

- термомагнитометра. - В кн.: Тезисы докл. VII сессии семинара по проблемам построения и использования магнитометрической аппаратуры. Л., 1968, с.8-9.
6. Вонсовский С.В. Современное учение о магнетизме, 1952, с.314-315.
 7. Rimbert F. Contribution à l'étude de l'action de champs alternatifs sur les aimantations remanentes des roches. Thèses. Paris, 1958, p.126-135.
 8. Kobayashi K., Fuller M. Stable remanence and memory of multi-domain materials with special reference to magnetite. - Philos. Mag., 1968, vol.18, p.153-161.
 9. Петров И.Н., Металлова В.В. О состоянии магнетомягкой матрицы магнетита при термомангничивании. - В кн.: Матер. X съезда по пост. геом. полю и палеомагнетизму. М., 1976, с.74-75.

УДК 550.837

В.Т.Ильин, Е.К.Ильина

ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ НЕПОЛЯРИЗУЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРОДОВ

Многочисленные современные методы электроразведки, направленные на решение самых разнообразных задач, создание новой высокочувствительной аппаратуры определяют необходимость внимательного подхода к выбору и применению существующих неполяризуемых электродов и созданию новых их видов. В настоящее время существует широкий выбор лабораторных электродов сравнения, применяемых в электрохимии, исследовании которых посвящена обширная литература. В практике полевых геофизических работ используются главным образом медные неполяризуемые электроды. Они в достаточной степени изучены и удобны в обращении [1]. Другие виды неполяризуемых электродов применяются эмпирически, часто без учета их характеристик и особенностей.

Потенциал реального неполяризуемого электрода складывается из нескольких составляющих: собственно электродного потенциала, диффузионного потенциала на границе жидкость, заполняющая электрод, — среда и мембранного потенциала, образующегося в результате действия пористой перегородки. Величина каждой из этих составляющих зависит не только от внешних условий, но и от примененных при изготовлении электрода материалов. Сама по себе она не является определяющей для выбора того или иного типа электрода. Главным требованием к ним является устойчивость суммарного потенциала во времени и максимальная воспроизводимость, т.е. одинаковость потенциалов двух и более однотипных электродов и тем самым минимальная и устойчивая э.д.с. поляризации, которая в идеале должна быть нулевой.

Остановимся более подробно на каждой из составляющих потенциала электрода. Собственно электродный потенциал определяется уравнением Нернста

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{RT}{nF} \ln a,$$

где φ_0 — стандартный электродный потенциал; R — газовая постоянная; F — число Фарадея; n — валентность потенциалопределяющих ионов с учетом знака заряда иона; T — температура; a — активность потенциалопределяющих ионов в растворе.

Из уравнения очевидно, что источником разности значений электродных потенциалов может явиться разность температур и изменение концентрации электролита. Влияние этих факторов на э.д.с. поляризации медных электродов подробно изучено А.С. Семеновым [1]. Наиболее сильно влияние температуры сказывается при применении насыщенных растворов в качестве электролита, так как в этом случае нагревание раствора вызывает и одновременное изменение его активности.

Диффузионный потенциал или потенциал жидкостных соединений образуется на границе двух электролитов разных составов или концентраций. В общем случае он определяется уравнением Гендерсона и может быть аналитически найден лишь в некоторых частных случаях [2]. Сам по себе диффузионный потенциал невелик и редко превышает несколько десятков милливольт. Величина его уменьшается при применении электролитов с одинаковой подвижностью ионов. В частности, таким электролитом является KCl . В

от температуры.

Мембранный потенциал может возникнуть при использовании в конструкции электрода плотной керамики, пропускаемой не для всех присутствующих в растворах ионов. Этот потенциал также прямо зависит от температуры. Доля его участия в общем потенциале непolarизирующего электрода пока не изучена, но вряд ли она велика, поскольку чаще всего используемая керамика достаточно пропускаема. Также неизвестен характер его проявления в случае работы со студнеобразными электролитами, приготовленными с желатином или агар-агаром.

Таким образом, основным источником фиксируемой разности потенциалов между двумя однотипными электродами, т.е. в.д.с. поляризации, является разность температур электродов и разность концентраций электролитов. Поскольку последняя может быть точно измерена и подсчитана, нами изучались температурные характеристики некоторых видов электродов, стабильность их потенциалов во времени и степень поляризации. Температурные характеристики подсчитывались по изменению разности потенциалов, измеренной относительно холодного электрода при разности температур до 25°C . Стабильность в.д.с. поляризации определялась многочисленными наблюдениями на рядом расположенных электродах и при смене положения электрода перед каждым наблюдением.

Под степенью поляризации понимается сползание электродного потенциала под влиянием проходящего через электрод тока. Учет этой характеристики важен при использовании аппаратуры с низким входным сопротивлением и измерении значительных величин потенциала. Степень поляризации измерялась как обратимый сдвиг потенциала при токе 1 мкА , проходящем через электрод. Очевидно, что в этих измерениях большую роль будет оказывать площадь металлической части электрода, зависящая от его конструкции. Результаты, полученные при измерениях разных видов непolarизирующихся электродов, даются ниже.

Медные электроды. Как уже указывалось, их конструкция и характеристики подробно описаны А.С.Семеновым [1]. Они выпускаются серийно (конструкция А.С.Полякова) и широко используются при производстве полевых работ. Степень поляризации для серийных электродов равна $+170\text{ мВ/мкА}$ при анодной поляризации и

-70 мкВ/мкА при катодной. Стабильность потенциала зависит от тщательности подготовки электрода и степени чистоты используемого купороса. Для хороших пар электродов сползание э.д.с. поляризации равно 0,2 мВ/ч и менее.

Марганцевые электроды изготавливаются из старых, отработанных элементов ЗСЛ-9 (145 У), с которых снимается цинковая оболочка, а оставшаяся окись марганца с графитом и представляет собой неполяризуемый электрод [3]. Потенциал такого электрода определяется значением рН и содержанием кислорода в растворе [4]. Температурный коэффициент равен в водопроводной воде 0,25 мВ/град. и колеблется в некоторых пределах у разных электродов. Стабильность э.д.с. поляризации выше у электродов, приготовленных из элементов ЗСЛ-9, чем из элементов "Сатурн", и достигает 0,1 мВ/ч при стационарных наблюдениях. Степень поляризации равна нулю. Электроды требуют предварительного подбора пар, поскольку значение потенциала электрода неоднозначно. Удобны для работы на каменных почвах, в горных выработках и в других сложных условиях.

Свинцовые электроды являются окисными электродами, потенциал которых зависит от содержания кислорода и рН раствора [5]; весьма неустойчивы в работе, так как окисная пленка легко повреждается, а потенциал электрода произвольно меняется на 50 - 100 мВ. В крайнем случае могут быть использованы при стационарных наблюдениях.

Хлорсвинцовые электроды издавна применяются при каротажных работах [6]; в последнее время нашли применение при проведении морских и наземных геофизических работ [7, 8]. Потенциал электрода определяется реакцией $PbCl_2 + 2e \rightleftharpoons Pb + 2Cl^-$. Литературные данные по его температурному коэффициенту весьма противоречивы. По нашим измерениям в 1-молярном растворе KCl он равен $-0,4 \pm 0,42$ мВ/град., по данным Э.М. Литвинова и Л.В. Подгорного зависимость от температуры равнялась $-0,12$ мВ/град. [7], а по данным авторов работы [8] - $0,04$ мВ/град., при концентрации раствора NaCl 0,423 моль/л. Такое расхождение может быть объяснено влиянием температуры на мембранный и диффузионный потенциалы, причем таким влиянием, что происходит взаимная компенсации коэффициентов, зависящая от конструктивных особен-

ностей электродов. Степень поляризации мала: для катодной поляризации она равна нулю, а для анодной — 0,8 мВ/мкА. Требуется весьма тщательной подготовки и аккуратного обращения в связи со слабой стойкостью слоя хлористого свинца на металле.

Каломельные электроды наиболее часто применяются в практике лабораторных измерений, так как они комплектуются серийные рН-метры очень устойчивы в работе. Потенциал их легко воспроизводится и известен с большой точностью [5]. Температурный коэффициент изменяется от 0,65 мВ/град для насыщенного электрода, до -0,06 мВ/град у 0,1-нормального электрода. В последнее время используются при полевых работах электрохимическими методами [9]. Степень поляризации для стандартных электродов +38 и -33 мВ/мкА соответственно для анодной и катодной поляризации.

Хлорсеребряные электроды постепенно вытесняют в лабораторной практике каломельные электроды в связи со своей большой неприхотливостью. Температурный коэффициент составляет -0,50 мВ/град для 1-нормального электрода по нашим измерениям, -0,45 мВ/град — по данным авторов работы [8] и -0,65 мВ/град — по данным авторов работы [5]. Степень поляризации стандартных хлорсеребряных электродов равна -11 и +12 мВ/мкА.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при изучении слабых естественных электрических полей, особенно связанных с температурными и электрокинетическими явлениями, лучше использовать хлорвинцовые электроды, несмотря на их относительную "нежность".

При лабораторных измерениях необходимо учитывать возможность поляризации электродов токами небольшой величины (~1 мкА).

У к а з а т е л ь л и т е р а т у р ы

1. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., 1960. 445 с.
2. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М., 1975. 568 с.
3. Бумаков Н.С., Кардан В.Т., Осляки И.М. Результаты опытных геофизических работ на месторождениях марганца в Прибайкалье. — В кн.: Труды Иркут. политехн. ин-та. Сер. геология, 1968, вып. 42, с. 240-244.

4. Феттер К., Егер Н. Механизм возникновения потенциала электрода из двуокиси марганца. - В кн.: Основные вопросы современной теоретической электрохимии. М., 1965, с.253-262.
5. Справочник химика. Т.3. М., 1965. 1004 с.
6. Дяхнов В.Н. Промысловая геофизика. М., 1947. 422 с.
7. Petian G., Dupis A. Noise temperature coefficient and long time stability of electrodes for telluric observations.-J. Geophys. Prospect., 1980, vol.28, N 5, p.792-804.
8. Рыс Ю.С. Поиски и разведка рудных тел контактным способом поляризационных кривых. Л., 1973. 166 с.

УДК 550.837.6

А.В.Вешев, О.Н.Ладатко, О.М.Морозова

НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ДИПОЛЯ

Вертикальный магнитный диполь используется для создания электромагнитных полей широкого диапазона частот - от десятков герц и до десятков мегагерц. К настоящему времени для него достаточно подробно изучены нормальные и некоторые виды аномальных низкочастотных электромагнитных полей в квазистационарном приближении, когда влияние токов смещения и эффектов запаздывания пренебрежимо мало [1-3]. В последнее время существенно возросли излучаемые мощности источников электромагнитных полей, а также чувствительность и избирательность приемников, что позволило значительно увеличить размеры используемых установок. В связи с этим для успешного применения соответствующих методов в практике геологических исследований необходимо установить границы области, в пределах которой разработанная теория может применяться, а также наметить методику обработки результатов наблюдений, когда разносы сравнимы или превышают длину волны в среде и нельзя считать $k_0 r$ равным нулю. Имеющийся опыт полевых работ показывает, что при интерпретации результатов наблюдений низкочастотных полей целесообразно использовать эффективное сопротивление $\rho_{\text{эф}}$, аналогичное ρ_k , используемому в методах электроразведки постоянным током [1]. В районах развития многолетней мерзлоты удельное сопротивление пород дости-