

УДК 550.370

## ПРОЯВЛЕНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЛИНИЕЙ

Е.В. Агеенков<sup>1, 2</sup>, А.А. Ситников<sup>1</sup>, И.Ю. Пестерев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Сибирская геофизическая научно-производственная компания» (ООО «СГНПК»). 664044, Россия, г. Иркутск, ул. Шапова, д. 14; e-mail: aev@dnme.ru, aas@dnme.ru, ip@dnme.ru

<sup>2</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИРНИТУ). 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83; e-mail: aev@dnme.ru

**Аннотация.** Показано отличие компонентов электромагнитного (ЭМ) сигнала переходного процесса, регистрируемого индуктивным приемником и заземленной линией над проводящей поляризующейся Землей. Показано отличие проявления индукционно вызванной поляризации (ВПИ) и гальванически вызванной поляризации (ВПГ) при измерениях сигнала становления заземленной линией в осевой зоне источника – гальванически заземленной линии. Переходный процесс в проводящей поляризующейся Земле после импульсного воздействия заземленной линией сложнее, чем после аналогичного воздействия индуктивной петлей. Сигналы ВПИ и ВПГ в осевой зоне источника заземленной линии будут иметь разный знак, поэтому при определенных условиях могут компенсировать друг друга. Изучение таких условий вызывает интерес для практической электроразведки.

**Ключевые слова.** Индукционно вызванная поляризация (ВПИ), гальванически вызванная поляризация (ВПГ), заземленная электрическая линия, индуктивная петля, численное моделирование.

## DISPLAY OF INDUCE POLARIZATION DIFFERENT TYPES IN ELECTROMAGNETIC MEASUREMENTS BY THE LINE

E.V. Ageenkov<sup>1, 2</sup>, A.A. Sitnikov<sup>1</sup>, I.Y. Pesterev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siberian Geophysical Research Production Company Ltd. Russia, 664044, Irkutsk City, 14 Shapova st.; e-mail: aev@dnme.ru, aas@dnme.ru, ip@dnme.ru

<sup>2</sup> Systems National Research Irkutsk State Technical University. Russia, 664074, Irkutsk City, 83 Lermontov st.; e-mail: aev@dnme.ru

**Abstract.** The difference in the components of the EM signal of the transient process recorded by the inductive receiver and the grounded line above the conducting polarizing Earth is shown. The difference in the manifestation of induction-induced polarization (IPI) and galvanically induced polarization (IPG) is shown when measuring the signal of becoming a grounded line in the axial zone of the source – a galvanically grounded line. The transient process in a conducting polarizing earth after an impulse action by an earthed line is more complicated than after a similar action by an inductive loop. Signals IPI and IPG in the axial zone of the source of the grounded line will have different signs, so under certain conditions, they can compensate each other. The study of such conditions is of interest for practical electrical prospecting.

**Key words.** Induction-induced polarization (IPI), galvanically induced polarization (IPG), grounded electrical line, inductive loop, numerical simulation.

**ВВЕДЕНИЕ.** Значительная часть методов электроразведки с контролируемым источником для возбуждения геологической среды (Земли) использует либо индуктивную петлю, либо заземленную электрическую линию.

Геологическая среда является пористой двухфазной, воздействие на нее внешнего ЭМ-поля, в том числе искусственного источника, приводит к накоплению ЭМ-энергии внутри нее, которая высвобождается после прекращения этого внешнего воздействия и может быть зарегистрирована измерителями [Каменецкий, 2014]. При импульсном возбуждении с помощью индуктивного и гальванически заземленного источника первичное ЭМ-поле, созданное ими, различно – это известное утверждение [Могилатов, 2014]. Отклик Земли на такое воздействие также будет различен.

ВПИ для индуктивного источника и приемника описана и изучена для нескольких механизмов (релаксация Максвелла – Вагнера, мембранная поляризация, электролитическая поляризация) [Халлбауэр-Задорожная, 2016]. Для гальванического источника и приемника описана и изучена ВПГ [Комаров,

1980], но во время переходного процесса при импульсном возбуждении Земли этим источником возникает и ВПИ, порожденная вихревым током. Эта составляющая ЭМ-сигнала изучена недостаточно. Еще больший интерес вызывает совместное проявление ЭМ-индукции и индукционно и гальванически вызванной поляризации в регистрируемом ЭМ-сигнале.

### Индукционно вызванная поляризация (ВПИ) при индуктивном возбуждении и приеме ЭМ-сигнала переходного процесса

ВПИ возникает при воздействии на поляризующуюся среду вихревого тока. Проявление этого релаксационного процесса в ЭМ-сигнале хорошо видно при индукционном возбуждении и приеме поля становления (во временной области). В результатах измерений ЗСБ ВПИ проявляется как сигнал противоположного знака в отличие от становления ЭМ-поля. ВПИ может быть связана рядом релаксационных процессов различной природы. Наиболее быстропротекающая электрофизическая релаксация (релаксация Максвелла – Вагнера),

связана с резкой неоднородностью ЭМ-свойств геологической среды – когда сильно проводящие элементы чередуются с сильно высокоомными, такая ситуация характерна для мерзлых пород, где незамерзшая связанная вода чередуется с замерзшей свободной водой породы [Кожевников, 2012 и 2014]. Она проявляется на временах от первых мкс до первых мс. Более инерционные процессы электрокинетической и электролитической природы. Электрокинетические процессы – электроосмос и мембранная поляризация, связанные с двойным электрическим слоем (ДЭС) двухфазной пористой среды и изменениями диаметров пор. Длительность электроосмотической релаксации от первых мс до сотен мс. Мембранная поляризация устанавливается от мс до с. Электролитические процессы связаны с присутствием электропроводящих включений внутри пористой (трещиноватой) геологической среды. Они длятся от первых мс до с.

Проявление электрофизической релаксации называют быстропротекающей индукционно вызванной поляризацией (БВПИ). Проявление электрокинетической и электролитической релаксации называют низкочастотной дисперсией (НЧД), или вызванной поляризацией (ВП) [Каменецкий, 1997].

Для индукционного возбуждения и приема неустановившегося ЭМ-поля характерно возбуждение только вихревых токов, которые, протекая в поляризующей среде, возбуждают только ВПИ различной природы. Но плотность вихревых токов меньше, чем гальванических, и время их протекания в Земле меньше, чем гальванических, поэтому для изучения ВП такая система возбуждения и приема применяется редко. Можно утверждать, что процессы ВПИ являются мешающими для изучения процесса становления.

При индуктивном возбуждении и приеме ЭМ-сигнала переходного процесса поляризация, вызванная вихревым током, – индукционно вызванная поляризация (ВПИ) – проявляется в смене знака ЭДС.

**Проявление ВП для источника заземленная линия – гальванически вызванная поляризация (ВПГ) и индукционно вызванная поляризация, для измерений в осевой зоне источника знак**

Гальванически заземленная линия в импульсном режиме пропускания тока в проводящей Земле возбуждает переходный процесс, ВПГ и ВПИ. Во время токового импульса в поляризующейся среде протекают процессы разделения зарядов различной природы. После прекращения этого воздействия начинаются обратные релаксационные процессы, проявляющиеся как ЭМ-сигнал, регистрируемый измерителем совместно с ЭМ-сигналом, связанным с диффузией вихревых токов внутри проводящей Земли. Вихревые токи, распространяющиеся внутри поляризующейся среды, также индуцируют процессы разделения зарядов, которые после их ослабления, а затем и затухания становятся обратными релаксационными процессами, также проявляющиеся как еще один дополнительный ЭМ-сигнал, регистрируемый измерителем. Это описание послед-

ствий импульсного воздействия заземленной электрической линии на проводящую поляризующуюся Землю показывает, что он сложнее, чем при таком же воздействии индуктивного источника. Однако именно заземленная линия чаще используется для изучения ВП, т.к. плотность гальванических токов, «заряжающих» Землю, выше, чем у вихревых токов незаземленного источника, а время воздействия определяется продолжительностью токового импульса, а не продолжительностью переходного процесса, как для индуктивного источника.

Для источника заземленная линия известно, что измеряемый сигнал электродинамического переходного процесса и ВПГ для одномерной среды в осевой зоне источника имеют одинаковый знак, а в экваториальной зоне – разный [Антонов, 2006]. По аналогии с индуктивным возбуждением и приемом можно предположить, что знак сигнала ВПИ и для заземленной линии будет иметь противоположный знак электродинамическому сигналу.

Для исследования этого вопроса воспользуемся моделями, приведенными в работе П.Ю. Легейдо [Легейдо, 1998]. 4-слойный горизонтально-слоистый разрез типа КН. Первый и третий относительно проводящие слои разделены высокоомным экраном. В основании разреза лежит непроводящий фундамент. Отклик ВП от первого слоя создается преимущественно гальваническим током, расположенный ниже экрана проводящий поляризующийся слой будет возбуждаться в основном индуктивно. Соответственно, поляризационный отклик от первого слоя будет преимущественно гальваническим, а от третьего преимущественно индукционным.

Расчеты проведем для электрической установки с измерением в осевой области источника. Используем трехэлектродную измерительную линию (MON), для которой можно сформировать ряд трансформант ЭМ-поля [Легейдо, 1995, 1997], позволяющих подавить вклад электродинамической составляющей в поздней стадии переходного процесса и усилить вклад гальванически вызванной поляризационной составляющей (рис. 1). На основе расчетной разности потенциалов между электродами М-О и О-Н во время пропускания тока (на постоянном токе) и во время переходного процесса можно сформировать разность потенциалов  $\Delta U$  на измерительной линии MN (1) и вторую конечную часть потенциалов  $\Delta^2 U$  на измерительной линии MON (2). Затем рассчитать трансформанту, названную P1, как отношение  $\Delta^2 U / \Delta U$  (3):

$$\Delta U_{MN} = \Delta U_{MO} + \Delta U_{ON}. \quad (1)$$

$$\Delta^2 U_{MON} = \Delta U_{MO} - \Delta U_{ON}. \quad (2)$$

$$P1 = \frac{\Delta^2 U}{\Delta U} = \frac{\Delta U_{MO} - \Delta U_{ON}}{\Delta U_{MO} + \Delta U_{ON}} \quad (3)$$

В такой трансформации составляющая ЭМ-поля, однородная в пространстве, будет уменьшаться, а неоднородная в пространстве, напротив, будет приобретать больший вес (подчеркиваться).

Гальванический ток, растекаясь в Земле с двух заземлений, создает потенциальное ЭМ-поле, ко-

торое, в частности, в осевой области источника уменьшается при удалении от него. Протекание тока в многофазной среде приводит к различным механизмам разделения зарядов, после прекращения его течения геологическая среда начинает возвращаться в первоначальное состояние, возникают токи вызванной поляризации, которые повторяют распределение в Земле токов, вызвавших их и ЭМ-поле, созданное токами ВПГ, также будет сохранять неоднородность в осевой области источника.



Рис. 1  
Схема установки ДНМЗ

При импульсном возбуждении после изменения тока источника в проводящей среде возникает вихревой ток. Для рассматриваемого источника в начале переходного процесса структура вихревого тока будет повторять структуру гальванического тока. Протекание переходного процесса связано с растеканием кольца вихревых токов вниз и вширь и стремлением к равномерному распределению в Земле, что проявится в уменьшении пространственной неоднородности ЭМ-поля, вызванного им. Плоскость кольца вихревых токов для источника заземленной линии будет перпендикулярна поверхности Земли [Strack, 1992], в отличие от кольца вихревых токов, созданного индуктивной петлей, распространяющихся в плоскости, параллельной земной поверхности [Nabighian, 1979].

Для проведения расчетов выберем установку: А 1000 В 1500 М 1000 О 1000 N, которая была использована при исследованиях на Сибирской платформе в областях развития траппового магматизма. Расстояние между центром питающей и измерительных линий (МО и ON) будет 2500 и 3500 м. Временной диапазон изучения сигнала ограничим от 100 мкс до 2 с.

Для изучения проявления ВПГ и ВПИ проведем сравнение сигналов над неполяризующейся средой, средой, поляризующейся выше высокоомного второго слоя, средой, поляризующейся ниже этого слоя и поляризующейся и выше, и ниже него. Условно назовем эти модели: «Без ВП», «ВПГ», «ВПИ» и «ВПГ и ВПИ», соответственно (табл. 1–4).

Для всех моделей покажем на графиках расчетные данные для разностей потенциалов для линий МО и ON, разность потенциалов для линии MN, вторую конечную разность для линии MON и трансформанту P1 для линии MON.

Над неполяризующейся Землей (пунктирная линия на графиках) наблюдается одинаковый монотонный спад разности потенциалов на линиях МО и ON (рис. 2, а), со времени примерно 30 мс значения  $\Delta U_{MO}$  и  $\Delta U_{ON}$  становятся практически равными – исчезает зависимость от разности, т.е. ЭМ-поле близко к равномерному распределению в неполяризующейся Земле. Этим характеризуется поздняя стадия переходного ЭМ-процесса в среде.

Близость значений разности потенциалов на линиях МО и ON показывает вторая конечная разность

Таблица 1  
Модель «Без ВП» (из диссертации П.Ю. Легейдо)

| с | $\rho$ , Ом·м | $\eta$ , % | h, м |
|---|---------------|------------|------|
| 1 | 50            | 0          | 200  |
| 2 | 1000          | 0          | 500  |
| 3 | 20            | 0          | 200  |
| 4 | 1000          | 0          | –    |

Таблица 2  
Модель «ВПГ» (из диссертации П.Ю. Легейдо)

| с | $\rho$ , Ом·м | $\eta$ , % | $\tau$ , с | с, б.р. | h, м |
|---|---------------|------------|------------|---------|------|
| 1 | 50            | 2          | 0,5        | 0,5     | 200  |
| 2 | 1000          | 0          | –          | –       | 500  |
| 3 | 20            | 0          | –          | –       | 200  |
| 4 | 1000          | 0          | –          | –       | –    |

Таблица 3  
Модель «ВПГ и ВПИ» (из диссертации П.Ю. Легейдо)

| с | $\rho$ , Ом·м | $\eta$ , % | $\tau$ , с | с, б.р. | h, м |
|---|---------------|------------|------------|---------|------|
| 1 | 50            | 2          | 0,5        | 0,5     | 200  |
| 2 | 1000          | 0          | –          | –       | 500  |
| 3 | 20            | 50         | 0,5        | 0,5     | 200  |
| 4 | 1000          | 0          | –          | –       | –    |

Таблица 4  
Модель «ВПИ» (из диссертации П.Ю. Легейдо)

| с | $\rho$ , Ом·м | $\eta$ , % | $\tau$ , с | с, б.р. | h, м |
|---|---------------|------------|------------|---------|------|
| 1 | 50            | 0          | –          | –       | 200  |
| 2 | 1000          | 0          | –          | –       | 500  |
| 3 | 20            | 50         | 0,5        | 0,5     | 200  |
| 4 | 1000          | 0          | –          | –       | –    |

потенциалов ( $\Delta^2 U$ ) (рис. 5). После 30 мс этот параметр резко уменьшается, и после 200 мс его значения становятся меньше  $1e^{-8}$  мВ/А (они не показаны на рис. 5).

Трансформанта P1 (рис. 6) над такой средой после времени 200 мс выходит на нулевые значения, что свидетельствует о стремлении к 0  $\Delta^2 U$ .

Над Землей, поляризующейся в верхней части разреза (рис. 2, б, сплошные линии на графиках), на линиях МО и ON спад становится немонотонным, и различие разности потенциалов на них сохраняется, на кривой  $\Delta^2 U$  видно изменение скорости спада этого параметра после времени примерно 50 мс. Это заметно в трансформанте P1, после 50 мс она начинает возрастать и приобретает правую восходящую ветвь.

При преобладании ВПИ (рис. 2, в, красные линии крупным пунктиром с точкой) переходный процесс на линиях МО и ON значительно отличается. Сигнал на ближней измерительной линии (МО) после времени около 30 мс становится меньше, чем на

дальней измерительной линии (ON), их различие с течением времени увеличивается, а после времени 300 мс  $\Delta U_{MO}$  становится отрицательной. Вторая конечная разность потенциалов ( $\Delta^2 U$ ) после 30 мс становится отрицательной, этот же знак приобретает и трансформанта P1, которая имеет нисходящую правую ветвь отрицательных значений. Создается впечатление, что разность потенциалов на линии MN спадает быстрее, чем над моделью с поляризуемостью в верхней части, однако этот эффект связан со сменой знака разности потенциалов на ближнем измерителе. Так начинает проявляться ВПИ, чем ближе к источнику, тем на более ранних временах можно наблюдать смену знака  $\Delta U$ . При увеличении времени измерений смена знака проявится и на

дальней измерительной линии. Проявление ВПИ на такой установке будет зависеть от разности и продолжительности времени регистрации сигнала.

Вид трансформанты для неполяризуемой среды, поляризуемой в верхней части среды и поляризуемой под высокоомным экраном среды существенно различается. Если наши рассуждения, что поляризуемость верхней части среды вызвана главным образом гальваническим током, а поляризуемость подэкранной толщи вызвана главным образом вихревым током, то трансформанта P1 становится информативным инструментом для разделения проявления ВПГ и ВПИ.

Над моделью с совместным проявлением ВПГ и ВПИ (рис. 2, в, линии крупным пунктиром) раз-

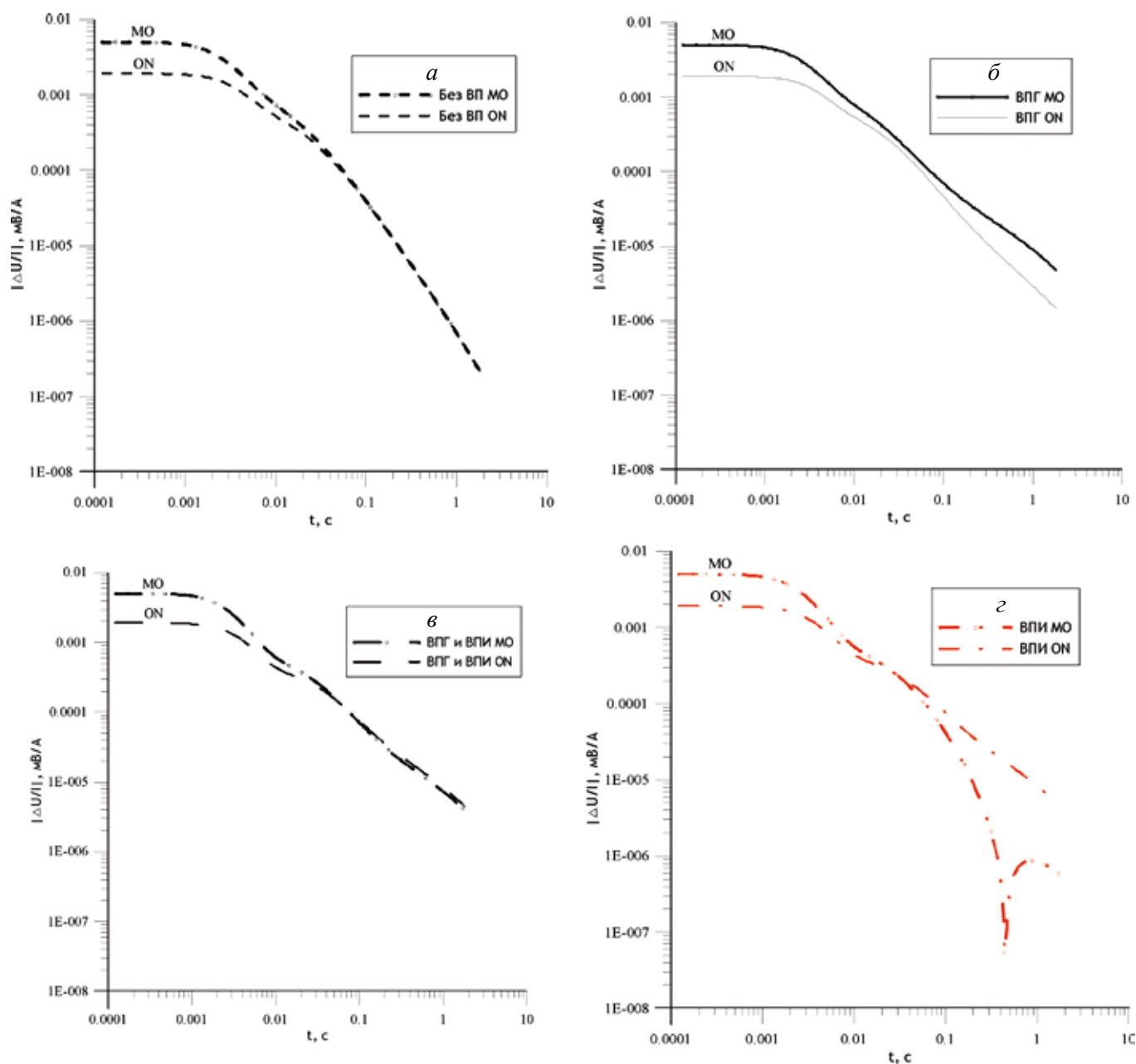


Рис. 2

Разность потенциалов на измерительных линиях MO и ON:

а – над неполяризуемой средой; б – над средой, поляризуемой в верхней части разреза; в – над поляризуемой средой; г – над средой, поляризуемой под высокоомным экраном

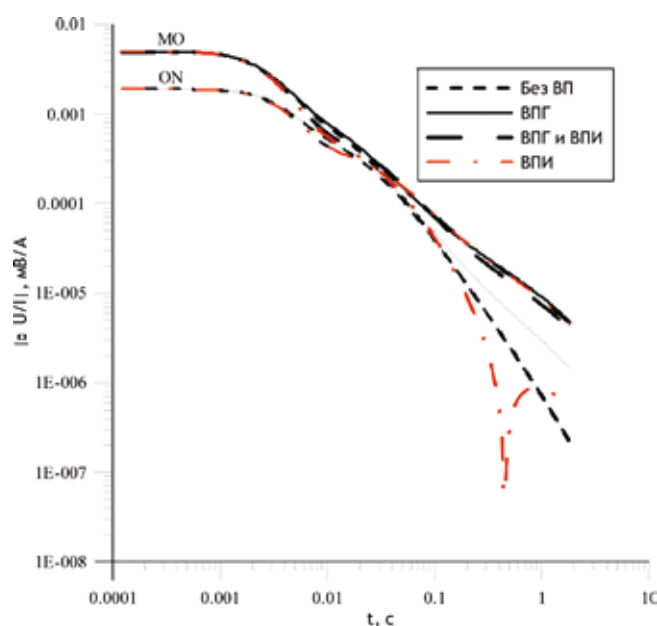


Рис. 3  
Разность потенциалов на измерительных линиях МО и ОН

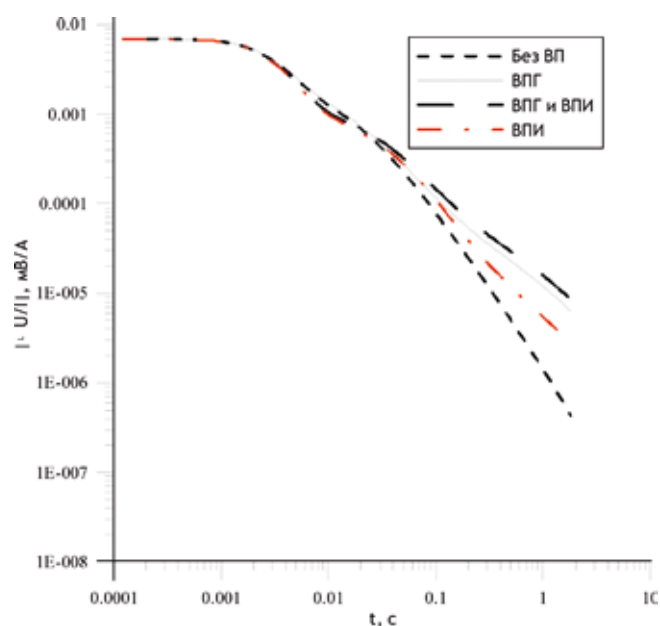


Рис. 4  
Разность потенциалов на измерительной линии MN

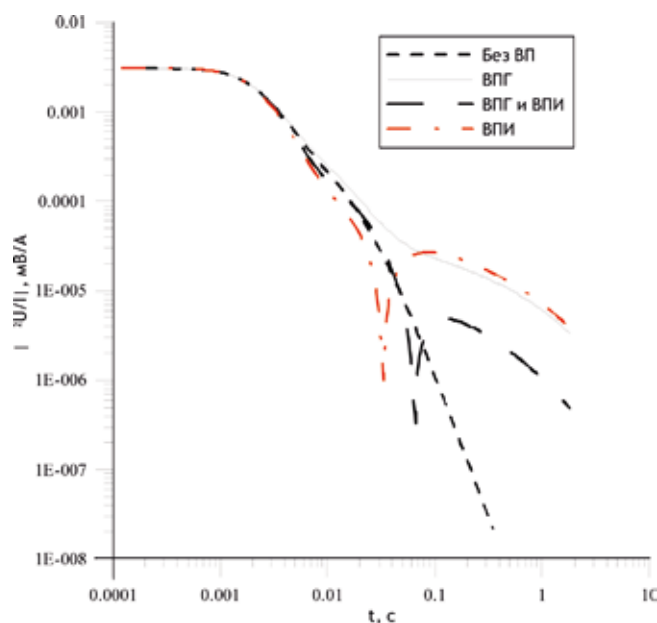


Рис. 5  
Вторая конечная разность потенциалов на линии MON

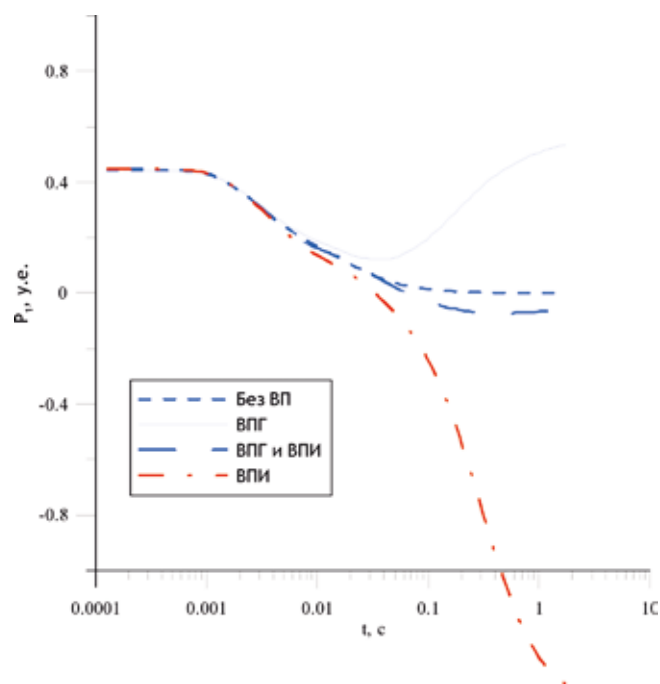


Рис. 6  
Трансформанта P1 на линии MON

ность потенциалов на ближней измерительной линии на времени порядка 100 мс становится меньше, чем на дальней измерительной линии, что проявляется в смене знака  $\Delta^2 U$ . С течением времени различие  $\Delta U_{MO}$  и  $\Delta U_{ON}$  увеличивается, но смены знака разности потенциалов до времени окончания измерений – 2 с – ни на ближнем, ни на дальнем измерителе не отмечается. Такое поведение раз-

ности потенциалов можно объяснить совместным проявлением ВПГ и ВПИ в ЭМ-сигнале. Влияние гальванически вызванной поляризации для данной модели превалирует над влиянием индукционно вызванной поляризации, поэтому для  $\Delta U_{MO}$  не отмечается смены знака. Отрицательные значения появляются на второй конечной разности потенциалов и на трансформанте P1.



Учитывая, что при совместном проявлении ВПГ и ВПИ последняя не является преобладающей даже при большем значении поляризуемости подэкранной толщи, по сравнению с поляризуемостью надэкранной толщи, для источника заземленная линия превалирует гальванически вызванная поляризация, для измерений в осевой зоне источника знак поля индукции и ВП одинаков, ВПИ проявляется в смене знака разности потенциалов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Проведенные расчеты показали, что сигнал ВП, связанный с разным типом возбуждения – гальваническим и вихревым током заземленной линии, – по-разному проявляется на измерительных линиях в осевой области источника. Сигнал гальванически вызванной поляризации соответствует сигналу возбуждающего импульса и складывается с электродинамическим откликом. Это было известно ранее [Легайдо, 1995, 1997; Антонов, 2006].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Е.Ю. Разделение эффекта становления и явления вызванной поляризации при зондировании поляризующихся сред методом переходных процессов / Е.Ю. Антонов, А.Н. Шеин // Сборник материалов международного научного конгресса «Гео-Сибирь-2007», 25–27 апреля 2007 г. Новосибирск: СГГА, 2006. С. 231–218.
2. Каменецкий Ф.М. Электромагнитные геофизические исследования МПП. М.: ГЕОС, 1997. 162 с.
3. Каменецкий Ф.М. Три лекции о вызванной поляризации геологической среды / Ф.М. Каменецкий, Г.М. Тригубович, А.В. Чернышев. Мюнхен: Вела Ферлаг, 2014. 58 с.
4. Кожевников Н.О. Быстропротекающая индукционно вызванная поляризация в мерзлых породах // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 4. С. 527–540.
5. Кожевников Н.О. Поиск таликов методом ЗСБ в условиях интенсивного проявления индукционно вызванной поляризации / Н.О. Кожевников [и др.] // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 12. С. 1815–1827.
6. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л.: Недра, 1980. 391 с.
7. Легайдо П.Ю. Дифференциально-нормированный метод электроразведки при прямых поисках залежей углеводородов / П.Ю. Легайдо, М.М. Мандельбаум, Н.И. Рыхлинский // Геофизика. 1995. № 4. С. 42–45.

Другой важный результат расчетов – присутствие смены знака разности потенциалов для измерителя в осевой области источника в присутствии среды с индукционно вызванной поляризацией. Это становится новым научным фактом, т.к. считалось [Моисеев, 2002], что отрицательные значения приобретает только вторая конечная разность. Здесь можно сделать вывод: для источника заземленная линия в осевой зоне индукционное ВП проявляется в смене знака разности потенциалов  $\Delta U$ , второй конечной разности потенциалов  $\Delta^2 U$  и трансформанты  $P_1$  или только в смене знака  $\Delta^2 U$  и  $P_1$ .

Исследования проявления ВПИ и ВПГ на электрических установках MON рационально продолжить для условий измерений на акваториях. Когда электрическая установка находится внутри проводящего неполяризующегося водного слоя и от проводящей поляризующейся геологической среды отделена им на разные расстояния.

8. Легайдо П.Ю. Информативность дифференциальных методов электроразведки при изучении поляризующихся сред / П.Ю. Легайдо, М.М. Мандельбаум, Н.И. Рыхлинский // Геофизика. 1997. № 3. С. 49–56.
9. Легайдо П.Ю. Теория и технология дифференциально-нормированной геоэлектроразведки для изучения поляризующихся разрезов в нефтегазовой геофизике. Дис. на соиск. уч. ст. д. г.-м. н. Иркутск: ИрГТУ, 1998. 198 с.
10. Могилатов В.С. Импульсная электроразведка. Новосибирск: НГУ, 2014. 300 с.
11. Моисеев В.С. Метод вызванной поляризации при поисках нефтеперспективных площадей / В.С. Моисеев. Новосибирск: Наука, 2002. 135 с.
12. Халлбауэр-Задорожная В.Ю. Процессы, происходящие в горных породах при наложении электрического тока и разности потенциалов: вызванная поляризация / В.Ю. Халлбауэр-Задорожная // Вопросы естествознания. 2016. 3(11). С. 76–79.
13. Nabighian, M.N. Quasi-static transient response of a conducting half-space: An approximate representation // *Geophysics*. 1979. V. 44. P. 1700–1705.
14. Strack K.-M. Exploration with deep transient electromagnetics. Elsevier science publishing Co, 1992. 373 p.

## REFERENCES

1. Antonov E.Y. Razdelenie effectov stanovleniya i yavleniya vizvannoy polyarizatsii pri zondirovanii polyarizuyashih sred metodom perehodnih processov [Separation of the formation effect and the phenomenon of induced polarization during the sounding of polarizing media by the method of transient processes]. E.Y. Antonov, A.N. Shein. *Sbornik materialov mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «GeoSibir-2007»*, 25–27 april 2007. Novosibirsk: SGGA, 2006. p. 231–218 (in Russian).
2. Kamenetsky F.M. Electromagnetic geophysical surveys TEM]. Moscow: GEOS, 1997. 162 p. (in Russian).
3. Kamenetsky F.M. Tri lektsii o vizvannoy polyarizatsii geologicheskoy sredi [Three lectures on the caused polarization of the geological environment]. F.M. Kamenetsky, G.M. Trigubovich, A.V. Chernyshev. Munchen: Vela Ferlag, 2014. 58 p. (in Russian).

4. Kozhevnikov N.O. Bistroprotekayushey induktsionno-vizvannoy polyaryatsiya v merzlykh porodah [Fast-decaying inductive IP in frozen ground]. *Geologi and Geophysics*. 2012; 53(4): 527–540 (in Russian).
5. Kozhevnikov N.O. Poisk talikov metodom ZSB v usloviyakh intensivnogo proyavleniya induktsionno-vizvannoy polyarizatsii [TEM surveys for search for taliks in areas of strong fast-decaying IP effects]. N.O. Kozhevnikov [and etc.]. *Geologi and Geophysics*. 2014; 55(12): 1815–1827 (in Russian).
6. Komarov V.A. Electrorazvedka metodom vyzvannoy polyarizatsii [GEOELECTRICS OF INDUCED POLARIZATION METHOD]. Leningrad: Nedra, 1980. 391 p. (in Russian).
7. Legeydo P.Yu. Differentsialno-normirovanniy metod elektrorazvedki pri pryamih poiskah zalezhey uglevodorodov [Differential-normalized method of electrical prospecting in direct search for hydrocarbon deposits]. P.Yu. Legeydo, M.M. Mandelbaum, N.I. Ryhlinitskiy. *Geophysics*. 1995; (4): 42–45 (in Russian).

8. *Legeydo P.Yu.* Informativnost differencialnih metodov electrorazvedki pri izuchenii polarizuyuchihsya sred [Informativeness of differential methods of electrical prospecting in the study of polarizable media]. P.Yu. Legeydo, M.M. Mandelbaum, N.I. Ryhlinskiy. *Geophysics*. 1997; (3): 49–56 (in Russian).

9. *Legeydo P.Yu.* Teoriya i tehnologiya differencialno-normirovannoy geoelectrorazvedki dlya izucheniya polyarizuyuchihsya razrezov v neftegazovoy geofizike [Theory and technology of differential-normalized geoelectric prospecting for the study of polarizable sections in oil and gas geophysics]. Dissertatsiya na soiskanie uchonoy stepeny d. g.-m. n. Irkutsk: IrGTU, 1998. 198 p. (in Russian).

10. *Mogilatov V.S.* Impulsnaya electrorazvedka [Transient electromagnetic]. Novosibirsk: NGU, 2014. 300 p. (in Russian).

11. *Moiseev V.S.* Metodom vyzvannoy polarizatsii pri poiskah nefteperspektivnyh ploshadey [The method of induced

polarization in the search for oil-potential areas]. Novosibirsk: Nauka, 2002. 135 p. (in Russian).

12. *Hallbauer-Zadorozhnaya V.Yu.* Processy proiskhodyashie v gornih porodah pri nalozhenii elektricheskogo toka i raznos-ty potencialov: vizvannaya polarizatsiya [The processes taking place in rocks when an electric current and potential difference: induced polarization]. V.Yu. Hallbauer-Zadorozhnaya. *Voprosi estestvoznaniya*. 2016; 3(11): 76–79 (in Russian).

13. *Nabighian M.N.* Quasi-static transient response of a conducting half-space: An approximate representation. *Geophysics*. 1979; (44): 1700–1705.

14. *Strack K.-M.* Exploration with deep transient electromag-netics. Elsevier science publishing Co, 1992. 373 p.

Положительная рецензия от 30.04.2018

Решение редколлегии о публикации от 05.05.2018

## ОБ АВТОРАХ

### АГЕЕНКОВ

Евгений Валерьевич



Выпускник кафедры прикладной геофизики и геоинформатики Иркутского государственного технического университета (ИрГТУ) 1998 г. по специальности «горный инженер-геофизик». Начальник отдела геофизики ООО «СГНПК», преподаватель кафедры технологий геологической разведки Иркутского национального исследовательского технического университета, кандидат геолого-минералогических наук, доцент. Сфера научных интересов: прямые и обратные задачи геофизики и электроразведки, в частности технологии морской электроразведки, дифференциально-нормированный метод электроразведки. Автор около 10 научных публикаций на тему применения электроразведки в нефтегазовой области и технологии дифференциально-нормированного метода электроразведки на суше и на море, в том числе 2 патентов на изобретение в соавторстве.

### ПЕСТЕРЕВ

Иван Юрьевич



В 1995 г. окончил геолого-разведочный факультет ИрГТУ по специальности «горный инженер-геофизик». Ведущий геофизик ООО «СГНПК». Сфера научных интересов: математическая постановка прямых и обратных задач, разработка новых алгоритмов интерпретации, обработка электроразведочных данных, программные средства обработки и интерпретации, визуализация результатов обработки, геоинформатика. Автор 14 научных статей на тему геологии, геофизики в нефтегазовой области, а также 3 патентов на изобретение в соавторстве.



### СИТНИКОВ

Александр Анатольевич

Выпускник кафедры прикладной геофизики и геоинформатики Иркутского государственного технического университета (ИрГТУ) 1998 г. по специальности «горный инженер-геофизик». Генеральный директор ООО «СГНПК». Сфера научных интересов: техника и технологии морской и сухопутной электроразведки. Автор ряда научных публикаций на тему применения электроразведки в нефтегазовой области и технологии дифференциально-нормированного метода электроразведки на суше и на море, в том числе 3 патентов на изобретение в соавторстве.