

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837

А. К. Матевосян

**Особенности проявления интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации в присутствии индукционных процессов**

(Представлено чл.-кор. НАН РА С.М.Оганесяном 15/VI 2010)

**Ключевые слова:** *электроразведка, вызванная поляризация, амплитудно-временные характеристики, индукционные процессы, техногенное электромагнитное поле*

В [1,2] предложены обобщенные характеристики поляризационных (электрохимических) процессов вызванной поляризации (ВП) – интегральные амплитудно-временные параметры (ИАВП), основанные на данных регистрации электрического поля при пропускании тока и после его выключения (как для простых (правильных) форм возбуждающего электрического импульса тока, так и при произвольном электрическом воздействии на исследуемую геоэлектрическую среду) – за весь временной диапазон исследуемых процессов. Показано, что эти параметры характеризуют отдачу поляризационных процессов по количеству электричества (заряду), энергии и напряжению. Напомним, что под *отдачей вызванной поляризации по заряду (количеству электричества)*  $\Omega_Q$  в указанных статьях принимается отношение кажущегося заряда (количества электричества), полученного на спаде, к кажущемуся заряду (количеству электричества), затраченному при пропускании тока. Аналогичным образом сформулированы понятия *отдачи вызванной поляризации по энергии*  $\Omega_W$  и *напряжению*  $\Omega_U$ .

В данной статье проанализировано влияние индукционных (электродинамических) процессов на проявление ИАВП ВП.

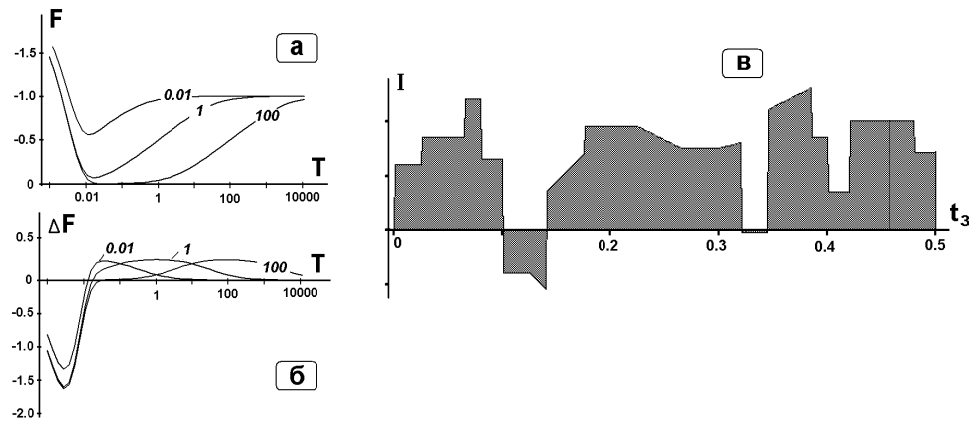
Сперва рассмотрим особенности проявления интегральных амплитудно-временных параметров  $Q_3$ ,  $W_3$ ,  $U_3$ ,  $Q_c$ ,  $W_c$ ,  $U_c$  и  $\Omega_Q = Q_c/Q_3$ ,  $\Omega_W = W_c/W_3$ ,  $\Omega_U = U_c/U_3$ , характеризующих отдачу процессов ВП по заряду, энергии, напряжению, соответственно, при возбуждении в исследуемой среде электрического поля импульсом постоянного тока  $I(T)=I_0$  длительностью  $t_3$  и регистрации изменения величины данной составляю-

щей (ориентированной по направлению установленной приемной линией) напряженности полного электрического поля в пункте наблюдений:

$$Q_3 = \eta_k E_0 \int_0^{t_3} [1 - F(T)] dT, \quad W_3 = \eta_k E_0^2 \int_0^{t_3} [1 - F(T)][1 + \eta_k F(T)] dT, \quad U_3 = E_0 \int_0^{t_3} [1 + \eta_k F(T)] dT,$$

$$Q_c = \eta_k E_0 \int_0^{\infty} F^*(T) dT, \quad W_c = \eta_k^2 E_0^2 \int_0^{\infty} [F^*(T)]^2 dT, \quad U_c = \eta_k E_0 \int_0^{\infty} F^*(T) dT,$$

здесь  $\eta_k$  – асимптотическое (при  $t_3 \rightarrow \infty$ ) значение кажущейся поляризуемости, определяемое как отношение поля ВП к первичному (при  $t_3 \rightarrow 0$ ) полю;  $E_0 = \rho_k I_0 / kr$  – величина напряженности первичного электрического поля по направлению приемной линии;  $\rho_k$  – кажущееся удельное сопротивление;  $k$  – коэффициент установки;  $r$  – разнос приемной линии;  $F(T)$  – переходная характеристика (ПХ) ВП при прямоугольном импульсе постоянного тока;  $F^*(T) = F(T + t_3) - F(T)$  – характеристика спада ВП при длительности зарядки  $t_3$ .



**Рис.1.** Исходные переходные характеристики вторичного поля (а) и их первые производные по десятичному логарифму времени (б). Шифр кривых –  $T_0$  (в секундах); (в) график рассматриваемого произвольного возбуждения электрического поля длительностью 0.5с.

На рис.1, а, б в полулогарифмическом масштабе приведены временные характеристики вторичного электрического поля при логарифмической зависимости переходной характеристики ВП (первое слагаемое) и экспоненциальной зависимости индукционных процессов (второе слагаемое, при  $t_0 = 0.003$ с) [3, 4], задаваемые выражением

$$F(T) = \frac{1}{2 \ln B} \ln \frac{(T_0 + BT)B}{BT_0 + T} + m e^{-\frac{T}{t_0}},$$

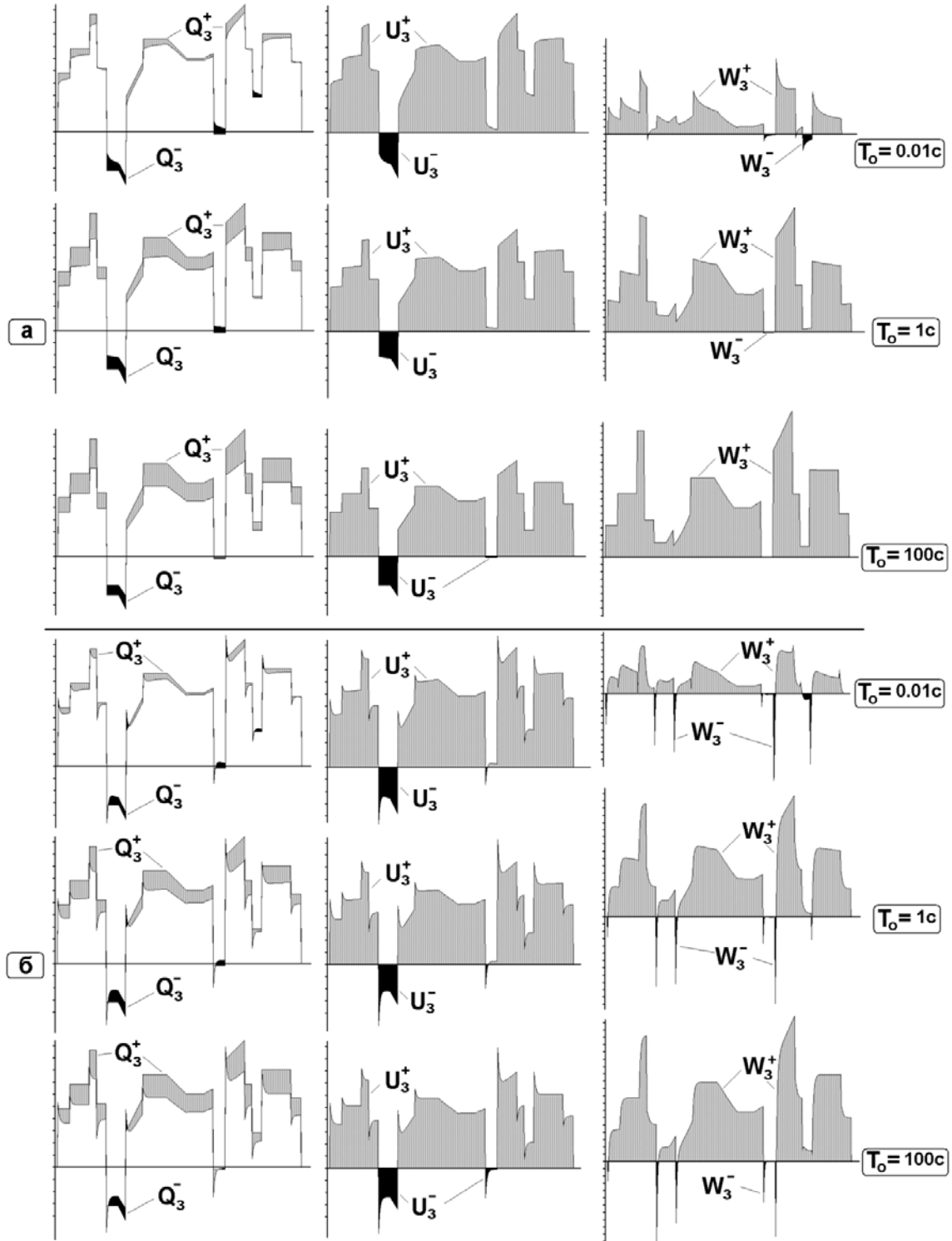
где  $T_0$  и  $t_0$  – абсциссы максимумов производных переходных характеристик (постоянные времени) поляризационного и индукционного полей, соответственно, при коэффициентах  $B = \sqrt{1000}$  и  $m = 2$ . Целесообразность такой аппроксимации переходной характеристики вторичного поля связана как с возможностью сопоставления полученных данных с результатами ранее нами выполненными расчетов [1,2], так и простотой вычислений. Отметим, что для решения поставленной задачи выбор какой-либо определенной аппроксимации переходной характеристики не существует.

Сначала был проведен анализ особенностей проявления ИАВП ВП при возбуждении электрического поля импульсом прямоугольной формы в отсутствие и присутствии индукционных процессов. Как и следовало ожидать, наибольшие расхождения в приведенных графиках наблюдаются на ранних временах переходного процесса при включении и выключении электрического воздействия, которые непосредственно характеризуют интегральные электродинамические особенности (связанные с распределением удельного электрического сопротивления) исследуемой геоэлектрической среды. Наиболее чувствительны к изменению индукционного поля ИАВП  $W_3$  и  $W_c$ , условно характеризующие энергетические потери в виде вторичного электрохимического поля, что на приведенных временных графиках отражается резкими «всплесками» значений этих параметров.

Численные расчеты ИАВП ВП ( $Q_3, Q_c, U_3, U_c, W_3, W_c, \Omega_Q, \Omega_U, \Omega_W$ ) при произвольной форме возбуждаемого поля (рис.1,в), а также интегральных параметров кажущегося сопротивления  $U_3/J_3$  (где  $J_3 = \frac{1}{kr} \int_0^{t_3} [I(T)]dT$  – интегральный параметр величины плотности тока за рассматриваемое время  $t_3 = 0.5c$  внешнего воздействия в исследуемом пункте наблюдений) и интегральной кажущейся поляризуемости  $Q_c/U_3 \equiv \Omega_U$  выполнены по формулам, представленным в [2]. Характер изменения исследуемых параметров за время пропускания тока в отсутствие и присутствии индукционных процессов при следующих значениях параметров:  $\eta_k = 1/3, B = \sqrt{1000}, t_o = 0.003c, T_o = 1c$  отражен на рис.2.

На рис.3 в полулогарифмическом масштабе приведены зависимости ИАВП ВП от временных параметров  $T_o$  и  $t_o$  при рассматриваемом произвольном возбуждении электрического поля длительностью 0.5с.

Анализ и сопоставление представленных на рис.4 годографов (диаграмм) напряженности полного электрического поля ( $E_o(T) + E_{вп}(T) + E_{инд}(T)$ ) от величины силы тока  $I(T)$  в процессе пропускания конкретного импульса произвольной формы при отсутствии и в присутствии индукционных процессов позволяют установить, что с увеличением значений  $T_o$  наблюдается уменьшение разброса (дисперсии) сравниваемых параметров относительно наклонной прямой, характеризующей первичное электрическое поле. Это объясняется ослаблением проявления вторичных поляризационных процессов. С практической точки зрения при таком кратковременном возбуждении электрического поля фактически не наблюдаются поляризационные процессы над массивными рудными объектами, характеризующимися высокими значениями  $T_o$ . В присутствии индукционных процессов, судя по приведенным годографам, независимо от значений



**Рис.2.** Динамика проявления ИАВП ВП  $Q_3$ ,  $U_3$ ,  $W_3$ , в процессе возбуждения электрического поля импульсом произвольной формы при отсутствии (а) и в присутствии (б) ндукционных процессов.

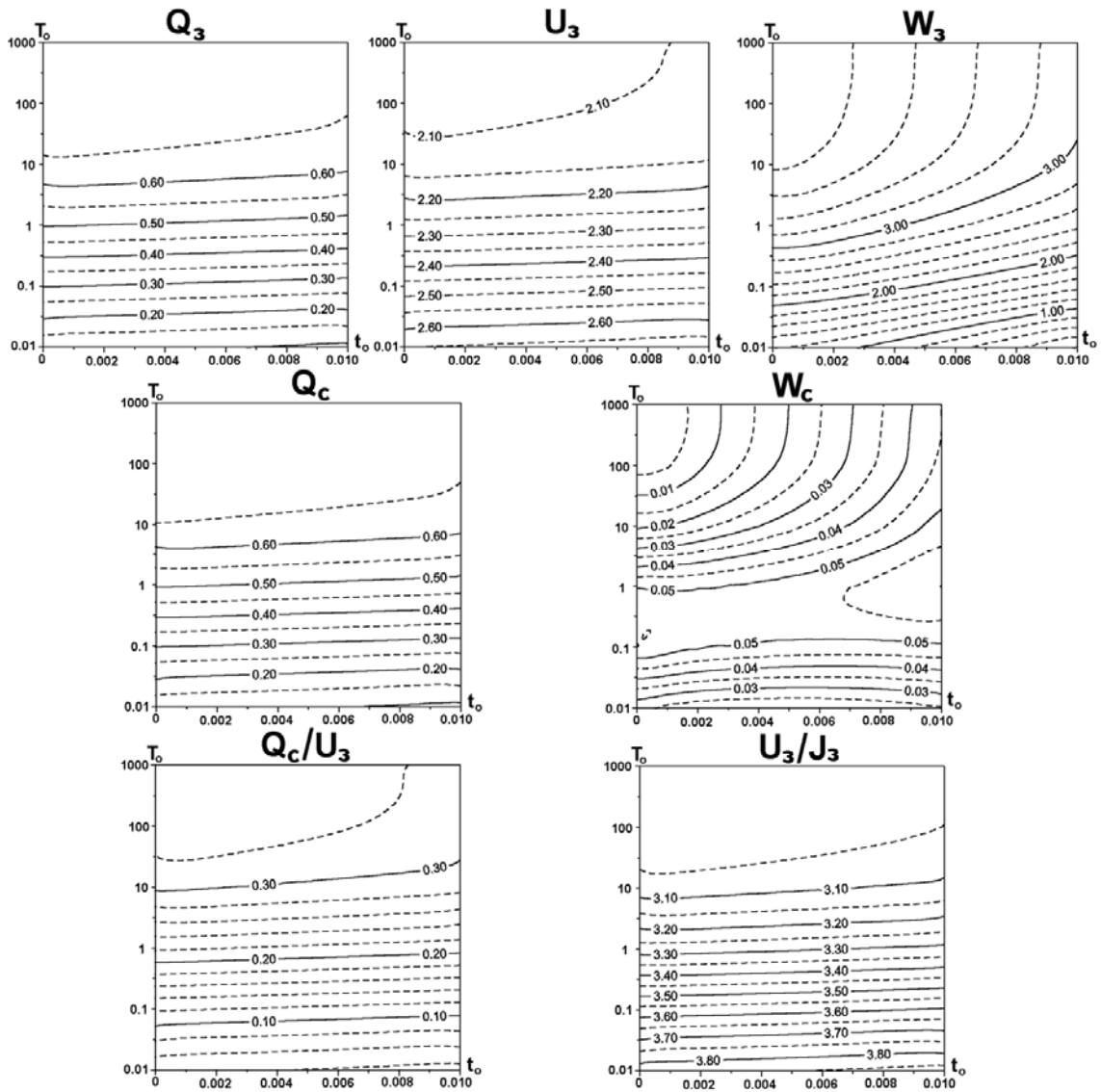
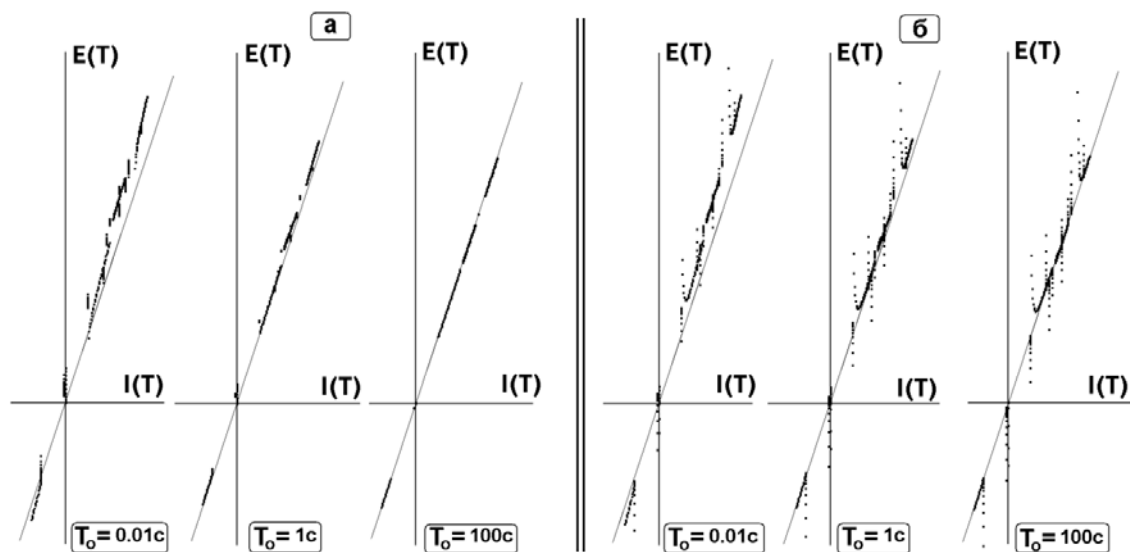


Рис.3. Зависимости ИАВП ВП от временных параметров  $T_0$  и  $t_0$  (в секундах) при рассматриваемом произвольном возбуждении электрического поля.

$T_0$  наблюдаются всплески значений наблюдаемого полного электрического поля как в одном, так и другом направлениях, связанные с соответствующим резким изменением интенсивности возбуждаемого поля. Плавное изменение внешнего поля не приводит к появлению скачкообразных значений полного поля и в определенной степени может затруднить разделение индукционных процессов от поляризационных. В связи с этим при решении практических задач, связанных с изучением низкоомных хорошо поляризующихся рудных объектов, представляется эффективным построение годографов напряженностей полного (поляризационного, первичного и индукционного) электрического поля от величины суммарного (первичного и индукционного). Определение индукционной составляющей и учет величины ее искажающего воздействия на ИАВП ВП в указанных полях может быть вычислено по результатам регистрации поля на ранних временах переходного процесса при пропускании кратковременного импульса электрического тока прямоугольной формы или на спаде.



**Рис.4.** Временные диаграммы напряженности суммарного электрического поля от силы тока при пропускании рассматриваемого импульса произвольной формы при отсутствии (а) и в присутствии (б) индукционных процессов.

Анализируя результаты теоретических исследований и численных расчетов при произвольном возбуждении электрического поля ( $t_3 = 0.5c$ ) можно сделать следующие основные выводы, справедливые и в общем случае:

- интегральные параметры  $Q_3$ ,  $Q_c \equiv U_c$  находятся в существенной зависимости от  $T_0$  (в рассматриваемом случае изменяются от 0.1 до 0.7 в усл. ед.), в то же время с изменением  $t_0$  на всем исследуемом временном интервале (от 0 до 0.01c) практически их изменения не наблюдаются;
- величина отдачи ВП по заряду  $\Omega_Q$  в исследуемых временных областях  $T_0$  и  $t_0$  не превышает 1.016 (отклоняется от теоретического значения, равного 1, не более чем на 1.6%), что находится в пределах точности проведенных численных

расчетов (иными словами индукционные процессы практически не оказывают влияния на отдачу ВП по заряду);

- величина отдачи ВП по напряжению  $\Omega_U$  (при определенном приближении в интегральной форме характеризующая поляризуемость геоэлектрической среды) в рассматриваемых временных диапазонах мало изменяется с изменением  $t_0$ , а с увеличением  $T_0$  увеличивается более чем на порядок (от 0.03 до 0.33).

Теперь представим алгоритм определения параметров  $\rho_K$ ,  $\eta_K$ ,  $F(T)$  при возбуждении электрического поля импульсом тока неправильной формы:

- по зависимости  $E(T)$  от  $I(T)$  с использованием диаграмм рассеяния (рис.4) определить величину  $\rho_K$ ;
- вычислить напряженность первичного поля  $E_0(T) = \rho_K I(T)/k\gamma$ ;
- определить напряженность суммарного вторичного (поляризованного и индукционного) поля по формуле:  $E_{вп}(T)+E_{инд}(T)=E(T)-E_0(T)$ ;
- путем подбора амплитудно-временных параметров индукционного поля (в рассматриваемом случае  $m$  и  $t_0$ ) определить напряженность поля ВП при пропускании тока по выражению:  $E_{вп}(T)=E(T)-[E_0(T)+E_{инд}(T)]$ ;
- допуская линейность процессов ВП, определить  $\eta_K$  из уравнения

$$\int_0^{t_3} [E(T)]dT + \int_0^{t_c} [E^*(T)]dT = \frac{\rho_K}{k\gamma} (1 + \eta_K) \int_0^{t_3} [I(T)]dT$$

- по динамике изменения (форме кривой) напряженности суммарного вторичного поля на спаде  $E(T)$  определить (подобрать способом итераций) переходную характеристику  $F(T)$  (в частности, для логарифмической зависимости варьируя параметрами  $B$  и  $T_0$  при ранее определенных  $m$  и  $t_0$ ).

Нетрудно заметить, что для реализации приведенного способа требуются результаты непрерывных (за дискретные промежутки времени, позволяющие с учетом точности исследований интерполированием получить требуемые промежуточные значения) измерений полной напряженности электрического поля как при пропускании, так и на спаде (с продолжительностью от 10 до 1  $t_3$  в зависимости от величины  $t_3/T_0$ ).

Таким образом, можно утверждать, что определение интегральных амплитудно-временных параметров наряду с дифференциальными параметрами кажущейся поляризуемости позволит не только повысить информативность метода ВП, но и успешно проводить электроразведочные исследования как с использованием нестабилизированного источника тока, так и при повышенном уровне искажающих факторов (в частности, техногенного электромагнитного поля).

Институт геологических наук НАН РА

**А. К. Матевосян**

**Особенности проявления интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации в присутствии индукционных процессов**

На примерах электрических импульсов различной (прямоугольной и произвольной) формы оценено воздействие индукционных (электродинамических) процессов на проявление предложенных ранее интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации (ВП). В результате проведенных теоретических исследований и численных расчетов установлено, что влияние электродинамических процессов на результаты исследований методом ВП уменьшается как с увеличением времени зарядки, так и с монотонным изменением интенсивности возбуждаемого электрического поля.

**Ա. Կ. Մաթևոսյան**

**Հարուցված բևեռացման ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշների արտահայտման առանձնահատկությունները ինդուկցիոն պրոցեսների առկայության դեպքում**

Տարբեր էլեկտրական իմպուլսների ձևերի օրինակների վրա գնահատված է էլեկտրադինամիկական պրոցեսների ազդեցությունը հարուցված բևեռացման ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշների արտահայտման վրա: Հիմնվելով կատարված տեսական ուսումնասիրությունների և թվային հաշվարկների արդյունքների վրա՝ վերլուծվում են ինդուկցիայի արտահայտման առանձնահատկությունները՝ կախված ընտրված չափման ժամանակային ռեժիմից:

**A. K. Matevosyan**

**Particularities of Manifestation of Integral Amplitude-Time Parameters of Induced Polarization in Presence of Induction**

On examples of the different forms of the electric pulse the influence of the induction processes on manifestation integral amplitude-time parameters of induced polarization (IP) is evaluated. As a result called on basic researches and the numerical calculations it is established that influence of the electrodynamic processes on the results of the studies by the IP method decreases both with the increase of time of the charging and with the monotonous change of the intensity of the first electric field.

**Литература**

1. *Матевосян А.К.* - ДНАН Армении. 2001. Т. 101. №1. С. 76-83.
2. *Матевосян А.К.* - ДНАН Армении. 2001. Т. 101. №2. С. 150-157.
3. *Комаров В.А.* Электроразведка методом вызванной поляризации. Л. Недра. 1980. 391с.
4. *Шаповалов О.М., Черныш В.Ю., Кузьмичев В.В.* - Методы разведочной геофизики. Л. НПО "Геофизика". 1976. Вып. 26, С.101-109.