использовалась ТЕМ-аппаратура TEM-FAST ProSystem (ЦЭМИ) и специальный индукционный тороидальный SPM-датчик,

Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных
и редких металлов, Москва

Институт геоэлектромагнитных исследований
Объединенного института физики Земли
им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук,
Троицк Московской обл.

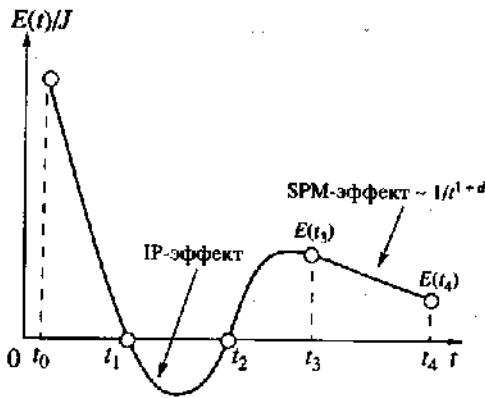


Рис. 1. Типичная кривая $E(t)/J$, описывающая процесс установления э.д.с. $E(t)$, нормализованной на ток J возбуждающего импульса.

в полость которого в качестве сердечника помещали сыпучие образцы исследуемых пород. Образцы представляли собой смесь песчано-глинистых отложений и почвы и отбирались из поверхностного слоя мощностью до 15 см. Импульсным током, пропускаемым через обмотку датчика, в исследуемом образце создавалось магнитное поле амплитудой ~ 200 А/м. Временной спад напряжения, возникающего в этой же обмотке после выключения тока, измерялся в течение 1000 мкс. По переходным характеристикам $H(t)$ определялись следующие параметры: суперпарамагнитная проницаемость χ_{SPM} , характеризующая "энергию" SPM-эффекта; аномальная часть d -процесса $H(t)$; интегральная "энергия" поляризационного IP-эффекта, характеризующая электрохимические свойства пород.

Кроме того, в некоторых случаях с помощью капмометра измерялась обычная статическая магнитная проницаемость образцов χ_{stat} .

На рис. 1 схематично показана типовая измеренная кривая $H(t) = E(t)/J$, т.е. напряжение на выходе детектора, приведенное к амплитуде импульсов тока, возбуждающего магнитное поле. Время t отсчитывается от момента выключения импульса тока и ограничено диапазоном измерений $t_0 < t < t_4$.

На ранних временах $t_0 < t < t_1$ преобладают собственные процессы в датчике, далее при $t_1 < t < t_2$ имеет место эффект вызванной поляризации (IP), инвертирующий фазу сигнала, а в диапазоне $t_3 < t < t_4$ после повторной инверсии фазы наблюдается SPM-эффект (величины t в микросекундах: $t_0 = 4$, $t_1 = 5-6$, $t_2 = 16-25$, $t_3 = 35-50$, $t_4 = 1000$).

"Энергия" IP-эффекта пропорциональна площади под кривой $H(t)$ в интервале $t_1 < t < t_2$, а "энергия" SPM-эффекта, выраженная в виде χ_{SPM} , в интервале $t_3 < t < t_4$ с точностью до некоторого коэффициента, зависящего от параметров

датчика, пропорциональна площади под кривой $H(t)$.

Параметр d определяется по формуле

$$d = \frac{\lg[E(t_3)/E(t_4)]}{\lg(t_4/t_3)} - 1.$$

На рис. 2 представлены данные, полученные по профилю, пересекающему россыпное золоторудное месторождение (Челябинская обл., Россия). Тесная корреляция распределений χ_{SPM} и χ_{stat} свидетельствует о том, что соотношение концентраций зерен ферромагнетиков, находящихся в SPM-состоянии, и более крупных частиц слабо изменяется по профилю, оставаясь в пределах 1:3-1:4. Однако эти параметры не коррелируют в пространстве с рудными зонами, и их природа, по-видимому, напрямую не связана с золоторудными залежами.

Распределение IP-эффекта также не коррелирует с рудными зонами и зависит от водонасыщенности пород: по мере просушки образцов IP-эффект постепенно исчезал.

Несомненный интерес представляет график распределения d : над не содержащими золота блоками $d > 0$, т.е. $H(t)$ убывает быстрее $1/t$, в то время как над рудоносными зонами $d < 0$ и $H(t)$ убывает медленнее $1/t$.

На рис. 3 представлены результаты измерений SPM-эффекта над глубокозалегающими никельсодержащими интрузивными телами (Воронежская обл., Россия). Распределение χ_{SPM} не коррелируется с проекциями рудных тел, в то время как поведение дифференциального параметра d такое же, как и в предыдущем случае: над рудными объектами $d < 0$, над безрудными $d > 0$. Следует отметить, что в отличие от золотоносного участка, где рудные блоки перекрыты терригенной толщей пород мощностью 20-40 м, в последнем случае субвертикально залегающие никеленосные интрузивы перекрыты осадочной толщей мощностью не менее 250-300 м.

На обоих участках были проведены измерения образцов, взятых с различных глубин, которые показали, что в пределах двухметровой толщи величины χ_{SPM} и χ_{stat} либо слабо возрастают, либо не изменяются, а параметр d остается постоянным. В предположении, что регистрируемые SPM-эффекты продуцируются преимущественно магнетит-маггемитовыми агрегатами, можно оценить весовое содержание зерен, находящихся в SPM-состоянии, в пределах $10^{-3}-10^{-4}\%$; оценки для гематитовых зерен на 1.5-2 порядка выше.

Основываясь на известных и полученных данных, можно предположить следующую модель образования SPM-аномалий. Зерна ферромагнитных минералов с широким спектром размеров

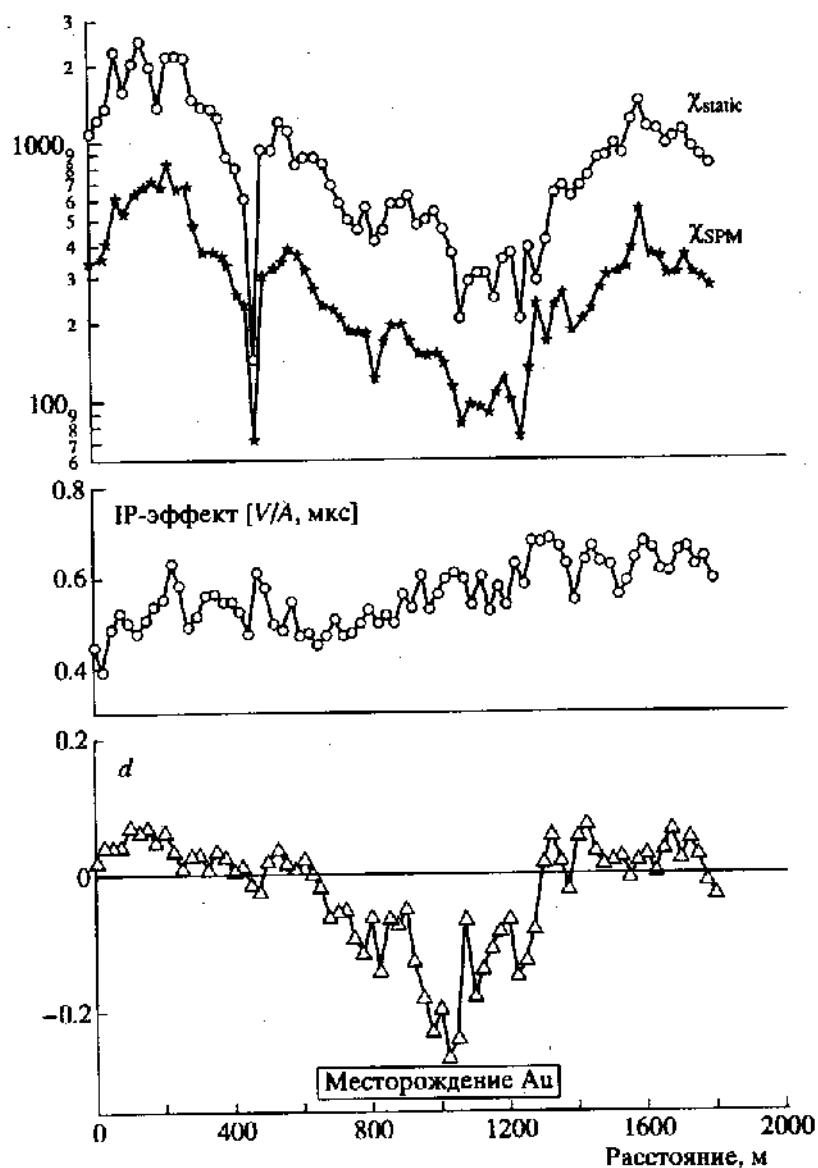


Рис. 2. Магнитная восприимчивость χ (в ед. СИ $\times 10^6$), амплитуда IP-эффекта и параметр d (аномальная часть процесса $E(t)/J$) вдоль профиля, пересекающего золоторудное месторождение (Челябинск, Россия).

сорбируются глинистыми фракциями терригенных пород и придают им весьма интенсивные магнитные свойства: статическая магнитная восприимчивость χ_{SPM} достигает значений $3000 \cdot 10^6$ и более ед. СИ. Поэтому обычно глинистые породы и почвы обладают весьма интенсивными SPM-свойствами.

Как правило, рудопроявления локализованы вблизи тектонически активных зон, которым они в своем большинстве обязаны своим происхождением. Эти зоны вплоть до современного геологического периода сохраняют свою активность и, в частности, по ним из глубины к поверхности поднимаются потоки газообразных соединений. Широко известны результаты измерений потоков ге-

лия, радона, торона и углеводородов в зонах разломов. Восходящие газовые потоки, проходя через толщи горных пород, обогащаются элементами и соединениями, присутствующими в них, а затем сорбируются глинистыми минералами поверхностных пород. По-видимому, привнесенные соединения участвуют в геохимических процессах формирования ферромагнитных минералов в поверхностных толщах. Они способствуют образованию различных агрегатных форм этих минералов со специфическими дефектами в кристаллической решетке, заполненными примесными атомами и обладающими различными особенностями динамики намагничивания.

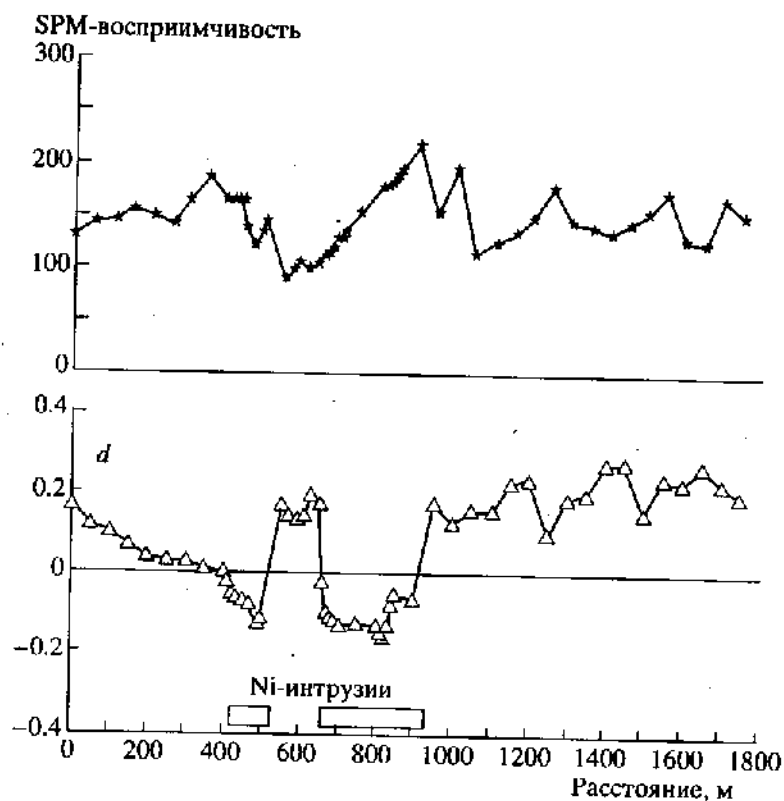


Рис. 3. Результаты измерений SPM-восприимчивости (в ед. СИ $\times 10^6$) и параметра d над глубоко залегающими никель-содержащими интрузивными телами (Воронеж, Россия).

Сейчас не удастся ответить на вопрос: какие же соединения переносятся газовыми потоками из рудных залежей и затем влияют на SPM-эффект — это предмет дальнейших исследований. В настоящее время можно лишь констатировать, что по дифференциальной характеристике SPM-эффекта можно выделять аномалии, тесно связанные с глубоко залегающими рудными объектами. Судя по особенностям их пространственного распределения, наблюдаемые аномалии напоминают хорошо известный «каминный» эффект — аномальные поля канализируются в столбе, поднимающемся от объекта до земной поверхности, и вызывают аналогию с поднимающимся дымом из каминна в безветренную погоду.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследова-

ний, грант NJF300, и Международного научного фонда, грант NJF000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагата Т. Магнетизм горных пород. М.: Мир, 1965. 346 с.
2. Neel L. // Ann. Geophysique. 1949. V. 5. № 99. P. 1004–1023.
3. Аверьянов В.С. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1965. № 7. С. 82–89.
4. Аверьянов В.С. Некоторые вопросы теории магнитной вязкости горных пород. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: Ин-т физики Земли, 1967. 123 с.
5. Трухин В.И. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1966. № 5. С. 105–111.
6. Тропин Ю.Д. // Там же. 1967. № 9. С. 73–76.
7. Тропин Ю.Д. // Там же. 1969. № 3. С. 81–88.
8. Тропин Ю.Д. // Там же. № 6. С. 100–104.