

## Введение

В 1967-69 гг. Сидоровым В.А. и Тикшаевым В.В. введен в практику метод зондирования становления поля в ближней зоне (ЗСБ) [1]. Уже первые исследования показали, что запись становления электромагнитного поля осложняется осцилляциями, которых по используемым в то время моделям среды и теории не должно было быть. Применение временного и пространственного накопления с компьютерными способами регистрации и обработки резко повысило точность получения переходных характеристик [2,3]. В этой связи значительно повысился интерес к неклассическому поведению этих характеристик, осложненных заметными осцилляциями с нарушением монотонности и, иногда, со сменой знака.

Особенно большой объем материалов получен в морской электроразведке, где измерения проводятся непрерывно на ходу судна и достигается высокая степень накопления и корреляция осцилляций.

Попытки объяснения аномальных процессов развивались в двух направлениях: осцилляции за счет влияния токов смещения, в частности, эффекта Максвелла-Вагнера, и за счет частотной зависимости комплексной проводимости из-за влияния вызванной поляризации (ВП). Можно предложить еще три эффекта, приводящих к осцилляциям переходных характеристик: изменение закона зависимости ВП от времени, индукционная вызванная поляризация (ИВП), вторичный сейсмoeлектрический эффект (ВСЭЭФ). Рассмотрим эти эффекты в перечисленном порядке.

### 1. Влияние токов смещения

Одно из объяснений осцилляций связывается с влиянием диэлектрической проницаемости, соизмеримым или превышающим влияние электропроводности. Особое внимание при этом уделяется средам с чередующимися тонкими высокоомными слоями [4], создающими эффект Максвелла-Вагнера.

Наиболее полным исследованием по изучению собственно диэлектрической проницаемости является работа R. Alvarez [5]. Она посвящена методике измерения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  в образцах, имеющих конечную проводимость  $\sigma$ . Образцы помещаются между металлическими токовыми пластинами и измеряется емкость на переменном токе по отношению к емкости на постоянном токе. При этом доля вклада токов смещения в общий ток на низкой частоте мала и определяется с большими погрешностями. R. Alvarez предлагает помещать между токовой пластиной и образцом материал, представляющий собой почти совершенный диэлектрик, т.е. с пренебрежимо малой электропроводностью. Это существенно уменьшает долю токов проводимости и снижает погрешность измерения.

Возникающий в эксперименте эффект Максвелла-Вагнера (накопление свободных зарядов на границе разрыва) учитывается рассмотрением уравнений Максвелла. Однако оценка влияния токов смещения на результаты становления поля должна проводиться общепринятым способом на основании тех же уравнений Максвелла [6]. Например, время релаксации свободного объемного заряда, возникающего за счет токов смещения в первый момент установления поля, даже для такого диэлектрика, как нефть ( $\epsilon=30\epsilon_0$ ,  $\sigma=10^{-8}$  Ом·м),

составляет 0,01 с. Таким образом, через 0,01 с заряд практически исчезает.

В работе [4] рассматривается влияние эффекта Максвелла-Вагнера для тонких высокоомных слоев с удельным сопротивлением  $\rho=10^8$  Ом·м и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=30\epsilon_0$ , часто чередующихся со слоями с гораздо меньшим удельным сопротивлением. Проводится осреднение комплексной электропроводности, учитывающей диэлектрическую проницаемость,  $\tilde{\sigma}=\sigma-i\omega\epsilon$ . Влияние токов смещения для среды с трещиноватостью 0,01% отмечается при  $t < 3$  с. Однако, в этом случае, как можно оценить отмеченным выше способом, токи смещения в самом тонком высокоомном слое превышают 15% от токов проводимости. Поэтому и не удивительно их влияние при осреднении.

Кроме того, эффект Максвелла-Вагнера и соответствующее ему существенное увеличение мнимой части электропроводности возникает только при протекании тока ортогонально слоям. Нетрудно показать, что протекание тока в поперечном направлении для принятых параметров слоев практически невозможно [7].

### Выводы:

- реализация эффекта Максвелла-Вагнера, приводящего к резкому увеличению влияния диэлектрической проницаемости, в практических геофизических условиях маловероятно;
- в любом случае токи смещения при осреднении начинают играть роль тогда, когда это явление уже имеет место в отдельном слое.

### 2. Влияние вызванной поляризации

Реальным фактором, искажающим переходные характеристики, по-видимому, является вызванная поляризация. Дополнительная величина напряженности электрического поля за счет ВП на поверхности наблюдения направлена в ту же сторону, что и первичное электрическое поле [8-10]. Электрическое поле становления при выключении тока направлено между электродами АВ в противоположную сторону, а на линии, соединяющей эти электроды, но вне их - в ту же сторону, что и постоянное электрическое поле и поле ВП [1]. Поэтому при выключении тока поле становления вне электродов имеет тот же знак, что и поле ВП, а между электродами - противоположный.

#### 2.1. Изменение закона зависимости ВП от времени.

Можно предложить еще одну возможность объяснения аномальных эффектов переходных характеристик, не выходящую за пределы обычных представлений геоэлектрики. Такая возможность высказана, например, в работе [11]. Это - влияние токов ВП, направленных против токов становления (например, между АВ), что может привести к смене знака регистрируемой характеристики, или, по крайней мере, к появлению минимума.

Известно, что характер спада ВП со временем изменяется: начальная стадия до момента  $t_0$  происходит по экспоненте  $\eta \exp(-\alpha t)$  с большим коэффициентом  $\alpha$ , чем в оконечной стадии [10]. Здесь  $\eta$  - поляризуемость среды. Учет этого факта может привести к появлению осцилляций на переходной характеристике [12].

Действительно, если ограничиться однородным полупространством, то для установки АМНВ в



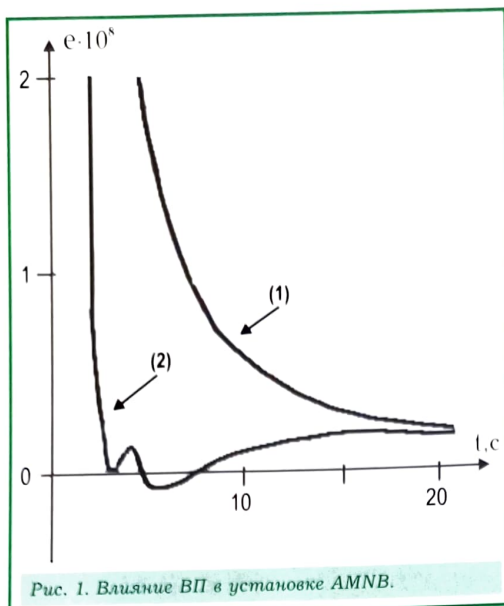


Рис. 1. Влияние ВП в установке AMNB.

режиме выключения питающего тока имеем простые формулы для электрического поля становления  $E_c$  и электрического поля  $E_{вп}$  [13], которые можно выразить через безразмерные величины  $e_c$  и  $e_{вп}$ :

$$E_c = \frac{I\rho}{\pi L^2} e_c,$$

$$E_{вп} = \frac{I\rho}{\pi L^2} e_{вп}.$$

Здесь:  $I$  - сила тока,  $\rho$  - удельное электрическое сопротивление,  $L = AB/2$  - разнос.

На рис.1 приведены графики  $e_c$  (кривая 1) и  $e_c + e_{вп}$  (кривая 2) для установки, применяемой в морской электроразведке с  $L = 750$  м при  $\rho = 3$  Ом·м,  $t_0 = 3,6$  с,  $\eta = 1,5\%$ ,  $\alpha_1 = 0,53$  с<sup>-1</sup>,  $\alpha_2 = 0,27$  с<sup>-1</sup>. На рисунке отчетливо видны осцилляции на суммарной переходной характеристике, включающие два максимума и два минимума, а также смену знака с плюса на минус и обратно. Очевидно, если учесть изменение коэффициента несколько раз, можно получить большее число осцилляций, не прибегая к учету мнимой части электропроводности за счет ВП или токов смещения.

Однако в случае дипольной установки представленный эффект отсутствует, т.к. сигналы ВП и становления поля складываются.

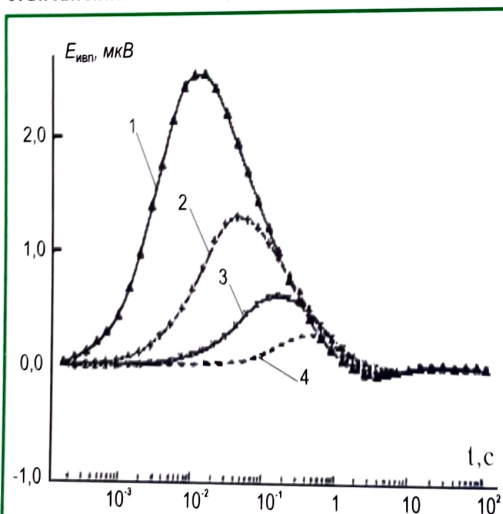


Рис. 2. Кривые э.д.с. для дипольной установки и однородного полупространства.  
1- $r=325$  м, 2- $r=650$  м, 3- $r=1300$  м, 4- $r=2600$  м.

### 2.2. Индукционная вызванная поляризация.

Для удельного электрического сопротивления в связи с влиянием ВП можно записать выражение [10]

$$\rho(t) = \rho[1 + \eta\phi(t)],$$

где  $\phi(0)=1$ ,  $\phi(\infty)=0$  (режим выключения).

При преобразовании этого соотношения в частотную область возникает комплексный характер сопротивления, которым во многих работах объясняются искажения временных характеристик [14-16]. В теоретическом анализе рассматривались осцилляции суммарной переходной характеристики. Так как ВП пропорционально поляризуемости, этот эффект становится заметным при  $\eta > 10\%$ . Такие большие значения поляризуемости могут быть свойственны только рудным месторождениям, тогда как в осадочных породах значение не превышает 2-3% [9].

Интересно поэтому провести анализ становления поля над поляризуемой средой, попытавшись разделить суммарный переходный процесс на составляющие: становление, ВП и т.н. индукционную вызванную поляризацию (ИВП).

В результате процесса установления электрического поля в проводящей среде после включения или выключения источника изменяется не резко, а плавно [13]. Чем больше глубина залегания слоя, тем позже наступают изменения. Возникает дополнительный источник вызванной поляризации, что приводит к ее изменению: она вначале растет по абсолютной величине, а затем по мере затухания дополнительного источника убывает. Так возникает индукционная вызванная поляризация. Причем, чем больше глубина залегания поляризуемого слоя, тем на более поздних временах будет проявляться этот слой в поле ИВП.

Так как коэффициент поляризации обычно много меньше единицы ( $\eta \ll 1$ ), переходную характеристику удастся представить в виде суммы трех процессов: становления, ВП и ИВП [17]:

$$g(t) = g_c(t) + g_{вп}(t) + g_{ивп}(t).$$

Числовые оценки явления ИВП рассмотрим на примере дипольной установки над однородным полупространством и над тонким слоем в случае простейшей зависимости ВП от времени  $\phi(t) = e^{-\alpha t}$ .

На рис. 2 представлены кривые сигнала  $E_{ивп}$  для дипольной установки с произведением моментов питающего и приемного диполей  $I \cdot AB \cdot MN = 8 \cdot 10^4$  Ам<sup>2</sup>. Установка расположена на поверхности однородного полупространства с параметрами:  $\rho = 3$  Ом·м,  $\eta = 0,01$ ,  $\alpha = 0,5$  с<sup>-1</sup> для значений разнosa  $r = 325, 650, 1300$  и  $2600$  м. Из рассмотрения кривых видно, что величина  $E_{ивп}$  с ростом времени  $t$  растет, достигает максимума и, убывая, достигает отрицательного минимума, а затем стремится к нулю. При разнosaх  $r \leq 650$  м величина э.д.с. ИВП в максимуме превышает 1 мкВ, т.е. эффект ИВП вполне доступен измерениям с современной аппаратурой.

Пусть теперь электрический диполь с моментом  $Il$  располагается на высоте  $h$  над параллельной ему горизонтальной плоскостью с продольной проводимостью  $S$ . Величину  $E_{ивп}$  на оси диполя можно представить через безразмерную величину  $e_{ивп}$  в виде [17]:

$$E_{ивп} = \frac{Il}{16\rho Sh^2} \eta e_{ивп}.$$

На рис. 3 представлены графики зависимости  $e_{ивп}$  от  $\tau = t/2\mu_0 Sh$  ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м) для фиксированных значений  $\beta = 2\alpha\mu_0 Sh$  и относительного разнosa  $r/h$ . Как и в случае однородного полупространства, величина  $e_{ивп}(\tau)$  растет с ростом  $\tau$ , достигает максимума, затем, убывая, достигает отрицательного минимума и стремится к нулю. Величина максимума тем больше, чем больше параметр  $\beta$  и уменьшается с увеличением разнosa  $r/h$ .



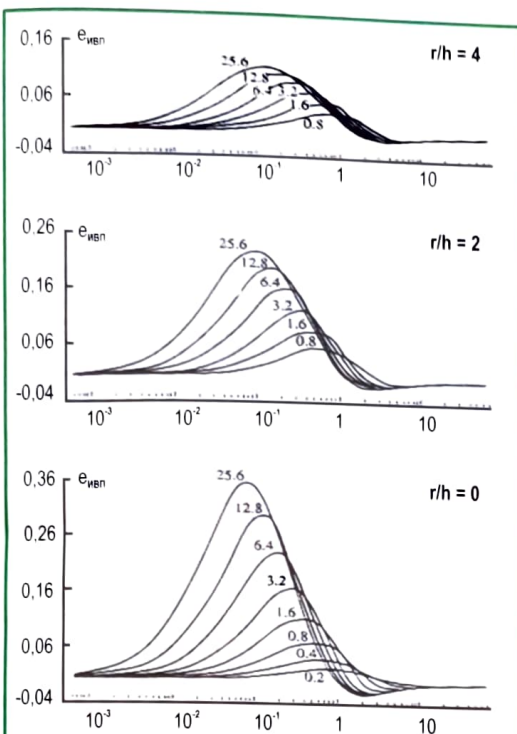


Рис. 3. Кривые  $e_{ивп}$  для  $S$ -плоскости.  
Шифр кривых:  $\beta = 2\alpha_0 Sh$ .

### Выводы:

- явление ИВП может быть реальным фактором возникновения осцилляций до  $n$  мкВ на переходных характеристиках, поэтому метод ЗСБ-ИВП вполне пригоден для поисков залежей углеводородов, отличающихся, как правило, повышенной поляризуемостью  $\eta$ , которой пропорционален эффект ИВП [18];

- нормированные характеристики ИВП зависят от параметра  $\tau = t/2\mu_0 Sh$ , т.е. осцилляции ИВП "расплываются" во времени по мере увеличения глубины  $h$  (рис.3); таким образом, видимый период осцилляций ИВП увеличивается с глубиной, однако, видимый период большинства осцилляций, наблюдаемых на практике, мало зависит от глубины.

### 3. Сейсмoeлектрический эффект

Различают два вида сейсмoeлектрического эффекта, возникающего во влажных горных породах: прямой и обратный [19]. Прямой сейсмoeлектрический эффект по своей физической природе является аналогом потенциала протекания, обратный - аналогом электроосмоса [20]. Оба эффекта связаны с наличием двойного электрического слоя на границе твердой и жидкой фаз. Они обусловлены перемещением зарядов в жидкой фазе под воздействием упругих колебаний, что приводит к появлению электрического поля (прямой сейсмoeлектрический эффект), или перемещением зарядов под воздействием электрического поля, что вызывает упругие колебания (обратный сейсмoeлектрический эффект).

#### 3.1. Прямой сейсмoeлектрический эффект.

Зарегистрированный в практике опытных исследований сейсмoeлектрический эффект по амплитуде достигает величин от 1 до  $n$  мВ. Предложено применение этого эффекта для непосредственного выделения горных пород и руд с различными электрокинетическими свойствами, а также для разработки вспомогательного для сейсморазведки электрического метода регистрации упругих колебаний [21].

Поэтому представляет несомненный интерес провести теоретическую оценку этого эффекта с целью применения его в указанных направлениях, а также для выяснения его влияния на переходные

характеристики становления электромагнитного поля в результате упругого удара при резком включении или выключении электромагнитного источника [22].

Пусть сверху вниз распространяется продольная сейсмическая волна. При этом продольные колебания частиц породы происходят по гармоническому закону  $\bar{u}_0 = \bar{u} \sin \omega t$ .

Слонность среды будем предполагать горизонтальной. Рассмотрим уединенный горизонтальный капилляр толщиной  $r$  (рис.4). Под действием вертикальной составляющей смещения  $\bar{u}_0$  капилляр сжимается и разжимается, в результате чего возникает движение жидкости, скорость которого можно оценить. Это приводит к относительному избытку или недостатку первичных зарядов на твердых непроводящих стенках. Усредненная по породе амплитуда плотности зарядов оценивается по формуле [23]:

$$\delta = \frac{4\kappa\sigma\bar{u}}{r^2}, \quad (1)$$

где  $\kappa$  - коэффициент пористости породы,  $\sigma$  - поверхностная плотность зарядов в капилляре.

В соответствии с [24]:

$$r = \frac{4}{7 \cdot 10^3} \sqrt{\frac{k_d}{\kappa}},$$

где  $k_d$  - коэффициент проницаемости породы, выраженный в Дарси.

Подставляя это выражение в (1), получаем и такую формулу для плотности зарядов при сейсмoeлектрическом эффекте:

$$\delta = \frac{49}{4} \frac{\kappa^2}{k_d} \sigma \bar{u} \cdot 10^6. \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что сейсмoeлектрический эффект прямо пропорционален квадрату пористости  $\kappa^2$ , поверхностной плотности зарядов  $\sigma$  в двойном слое и амплитуде смещения упругих колебаний  $\bar{u}$  и обратно пропорционален проницаемости  $k_d$ .

В нашей работе [23] проведена оценка электрического потенциала, создаваемого горизонтальным электрически активным слоем мощностью  $H_0$ , расположенным на глубине  $H$  в однородном полупространстве. Сейсмический источник располагается на поверхности среды. Для численных расчетов выбраны следующие значения параметров:  $H_0 = 0,1$  м,  $H = 2$  км,  $\sigma = 0,01$  Кл/м<sup>2</sup> [20],  $u_0 = 10^{-4}$  мкм в пересчете на 100 г заряда и расстояние 1 км [25]. В результате получены следующие значения потенциала  $U$  в точке расположения источника для двух практических случаев [24]:

- высокопродуктивные коллекторы ( $k_d = 1$  Дарси,  $\kappa = 0,2$ ),  $U = 0,6$  мВ;

- практически непродуктивные породы ( $k_d = 10^{-2}$  Дарси,  $\kappa = 0,1$ ),  $U = 15$  мВ.

Как видим, эти оценки по порядку величин хорошо согласуются с натурными результатами [21].

Пусть теперь возбуждение упругой волны производится за счет резкого включения или выключения тока в питающей электрической установке. Возбуждающее электрическое поле вблизи электрода на расстоянии  $R$  оценивается по известной формуле:

$$E = \frac{I\rho}{2\pi R^2},$$

где  $I$  - сила тока,  $\rho$  - удельное электрическое сопротивление.

Для условий моря можно положить:  $\rho = 0,3$  Ом·м,  $I = 200$  А. Тогда  $E = 10$  В/м на расстоянии 1 м. Это возбуждающее поле в силу обратного сейсмoeлектрического эффекта вызывает механическое напряжение [19]:

$$T_{сг\phi} = K_{эм} E, \quad (3)$$

где коэффициент электромагнитной связи  $K_{эм}$  имеет порядок  $10^{-3}$  Н/Вм. С учетом того, что электродов



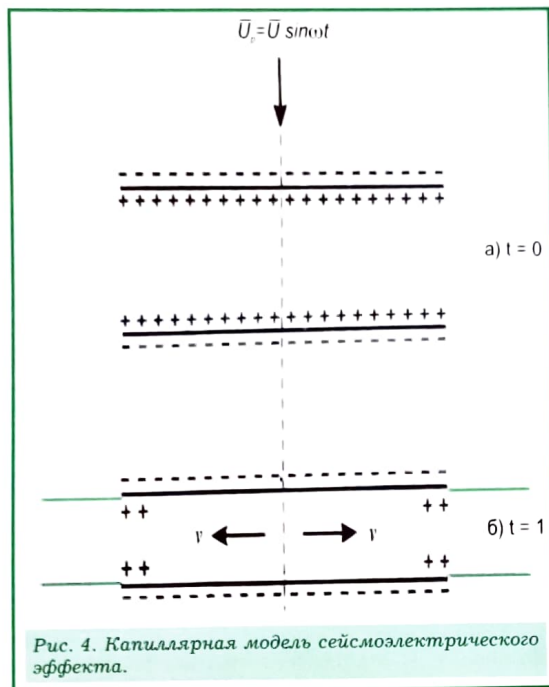


Рис. 4. Капиллярная модель сейсмoeлектрического эффекта.

два, имеем оценку:

$$T_{\text{сф}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}^2.$$

Давление  $T_{\text{с}}$  вблизи морского сейсмического источника, эквивалентного 100 г тротила, имеет порядок  $10^3 \text{ Н/м}^2$  на расстоянии 1 м [26]. Таким образом, электрический удар вызывает сейсмическую волну с интенсивностью, пропорциональной отношению  $T_{\text{сф}}/T_{\text{с}} = 2 \cdot 10^{-7}$ .

Соответственно, будем иметь следующие оценки потенциала для двух рассмотренных выше случаев:

- высокопродуктивные коллекторы,  $U = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ мкВ}$ ;
- практически непродуктивные породы,  $U = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ мкВ}$ .

Такие сигналы практически не могут быть зарегистрированы в процессе становления поля.

#### Выводы:

- теоретические оценки прямого сейсмoeлектрического эффекта находятся в хорошем согласии с результатами натурных измерений, что подтверждает возможность его использования при геофизических исследованиях;

- сейсмoeлектрический эффект прямо пропорционален квадрату пористости, поверхностной плотности зарядов в двойном слое, амплитуде смещения упругих колебаний и обратно пропорционален проницаемости;

- при проведении исследований методом становления электромагнитного поля сейсмoeлектрический эффект за счет возбуждения упругих колебаний электрическим ударом практически не может наблюдаться.

#### 3.2. Вторичный сейсмoeлектрический эффект.

Предыдущий анализ свидетельствует о том, что ни один из рассмотренных эффектов не дает полного теоретического объяснения осцилляциям на кривых становления электромагнитного поля. Как показывает практика, видимый период большинства осцилляций мало зависит от времени наблюдения (глубины), осцилляции хорошо коррелированы по профилю наблюдения и отражают тонкую внутреннюю структуру геологических разрезов; глубина залегания соответствующих им границ удовлетворительно определяется соответствующими формулами становления электрического поля над S-плоскостью [17].

Установлено, что большинство сейсмических

отражений связано с перерывами осадконакопления [27]. Эти перерывы приводят к наличию тончайших прослоев, отделяющих соседние эпохи осадконакопления. Прослой наглядно проявляются в новых модификациях геофизических исследований в скважинах: акустическое телевидение, микроаглонометрия, микрорезистивметрия [28]. Полученные результаты привели к пересмотру эффективных моделей в сейсморазведке [27].

В работе [28] предложен новый элемент геоэлектрической модели - граница формационного объекта, т.е. перерыва осадконакопления. В соответствии с [27] это специфическое геологическое тело характеризуется большой протяженностью (от сотен метров до сотен километров), упорядоченностью микропластований, малой мощностью (от нескольких микро до метра), высокой флюидонасыщенностью порового пространства.

Для нашего исследования особенно важны две последние особенности, показывающие, что радиус пор может достигать 1 мкм, а повышенная влагонасыщенность может увеличить поверхностную плотность зарядов двойного слоя. Коэффициент электрохимической связи в формуле (3) обратно пропорционален квадрату радиуса пор [19]. В соответствии с формулой (1) вторичный электрический эффект прямо пропорционален плотности зарядов двойного электрического слоя и обратно пропорционален квадрату радиуса пор. Все это может привести к резкому увеличению вторичного электрического сигнала, возбуждаемого за счет обратного сейсмoeлектрического эффекта.

Как известно [23], наибольший электрический эффект возникает за счет поперечных сейсмических напряжений. Поперечные напряжения, в свою очередь, наибольшие при возбуждении за счет горизонтальной составляющей электрического поля [19]. Поэтому для приближенных оценок рассмотрим горизонтальную составляющую электрического поля диполя  $II$  в момент его выключения непосредственно под диполем, расположенным на поверхности полупространства с удельным электрическим сопротивлением  $\rho$ :

$$E = \frac{I\rho l}{\pi R^3}.$$

Возбуждающее электрическое поле в соответствии с (3) вызовет поперечное напряжение:

$$T_{\text{сф}} = \frac{I\rho l}{\pi R^3} K_{\text{зм}}.$$

Ему будет соответствовать поперечное смещение с амплитудой [26]:

$$\bar{u} = \frac{T^2}{4\pi^2 \delta_n} \frac{\partial T_{\text{сф}}}{\partial z},$$

где  $T$  - период осцилляций,  $\delta_n$  - плотность породы.

В нашем случае с учетом малости толщины границы  $h$  по сравнению с глубиной залегания  $H$  ( $h, z \ll H$ ) имеем:

$$\bar{u} = \frac{3I\rho l K_{\text{зм}} H T^2}{4\pi^3 \delta_n} \cdot \frac{1}{R^5}.$$

Поперечные колебания пор вызывают появление "вторичных" зарядов с плотностью (1), т.е.

$$\delta = \frac{3I\rho l \kappa K_{\text{зм}} H T^2}{\pi^3 r^2 \delta_n} \cdot \frac{1}{R^5}.$$

Описанное явление можно назвать вторичным сейсмoeлектрическим эффектом (ВСЭЭФ). Потенциал, создаваемый в месте расположения возбуждающего диполя, можно оценить так же, как в предыдущем разделе. В итоге с учетом малости толщины границы  $h$  находим:

$$U = \frac{6I\rho h \kappa K_{\text{зм}} T^2}{2\pi^2 r^2 \delta_n H^3}. \quad (4)$$



Оценим величину потенциала по формуле (4), положив в соответствии с приведенными выше рассуждениями:  $\rho=3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $I=200 \text{ А}$ ,  $l=100 \text{ м}$ ,  $h=0,1 \text{ м}$ ,  $\kappa=0,1$ ,  $\sigma=0,01 \text{ Кл/м}^2$ ,  $K_{\text{эм}}=0,1 \text{ Н/Вм}$ ,  $r=10 \text{ мкм}$ ,  $H=2000 \text{ м}$ ,  $T=0,25 \text{ с}$ ,  $\delta_n=2,5\cdot 10^6 \text{ кг/м}^3$ . В итоге получаем оценку  $U=5 \text{ мкВ}$ , т.е. значение электрического сигнала за счет вторичного сейсмоэлектрического эффекта вполне измеримо при регистрации переходной характеристики в методе ЗСБ.

#### Выводы:

- из всех рассмотренных эффектов наиболее вероятными для объяснения осцилляций на переходных характеристиках следует считать индукционную вызванную поляризацию ИВП и вторичный сейсмоэлектрический эффект ВСЭЭФ;

- экспериментальные материалы показывают, что процесс становления сопровождается, по крайней мере, двумя видами осцилляций: первый, относительно низкочастотный (0,2 - 2 Гц), растекающийся во времени (рис. 5 а, б, в) и второй, более высокочастотный (2 - 20 Гц), с практическим сохранением частоты за полное время регистрации до 10 - 15 с (рис. 5 г);

- с точки зрения проведенных теоретических исследований низкочастотные осцилляции обусловлены эффектом ИВП, а высокочастотные - вторичным сейсмоэлектрическим эффектом ВСЭЭФ.

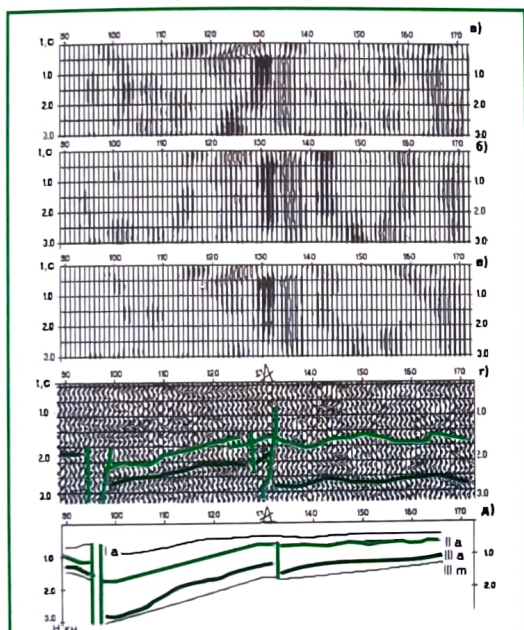


Рис. 5. Пример выделения с помощью относительно низкочастотных осцилляций ИВП прямого эффекта от залежи УВ (структура Одесская, Черное море): а) - дипольная установка, б) - симметричная, в) - сумма а) и б); а с помощью относительно высокочастотных осцилляций ВСЭЭФ - получение временного геоэлектрического разреза г) - в сравнении с сейсмогеологическим д) - глубинный разрез.

#### Заключение

Теоретический анализ влияния токов смещения, в частности эффекта Максвелла-Вагнера, влияния ВП и сейсмоэлектрических эффектов показал, что наиболее вероятными для объяснения осцилляций на переходных характеристиках следует считать индукционную вызванную поляризацию ИВП и вторичный сейсмоэлектрический эффект ВСЭЭФ.

Обширные морские экспериментальные материалы показали, что процесс становления сопровождается, по крайней мере, двумя видами осцилляций: относительно низкочастотный тип (0,2 -

2 Гц), растекающийся во времени, и более высокочастотный тип (2 - 20 Гц) с практическим сохранением частоты за все время регистрации.

С точки зрения проведенных теоретических исследований низкочастотные осцилляции обусловлены эффектом ИВП, а высокочастотные - вторичным сейсмоэлектрическим эффектом ВСЭЭФ. Запатентован метод высокоразрешающей электроразведки, включающий комплекс ЗСБ-МТЗ-ИВП-ВСЭЭФ [29]. Разрешение метода сопоставимо с сейсморазведкой.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение моделей негоризонтально-слоистых сред и на разработку практических способов определения параметров вызванной поляризации, пористости и проницаемости, входящих в теоретические оценки активного слоя.

#### Литература

1. Сидоров В.А., Тихаев В.В. Электроразведка зондированиями становлением поля в ближней зоне. Саратов, ВНИИГГ, 1969.
2. Тихаев В.В. Метод зондирования становлением электромагнитного поля с использованием пространственного накопления. Известия АН СССР. Физика Земли, 1984, N3, с.81-88.
3. Небрат А.Г. Индуктивное возбуждение вызванной поляризации горных пород при прямых поисках месторождений нефти и газа. Вестник Московского у-та. Сер. 4, Геология, 1990, N5, с.67-70.
4. Губатенко В.П. Эффект Максвелла-Вагнера в электроразведке. Известия АН СССР. Физика Земли, 1991, N5, с.88-98.
5. Alvarez R. Complex dielectric permittivity in rocks. A method for its measurement and analysis. Geophysics, 1973, Vol. 38, N5, p.920-940.
6. Альпин Л.М. Теория поля. М.: Недра, 1966.
7. Ваньян Л.Л. Основы электромагнитных зондирований. М.: Недра, 1965, 109с.
8. Жданов Л.С., Маранджян В.А. Курс физики. т.2. М.: Наука, 1966, 608с.
9. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л.: Недра, 1980, 392с.
10. Заборовский А.И. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат, 1963, 423с.
11. Молчанов А.А., Сидоров В.А., Николаев Ю.В., Яхин М.М. Новые типы переходных процессов при электромагнитных зондированиях. Известия АН СССР. Физика Земли, 1984, N1, с.100-103.
12. Сочельников В.В. К вопросу об осцилляции переходных характеристик при электромагнитных зондированиях. Физика Земли, 1993, N7, с.83-84.
13. Шейнман С.М. Об установлении электромагнитных полей в земле. Прикладная геофизика, 1947, вып.3, с.3-55.
14. Каменецкий Ф.М., Тимофеев В.М. О возможности разделения индукционного и поляризационного эффектов. Известия АН СССР. Физика Земли, 1984, N12, с.89-94.
15. Мезенцев А.Н. Осцилляции переходных характеристик поля поляризующихся объектов. Известия АН СССР. Физика Земли, 1985, N 9, с.103-105.
16. Тихаев В.В., Лепешкин В.П., Глечиков В.А. Неуставившееся электромагнитное поле в слоистой среде с учетом частотной дисперсии электропроводности. Известия АН СССР. Физика Земли, 1987, N9, с.47-54.
17. Сочельников В.В., Небрат А.Г., Попович С.В., Кондюрин А.В. Теория и практические возможности метода ЗСБ-ИВП при поисках нефти и газа. Физика Земли, 1994, N6, с.56-67.
18. Яневич М.Ю. Индуктивное возбуждение вызванной поляризации горных пород применительно к задаче прямых поисков месторождений нефти и газа. Деп. N 1843-85, с.22.
19. Полякова Т.А., Черняк Г.А. О некоторых особенностях сейсмоэлектрического эффекта в малоплажных осадочных породах. Деп. N 601-84, с.35.
20. Электрокинетические свойства капиллярных систем. М.-Л., изд-во АН СССР, 1956, 352с.
21. Нейштадт Н.М., Мазанова З.В., Суворов Н.Д. Сейсмо- и пьезоэлектрические явления в разведочной геофизике. С. Петербург: Недра, 1992, 63с.
22. Алексеева Л.П., Попов Ю.Н., Терехин Е.И. Некоторые особенности кривых зондирования становлением электромагнитного поля. Прикладная геофизика, 1977, вып.88, с.57-62.
23. Сочельников В.В., Небрат А.Г. Теоретические оценки сейсмоэлектрического эффекта и его влияния на переходные характеристики становления поля. Геофизика, N2, 1997, с.28-38.
24. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород. М.: Наука. Гостоптехиздат, 1962, 490с.
25. Галкин И.Н. Построение сейсмической модели земной коры. М.: Наука, 1972, 123с.
26. Сейсморазведка. Справочник геофизика. Под ред. В.П. Номоконова. Книга первая. М.: Недра, 1990, 336с.
27. Мушин И.А., Погужев В.М., Макаров В.В. Сейсмические отображения перерывов осадконакопления. Прикладная геофизика, 1995, вып. 129, с.3-24.
28. Мушин И.А., Сафонов А.С. Геологические предпосылки создания структурно-формационных моделей в сейсмо- и электроразведке. Доклад на международной конференции "Неклассическая геоэлектрика". Саратов, 1995.
29. Игнатов А.М., Сочельников В.В. Система непрерывной морской электроразведки. Св. на полезную модель N17811 от 27.04.01. БИПМ, N12, 2001.