

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

XIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2017

Международная научная конференция

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО.
НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА,
РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. ЭКОНОМИКА.
ГЕОЭКОЛОГИЯ**

Т. 4

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2017

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, академик РАН,
директор Института нефтегазовой геологии и геофизики
им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

М. И. Энов

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, председатель Президиума
Кемеровского научного центра СО РАН, Кемерово; научный руководитель Института
нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

А. Э. Конторович

Кандидат технических наук, директор Института горного дела
им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск

А. С. Кондратенко

Кандидат геолого-минералогических наук,
генеральный директор АО «СНИИГГиМС», Новосибирск

А. С. Ефимов

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному
округу Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», Новосибирск

А. И. Неволько

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля
2017 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное
дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторожде-
ний полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т.
Т. 4. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 237 с.

ISBN 978-5-906948-29-8 (т. 4)

ISBN 978-5-906948-25-0

ISBN 978-5-906948-11-3

В сборнике опубликованы материалы XIII Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017», представленные на Международной научной конферен-
ции «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и раз-
работки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 622

ISBN 978-5-906948-29-8 (т. 4)

ISBN 978-5-906948-25-0

ISBN 978-5-906948-11-3

© СГУГиТ, 2017

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ МАГНИТОВЯЗКОГО ОСНОВАНИЯ И РАЗНОСА УСТАНОВКИ НА ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Николай Олегович Кожевников

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геоэлектрики, тел. (383)333-28-16, e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.sbras.ru

Евгений Юрьевич Антонов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории геоэлектрики, тел. (383)333-28-16, e-mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

При изучении горизонтально-слоистой среды, образованной магнитовязким основанием и перекрывающим его немагнитным слоем, ЭДС, индуцируемая в приемной петле за счет релаксации намагниченности, зависит от мощности h слоя и разноса r установки. При небольших h эта зависимость особенно сильно проявлена вблизи генераторной петли. Поэтому измерения в этой области открывают возможности для определения h в том случае, когда h намного меньше длины стороны петли.

Ключевые слова: метод переходных процессов, магнитная вязкость, интерпретация.

THE EFFECT OF THE DEPTH TO MAGNETICALLY VISCOUS BASE AND OF THE RECEIVER POSITION ON THE TEM RESPONSE

Nikolay O. Kozhevnikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, D. Sc., Professor, Principal Scientist, tel. (383)333-28-16, e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.sbras.ru

Evgeniy Yu. Antonov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, D. Sc., Principal Scientist, tel. (383)333-28-16, e-mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

The paper discusses the TEM response to a magnetically viscous basement overlain by a non-magnetic layer. It is shown that EMF induced in the receiving loop due to the magnetic relaxation depends on the thickness h of the layer and the receiver position. This dependence is particularly strong near the wire of the transmitter loop. Measurements in this area make possible estimating h even when h is much smaller than the length of the loop side.

Key words: TEM sounding method, magnetic viscosity, interpretation.

Магнитная вязкость – одно из фундаментальных свойств ферромагнитных материалов. Это явление заключается в запаздывании во времени изменений магнитных характеристик ферромагнетиков по отношению к изменениям

напряженности внешнего магнитного поля. В горных породах проявления магнитной вязкости связаны преимущественно с установлением и релаксацией намагниченности ультрадисперсных частиц ферромагнитных минералов – явлением суперпарамагнетизма.

Времена релаксации намагниченности суперпарамагнитных (СПМ) частиц ферромагнитных минералов составляют от 10^{-9} до 10^2 и более секунд. В указанный временной интервал попадает диапазон времен регистрации, устанавливаемой ЭДС в геофизических методах зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) и переходных процессов (МПП), поэтому релаксация намагниченности суперпарамагнитных частиц оказывает влияние на индукционные переходные характеристики.

Результирующий сигнал в приемной петле представляет сумму ЭДС e_1 и e_2 , индуцируемых релаксацией намагниченности и вихревых токов соответственно. ЭДС e_1 спадает обратно пропорционально первой степени времени t : $e_1(t) = bt^{-1}$, где b – коэффициент, который не зависит от времени. ЭДС e_2 убывает намного быстрее. Так, для однородного проводящего полупространства $e_2(t) \propto t^{-5/2}$. Поэтому с течением времени относительный вклад $e_1(t)$ в суммарный сигнал неуклонно возрастает. Начиная с некоторого момента влияние релаксации намагниченности становится преобладающим. Этот момент зависит от пространственного распределения удельной электропроводности и концентрации СПМ частиц, а также от геометрии генераторно-приемной установки.

Учет влияния магнитной вязкости геологических сред на индукционные переходные характеристики представляет собой актуальную задачу импульсной индуктивной электроразведки, при решении которой ведущую роль играет математическое моделирование. Ранее проявления магнитной вязкости были изучены преимущественно применительно к симметричным установкам – петля в петле (соосной) и однопетлевой [1, 2]. Применительно к разнесенным установкам моделирование было выполнено в ограниченном объеме для случая, когда петли расположены на поверхности однородного магнитовязкого полупространства. В этом случае ЭДС, создаваемая релаксацией намагниченности, имеет противоположный знак по отношению к наблюдаемой при расположении приемной петли в центре генераторной [1].

В настоящей статье рассматривается, как изменяются переходные процессы, измеряемые на поверхности немагнитного слоя, подстилаемого магнитовязким основанием, в зависимости от мощности h слоя и расстояния r (разноса) между центрами генераторной петли и приемной рамки.

Для расчетов использовался способ, основанный на решении уравнения Гельмгольца в частотной области с учетом зависимости магнитной восприимчивости от частоты и с последующей трансформацией во временную область. Магнитная восприимчивость рассчитывалась по формуле [1]:

$$\kappa^*(\omega) = \Delta\kappa \left[1 - \frac{1}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \cdot \ln \frac{1 + j\omega\tau_2}{1 + j\omega\tau_1} \right],$$

где ω – круговая частота; $j=(-1)^{1/2}$; τ_1, τ_2 – нижняя и верхняя границы диапазона времен релаксации; Δk – декремент магнитной восприимчивости, т. е. разница между ее значениями на низкой ($\omega \ll 1/\tau_2$) и высокой ($\omega \gg 1/\tau_1$) частотах. При выполнении расчетов использовались следующие значения: $\tau_1=10^{-6}$ с, $\tau_2=10^6$ с.

На первом этапе численного эксперимента было принято, что удельное электрическое сопротивление слоя (ρ_1) и основания (ρ_2) составляет 10^6 Ом·м. При таком сопротивлении вихревые токи затухают очень быстро, что позволяет изучать эффекты магнитной вязкости в «чистом виде». Значения Δk для немагнитного слоя и основания были равны нулю и 10^{-2} ед. СИ соответственно.

Рис. 1 иллюстрирует, как в зависимости от расстояния r от центра квадратной генераторной петли с длиной стороны $a=25$ м и мощности h верхнего немагнитного слоя (0.1 – 25 м) изменяется приведенная к току ЭДС, индуцируемая на времени $t=1$ мс в приемной рамке размером 1 м x 1 м. Длина профиля составляет 100 м, шаг наблюдений – 1 м.

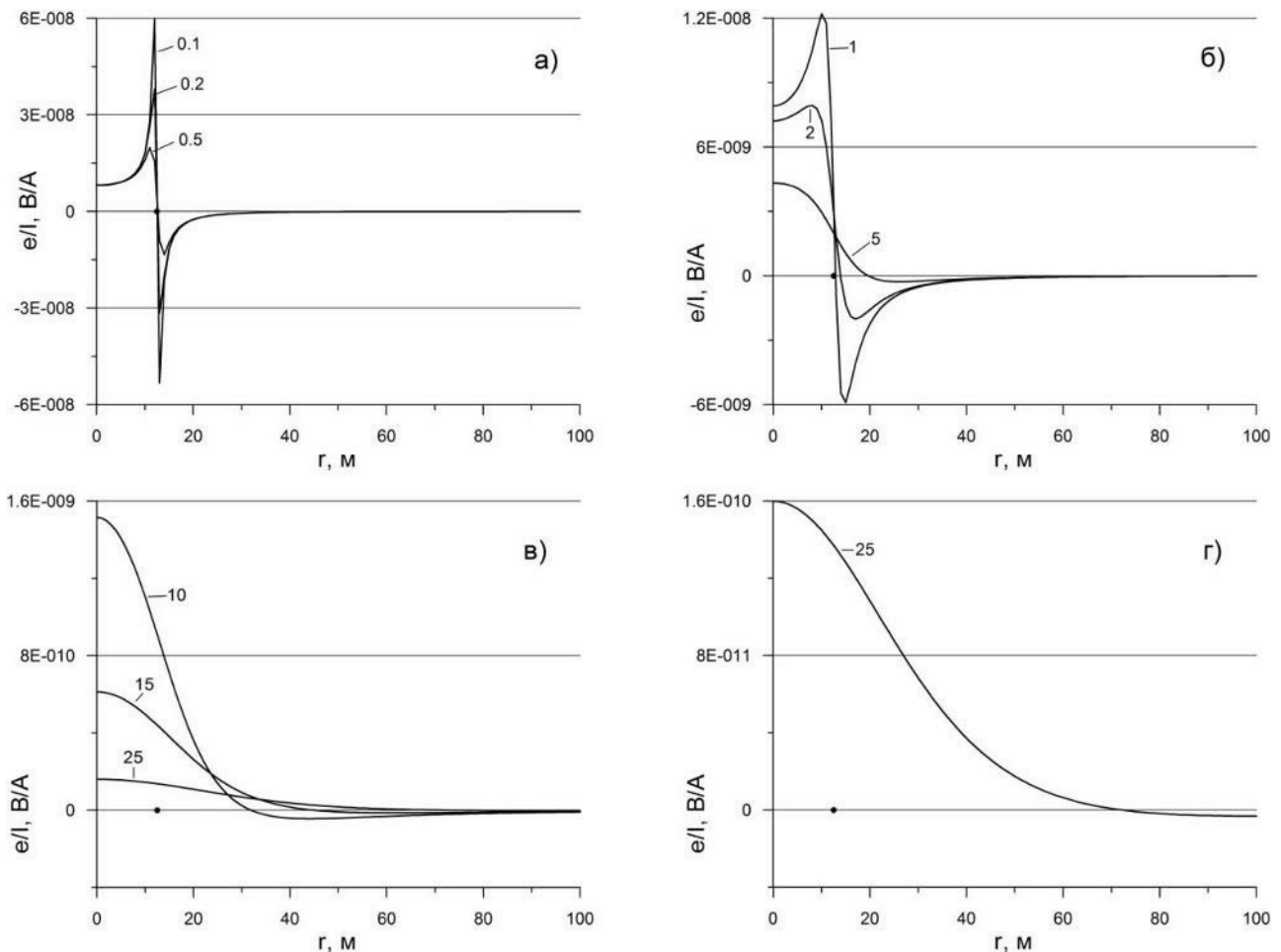


Рис. 1. Графики приведенной к току ЭДС (на времени 1 мс) в зависимости от разноса. Шифр графиков – мощность верхнего слоя h в метрах. Черный кружок на расстоянии $r=12.5$ м показывает положение провода петли на профиле наблюдений

При неглубоком залегании магнитовязкого основания, т. е. когда $h \ll a$ (рис. 1, а), по мере приближения к проводу наблюдается все более быстрое возрастание ЭДС. Как только приемная рамка оказывается снаружи петли, ЭДС изменяет полярность. При дальнейшем увеличении r ЭДС, оставаясь отрицательной, убывает по абсолютной величине. Скорость убывания максимальна вблизи провода, уменьшаясь по мере удаления от него. Увеличение h (рис. 1, б, в) приводит к тому, что графики становятся более плавными, максимум внутри петли перемещается к ее центру, а смена полярности ЭДС происходит при все больших r . На рис. 1, г график профилирования для $h=25$ м показан в более крупном масштабе, благодаря чему видно, что в этом случае смена полярности ЭДС наблюдается при $r=70$ м.

Ранее было показано [2], что при использовании симметричных установок параметром, контролирующим глубину исследований, является размер (длина стороны) генераторной петли. Это означает, что для исследования малых глубин необходимо использовать генераторные петли небольшого ($a \approx h$) размера. Однако, как показывает рис. 1, а, б, при малой мощности слоя наблюдается сильная зависимость от нее формы и уровня графиков, особенно вблизи провода петли. Это дает основания предположить, что, выполнив измерения при нескольких положениях приемника вблизи стороны большой ($a \gg h$) петли, можно определить глубину до магнитного основания.

С другой стороны, поскольку при малых h ЭДС реагирует на небольшие изменения r , незначительные погрешности в определении положения приемника будут трансформироваться в ошибки измерения ЭДС и, соответственно, погрешности определения параметров модели.

Напомним, что в рассмотренном примере удельное сопротивление верхнего слоя и основания составляло 10^6 Ом·м. При значениях удельного сопротивления среды, характерных для большинства горных пород, необходимо учитывать вклад, который в суммарный сигнал вносят устанавливающиеся в земле вихревые токи.

Как известно, в поздней стадии полярность ЭДС e_2 , индуцируемой в приемнике вихревыми токами, положительна и не зависит от r . ЭДС e_1 , вызванная релаксацией намагниченности, положительна внутри петли и на некотором участке профиля вне ее. Снаружи петли при удалении от провода, начиная с некоторого разноса, e_1 изменяет полярность. Поэтому, если приемник расположен снаружи петли на небольшом расстоянии от провода, результирующая ЭДС монотонно убывает во времени, оставаясь положительной. Однако при удалении приемника от петли наблюдается знакопеременный переходный процесс. В результате при небольших изменениях положения петли или толщины верхнего слоя суммарная переходная характеристика изменяется кардинальным образом.

Сказанное иллюстрируют результаты расчетов, представленные на рис. 2. В отличие от рассмотренного выше случая (рис. 1), было принято, что удельное сопротивление верхнего слоя и основания составляет 10^2 Ом·м.

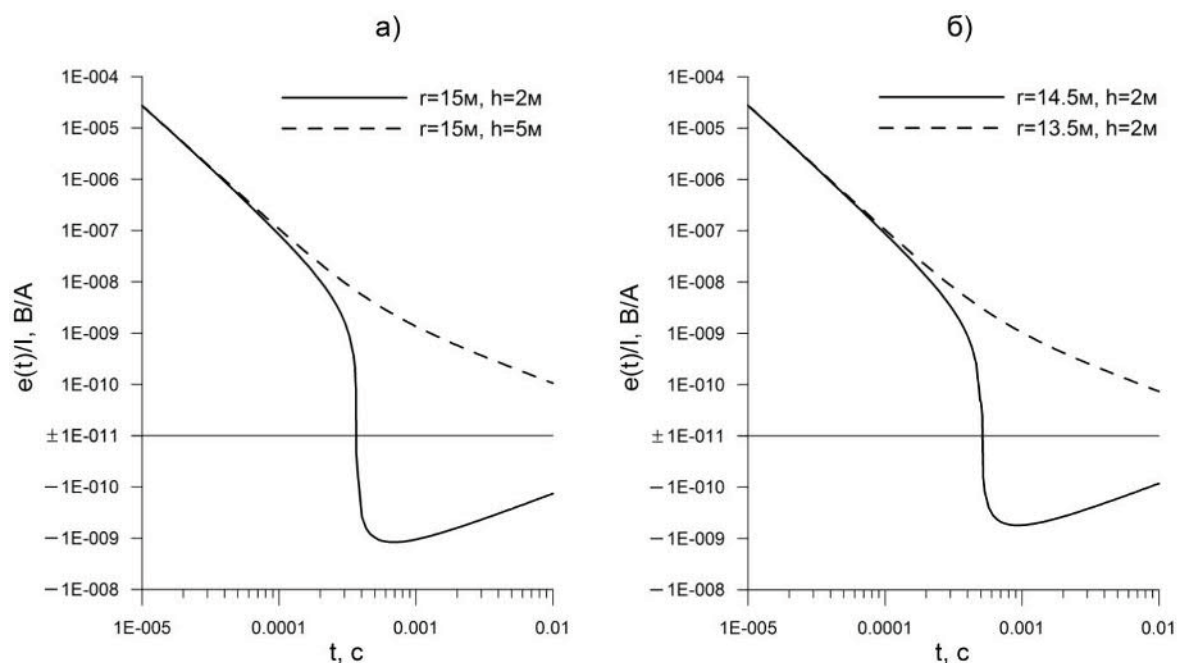


Рис. 2. Иллюстрация того, как небольшие изменения глубины залегания кровли магнитного основания (а) и разноса (б) оказывают значительное влияние на переходные характеристики

Выводы

При изучении горизонтально-слоистой среды, образованной магнитовязким основанием и перекрывающим его немагнитным слоем, ЭДС, индуцируемая в приемной петле за счет релаксации намагниченности, зависит от мощности h слоя и разноса r . При небольших h эта зависимость особенно сильно проявлена вблизи генераторной петли. Поэтому измерения в этой области открывают возможности для определения h в том случае, когда h намного меньше длины стороны петли. Вместе с тем суммарный эффект релаксации намагниченности и становления вихревых токов проявляется в том, что даже при небольших изменениях h и r переходная характеристика изменяется кардинальным образом. Это необходимо учитывать при проектировании работ и интерпретации результатов съемок методами импульсной индуктивной электроразведки в районах, где распространены породы с проявлениями магнитной вязкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Влияние релаксации намагниченности однородного полупространства на индукционные переходные характеристики // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 3. – С. 262–276.
2. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Влияние релаксации намагниченности двухслойного полупространства на индукционные переходные характеристики // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 10. – С. 1157–1170.

© Н. О. Кожевников, Е. Ю. Антонов, 2017