

4. Мотрюк Е.Н., Вельтистова О.М. Компьютерные технологии в интерпретации геофизических данных // Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России : Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. – Сыктывкар, 2014. – С. 314-315
5. Никонов Н.И., Куранов А.В. Перспективные направления геолого-разведочных работ на нефть и газ в Предуральском прогибе // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2017. – Вып. 4(19).

УДК 550.370

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА И ВРЕМЕНИ ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА НА ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ НА АКВАТОРИЯХ С ГЛУБИНОЙ МОРЯ ДО 100 М

Воднева Е.Н.¹, Ситников А.А.², Агеенков Е.В.³, Шлеенков В.В.⁴

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия; ²ООО «Сибирская геофизическая научно-производственная компания», Иркутск, Россия; ³Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия; ⁴Вилуйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, р. Саха (Якутия), Россия

Акватории с глубиной моря до 100 м, простираясь на российском шельфе Северного Ледовитого океана, Каспийского, Азовского и Балтийского морей и морей, омывающих восточные берега РФ, представляют большой практический интерес для проведения нефтегазопоисковых геологоразведочных работ.

Главная задача аквальной геоэлектрики это изучение электромагнитных (ЭМ) свойств геологических образований, перекрытых водной толщей. К основным из них относятся удельное электрическое сопротивление (удельная электропроводность) и поляризационные характеристики. Геологическая среда, как многофазное гетерогенное образование, при воздействии внешнего ЭМ поля поляризуется, а водная среда является однофазной, в первом приближении, и не поляризуется.

При морских электроразведочных работах широко распространено применение заземлённой электрической линии в качестве источника искусственного ЭМ воздействия на среду [6] и измерителя ЭМ отклика. Как правило, источник пропускает импульсы тока близкие к прямоугольным, возбуждая в окружающем пространстве процессы индукционного становления и вызванной поляризации, а измерители регистрируют сигнал переходного процесса, связанный с протеканием этих процессов.

При изучении переходного процесса импульсы постоянного тока продолжительностью $t_{имп}$ разделены измерительной паузой $t_{изм}$, во время неё ток в среду не подаётся. Для увеличения возможностей фильтрации измеряемых сигналов изменяется полярность импульсов. Таким образом, через источник пропускается серия разнополярных импульсов тока, разделённых измерительной паузой (рис. 1).

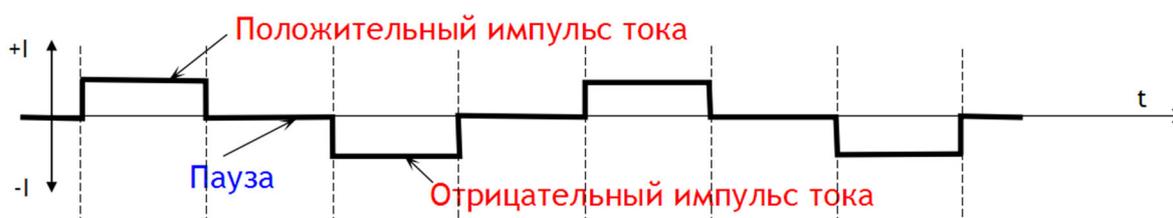


Рис. 1. Форма тока, пропускаемого через заземлённую электрическую линию

Наше исследование касается вопросов влияния продолжительности токового импульса и времени измерения сигнала переходного процесса на возможности изучения поляризационных свойств геологических образований, перекрытых толщей солёной воды мощностью 100 м. Оно основано на проведении численного эксперимента с использованием решения прямой задачи для одномерной проводящей поляризующейся среды и горизонтальной электрической компоненты неустановившегося ЭМ поля. Нами использовался метод линейной фильтрации для решения задачи ЭМ становления [1]. Первоначально рассчитывают частотную характеристику сигнала в широком диапазоне частот, затем, путём преобразования Фурье, получают решение во временной области. ВП среды учитывалось частотно зависимым УЭС по формуле Коула-Коула (1) [2]:

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left(1 - \frac{\eta(i\omega\tau)^c}{1 + (i\omega\tau)^c} \right), \quad (1)$$

где ρ_0 – УЭС на постоянном токе (Ом·м); η – коэффициент поляризуемости (доли ед.); τ – постоянная времени (с); c – показатель степени; ω – круговая частота (сек⁻¹).

Для численного эксперимента была выбрана простая среда – двухслойное полупространство. Водный слой хорошо проводящий, с УЭС 0.25 Ом·м (с минерализацией приблизительно равной 35 г/л), неполяризующийся. Проводящие геологические образования с УЭС 1.5 Ом·м, что свойственно для морских отложений, поляризуемость геологической среды была задана 0 или 15 %. Мощность воды составляла 100 м (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Модель проводящей среды

Слой	ρ , Ом·м	η , %	h , м
1	0.25	0	100
2	1.5	0	∞

Таблица 2

Модель проводящей среды с поляризующимся основанием

Слой	ρ , Ом·м	η , %	τ , с	c , б.р.	h , м
1	0.25	0			100
2	1.5	15	1	0.5	∞

Изучение поляризационных свойств среды осложняется протеканием процесса становления ЭМ поля в проводящей среде, маскирующего процесс вызванной поляризации. Для широкого временного диапазона наблюдается суперпозиция поляризационных и индукционных эффектов.

В технологии дифференциально-нормированных измерений [3-5] реализован способ подавления индукции, основанный на измерении сигнала переходного процесса ($\Delta U(t)$) и конечной разности сигнала переходного процесса ($\Delta^2 U(t)$), а также расчёте трансформанты ($PI(t)$) (2):

$$PI(t) = \frac{\Delta^2 U(t)}{\Delta U(t)}. \quad (2)$$

Расчёты $\Delta U(t)$, $\Delta^2 U(t)$ и $PI(t)$ проведены для установки: АВ – 500 м, МО – 250 м, ОН – 250 м, расстояние между центрами источника и измерительной линии MN – 1000 м (если использовать другую форму описания установки – А 500 В 500 М 250 О 250 М). Сигнал рассчитывался при различных глубинах расположения электроразведочной установки внутри водного слоя.

Переходный процесс рассчитывался для разных продолжительностей импульса: после бесконечного импульса тока (импульс возбуждения – функция Хевисайта или ступень после выключения бесконечно длящегося тока) и для продолжительности 2, 4 и 8 с. Время расчёта

сигнала переходного процесса начиналось с 1 мс и ограничивалось 16 с при возбуждении бесконечным импульсом, а при конечном импульсе соответствовало продолжительности импульса и составляло 2, 4 и 8 с (рис. 2).

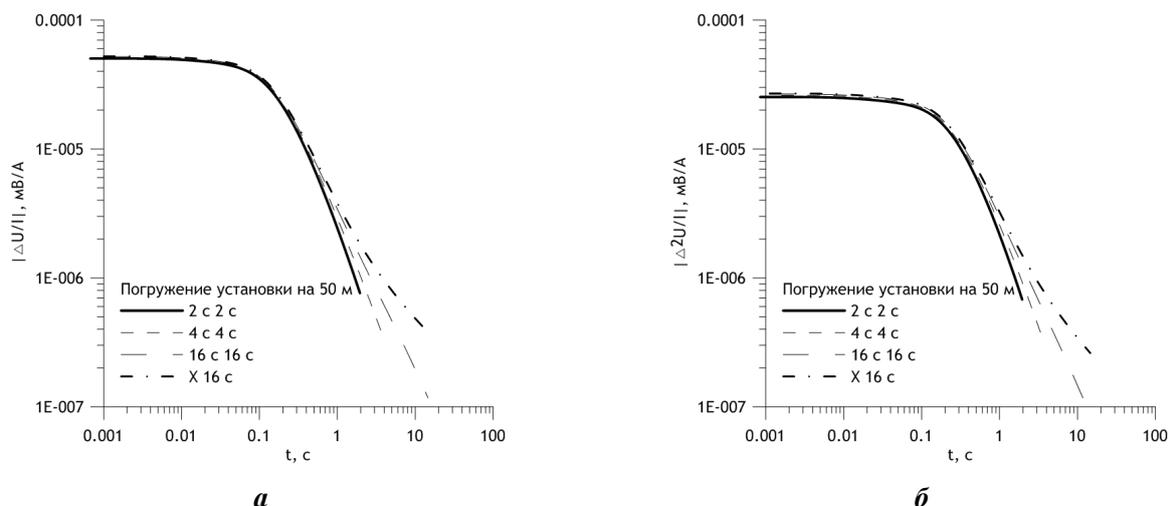


Рис. 2. Сигнал переходного процесса $\Delta U(t)$ и конечная разность сигнала переходного процесса $\Delta^2 U(t)$, рассчитанные для установки, погружённой на глубину 50 м, для разной продолжительности импульса и измерительной паузы

По виду графиков трансформанты $PI(t)$ (рис. 3 а) можно видеть временные диапазоны переходного процесса, когда он, главным образом, связан с сигналом становления, а затем сигналом гальванически вызванной поляризации (ВПГ). Превалирование сигнала становления определяет убывающую часть кривой $PI(t)$ – со времени около 0.1 с. Минимум значений трансформанты отмечает равенство проявления двух составляющих. Восходящая ветвь связана с затуханием становления и большим влиянием сигнала ВП (переход от преобладающего влияния на переходный процесс распределения вихревых токов к более значимому влиянию распределения токов гальванически вызванной поляризации).

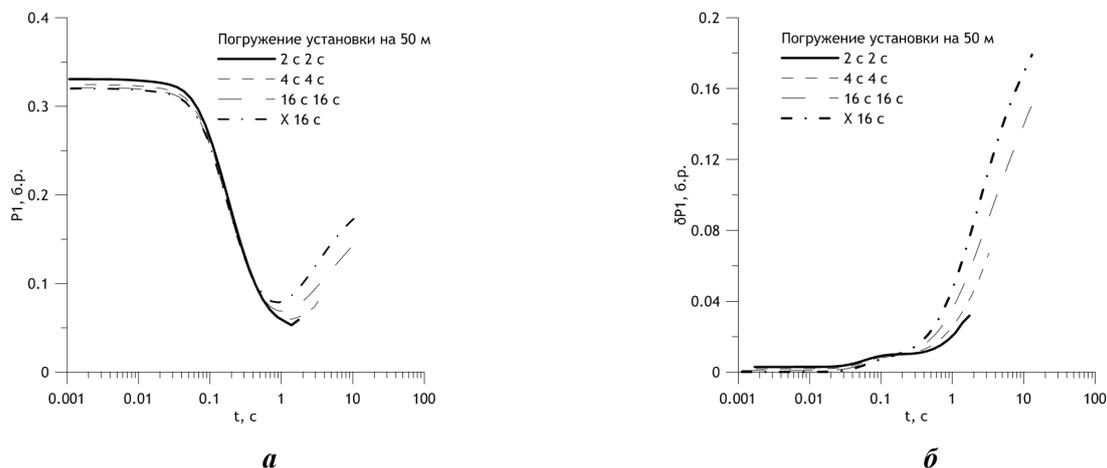


Рис. 3. Трансформанта $PI(t)$ и разность трансформант для проводящей и проводящей поляризующейся модели, рассчитанные для установки, погружённой на глубину 50 м, для разной продолжительности импульса и измерительной паузы

Величина $\delta PI(t)$ (3) – показывает различие трансформант $PI(t)$ от проводящей модели и от проводящей поляризующейся модели на одинаковой глубине для одной и той же формы импульса возбуждения (рис. 3 б), т. е. различие сигналов определяется поляризуемостью геологической среды:

$$\delta PI(t) = PI_{0\%}(t) - PI_{15\%}(t), \quad (3)$$

где $PI_{0\%}(t)$ – сигнал трансформанты $PI(t)$ проводящей модели, $PI_{15\%}(t)$ – сигнал трансформанты $PI(t)$ проводящей поляризующейся модели.

Главное отличие бесконечно длящегося импульса тока от других видов сигнала источника – отсутствие фронта включения, во время которого в среде, окружающей источник, так же начинается переходный процесс. Практические измерения, использующие последовательность разнополярных токовых импульсов, связаны с регистрацией совокупности переходных процессов, начавшихся в разное время: во время выключения тока в источнике, во время включения тока в источнике, а также во время выключения и включения предыдущих импульсов разной полярности. Сигналы переходных процессов от предыдущих импульсов смещены на продолжительность импульса, продолжительность измерения и импульса т. д. Сигнал переходного процесса, начавшийся во время выключения тока, имеет знак противоположной полярности, относительно знака сигнала, регистрируемого после выключения, поэтому суммарный сигнал уменьшается. Уменьшение совокупного сигнала можно видеть на графиках сигнала переходного процесса $\Delta U(t)$ и конечной разности сигнала переходного процесса $\Delta^2 U(t)$, рассчитанных для разной продолжительности импульса и измерительной паузы (рис. 2). Для одинакового времени регистрации сигнала – 16 с, графики, рассчитанные для бесконечного импульса (X 16 с) и для конечного импульса длительностью 16 с (16 с 16 с) – различаются.

На трансформанте $PI(t)$ от бесконечного импульса минимум проявляется на более раннем времени, при конечном времени импульса превалирование гальванически вызванной поляризации над становлением отмечается на более позднем времени. Можно предположить, что сигнал ВПП, возникший во время включения импульса и имеющий противоположный знак ослабляет сигнал этой же природы, возникший во время выключения.

По виду кривых $\Delta U(t)$, $\Delta^2 U(t)$, $PI(t)$ и расхождению $\delta PI(t)$ можно утверждать, что для изучения поляризационного процесса и поляризационных свойств геологической среды, перекрытой водной толщей, оптимальным условием измерений будет использование более продолжительных импульсов и регистрация сигнала до больших времён. Для практических измерений, проходящих при буксировании установки, продолжительность времени импульсов и времени измерений влияют на количество измеренных переходных процессов в единице длины линии профиля. Соответственно приходится ограничивать время импульса и измерений, чтобы улучшить возможности статистического выделения полезного сигнала на фоне помех. Но эти ограничения, в то же время, должны позволить зарегистрировать и проявление процесса ВПП в общем сигнале. Для исследуемой модели достаточной продолжительностью токового импульса можно считать – 4 с, с такой же продолжительностью измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров А.А.* Возможности метода становления электрического поля при поисках углеводородов в шельфовых зонах // *Геофизика*. – 2000. – № 5. – С. 21-26.
2. *Могилатов В.С.* Импульсная электроразведка. – Новосибирск : НГУ, 2014. – 300 с.
3. *Легейдо П.Ю., Мандельбаум М.М., Рыхлинский Н.И.* Дифференциально-нормированный метод электроразведки при прямых поисках залежей углеводородов // *Геофизика*. – 1995. – № 4. – С. 42-45.
4. *Легейдо П.Ю., Мандельбаум М.М., Рыхлинский Н.И.* Информативность дифференциальных методов электроразведки при изучении поляризующихся сред // *Геофизика*. – 1997. – № 3. – С. 49-56.
5. *Легейдо П.Ю.* Теория и технология дифференциально-нормированной геоэлектроразведки для изучения поляризующихся разрезов в нефтегазовой геофизике : дисс. на соиск. уч. степени д.г.-м.н. – Иркутск : ИрГТУ, 1998. – 198 с.
6. *Sainson S.* Electromagnetic Seabed Logging // Springer International Publishing, Switzerland. – 2017. – P. 549. ISBN 978-3-319-45353-8 ISBN 978-3-319-45355-2 (eBook) DOI 0.1007/978-3-319-45355-2.