

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ГРУНТА В БОРОДИНО

ШЕВНИН В.А., ЕРОХИН С.А. КАФ. ГЕОФИЗИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО Ф-ТА МГУ, МОСКВА

Резюме

Измерения электрических свойств (сопротивления и поляризуемости) на образцах рыхлого грунта были проведены с целью отработки методики таких измерений и для сравнения с результатами электротомографии. Измерение сопротивления грунта проводилось по методике А.А.Рыжова (ВСЕГИНГЕО) при разных значениях солености влаги насыщающей образец. Измерение ВП на образцах проводилось во временном режиме с аппаратурой Syscal-Pro и в фазово-частотном режиме с аппаратурой Астра-Мэри.

Введение

Методика измерений электрического сопротивления образцов грунта от солености поровой влаги была предложена А.А.Рыжовым (Рыжов, Судоплатов, 1990) и развита Шевниным и его коллегами при работах в Мексике (Шевнин и др., 2006, Shevnin et al., 2007). Было решено проводить такие измерения и на кафедре геофизики МГУ, добавив к ним измерения вызванной поляризации. Грунт был взят с объекта Пожарный в Бородино (археолог - Балашов А.Ю.), измерения проводились в ноябре-декабре 2010 г. Для измерения сопротивления использовали аппаратуру ЭРА, и Астра-Мэри. ВП в частотной области измеряли с Астра-Мэри, а во временной области с Syscal-Pro. Для измерения сопротивления воды, что требовалось для приготовления растворов заданной солености (пять разных соленостей от 0.2 до 20 г/л) использовали резистивиметр Com100 и резистивиметры для грунта с приборами Астра-Мэри или ЭРА.

Подготовка образцов

Рыхлый грунт подвергался сушке до воздушно-сухого состояния, грунт размельчался, мелкие камешки и инородные включения удалялись, после этого грунт засыпался в резистивиметры. Растворы разной солености готовились следующим образом. Брели водопроводную воду, ее соленость составляла 0.2 г/л, оценивали ее с помощью двухэлектродного резистивиметра Com-100 фирмы НМ Digital, и хранили в пластиковых бутылках объемом 1.5-2 л. В таких же сосудах готовились растворы соли NaCl, соленость проверялась по сопротивлению, но двухэлектродный резистивиметр уже не годился, поэтому измеряли 4-электродным резистивиметром для грунта - это пластиковая коробочка объемом около 200 мл, на боковых стенках которой укреплены питающие и приемные электроды - винты из нержавеющей стали (Рис.1). Ток силой 1-2 мА подавали от генератора ЭРА или Астра на частоте 4.88 Гц, напряжение измеряли с ЭРА или Мэри. Соленость растворов в интервале 0.2 - 20 г/л возрастала примерно в 3 раза от раствора 1 к раствору 5.



Рис.1. Измерение сопротивления в 5 резистивиметрах

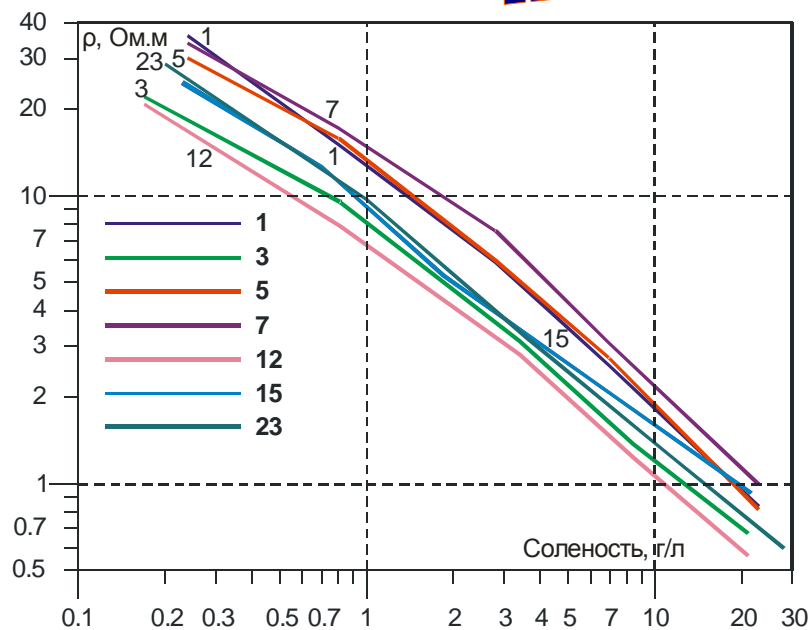


Рис. 2. Примеры кривых сопротивления грунта от солености

Измерения

Грунт насыщался растворами разной солености, использовалось 5 резистивметров, заранее откалиброванных на воде известного сопротивления для определения их геометрических коэффициентов. Насыщение водой проводилось с перемешиванием образцов до состояния полного насыщения. Образцы выдерживались примерно полчаса после увлажнения и перемешивания. После этого избыток воды удалялся. Регистрировалась температура образцов для введения поправок.

Сопротивление определялось в пяти резистивметрах для определения зависимости сопротивления от солености, эта кривая интерпретировалась по программе Рыжова Retrowin (Матвеев, Рыжов, 2006) для оценки глинистости, ионообменной емкости и коэффициента фильтрации (Рис.2).

Поляризуемость измерялась в основном для грунта в резистивметре насыщенном пресной водой с использованием приборов Астра-Мэри в интервале частот от 0.3 до 78 Гц. Определялся относительно фазовый параметр (сдвиг фаз первой и третьей гармоник), по которому считалась поляризуемость по формуле $\eta_k (\%) = -2.5 \cdot \varphi_{ВП}$ (градусы). С помощью прибора Syscal-Pro измерялась поляризуемость на 20 временах спада для различных времен пропускания тока 0.5 и 1 сек. Измерения проводились с металлическими электродами, закрепленными на стенках резистивметра, и с неполяризуемыми электродами из графита в графитовом порошке. Измерения были проведены на 28 образцах грунта, собранных на площади 5 x 10 м.

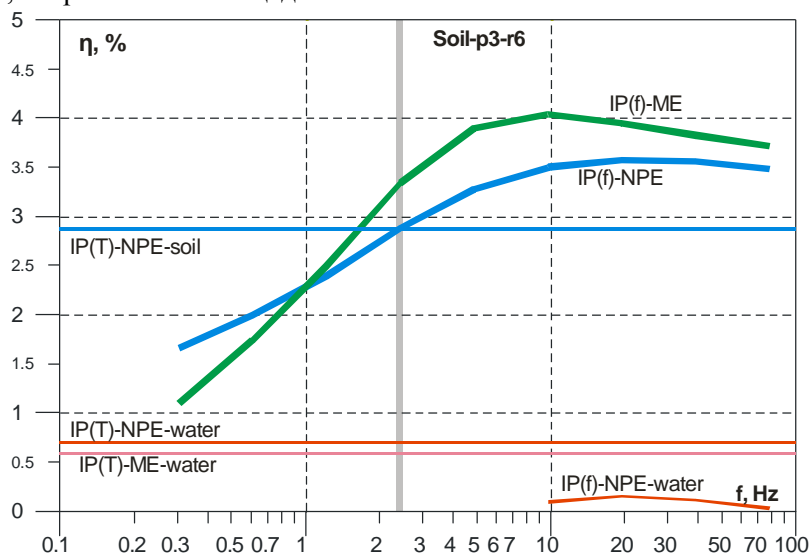


Рис.3. Измерения ВП на образце грунта N3 во временном и в частотном режимах.

Рассчитывались значения ρ_k и η_k . Рисовались кривые ρ_k от солености (рис.2) и η_k от времени спада (рис.6) и от частоты (рис.3). Для соответствия измерений в частотном и временном диапазонах брали поляризуемость для частоты 2.44 Гц и для времени спада 0.5 сек при зарядке 1 сек. На рис. 3 горизонтальная линия $\eta_k = 2.9\%$ сопоставлена с графиками η_k от частоты для металлических и неполяризуемых измерительных электродов (для неполяризуемых электродов значения совпали). Чтобы видеть влияние поляризуемости грунта, проводились измерения поляризуемости в резистивиметре с водой, также для металлических и неполяризуемых измерительных электродов в частотном и временном режимах. На рис.3 они показаны красными линиями в нижней части рисунка, то есть в данном случае есть заметное различие в поляризуемостях с грунтом и без грунта и есть определенное сходство в измерениях поляризуемости с неполяризуемыми и металлическими электродами.

Зная координаты взятия проб на площади участка Пожарный, были построены карты сопротивлений (для грунта насыщенного водопроводной водой) и поляризуемости (Рис. 4). Эти карты показывают определенное соответствие между собой и с картой, построенной по данным электротомографии (Рис.10).

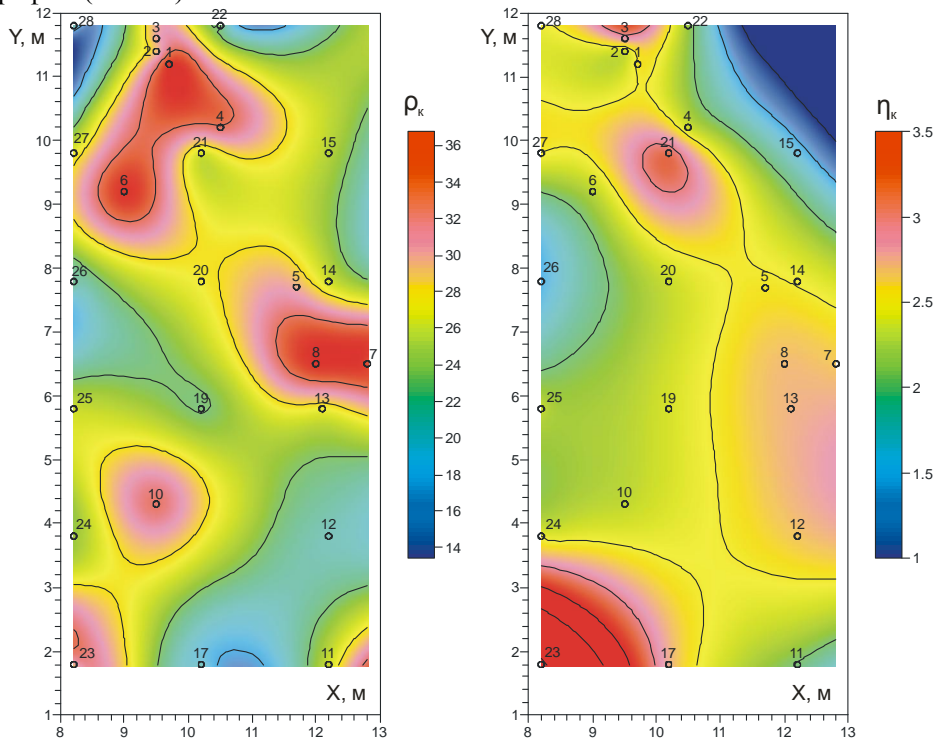


Рис.4. Карты сопротивления (слева) и поляризуемости (справа, по фазово-частотным измерениям) для образцов на участке Пожарный, Бородино в 2010 г.

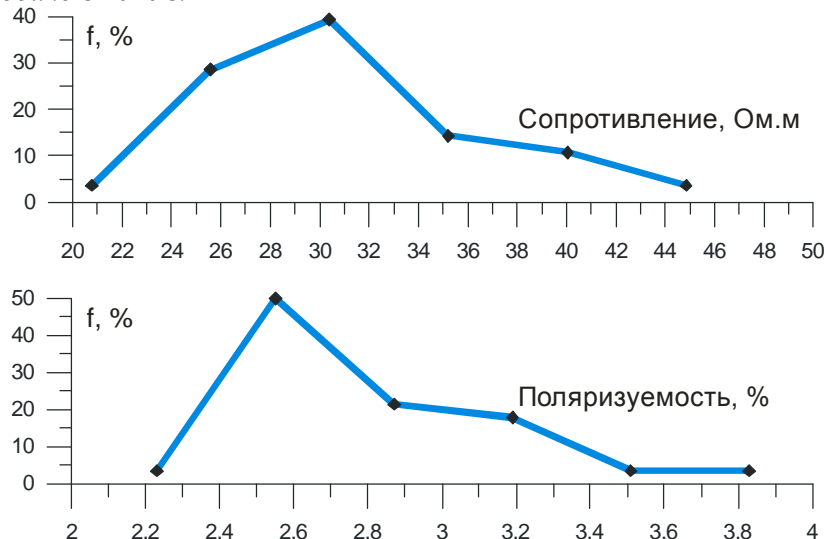


Рис.5. Гистограммы сопротивления (вверху) и поляризуемости (внизу) по измерениям 28 образцов

Сложность истолкования карт сопротивления и поляризуемости заключалась в том, что отбор образцов проводился с разных глубин - из "культурного слоя" и "материка" по терминологии археологов. Как показал дальнейший анализ, эти два слоя различались по сопротивлению, что сказалось на рисовке карт.

Статистическая обработка данных сопротивления и поляризуемости показала, что среднее сопротивление грунта составляет 26-30 Ом.м (при полном насыщении водой 29 Ом.м и соленостью 0.2 г/л), а средняя поляризуемость 2.6% (измеренная с Астра-Мэри с пересчетом фазового параметра в поляризуемость по формуле А.В.Куликова) (Рис.5)

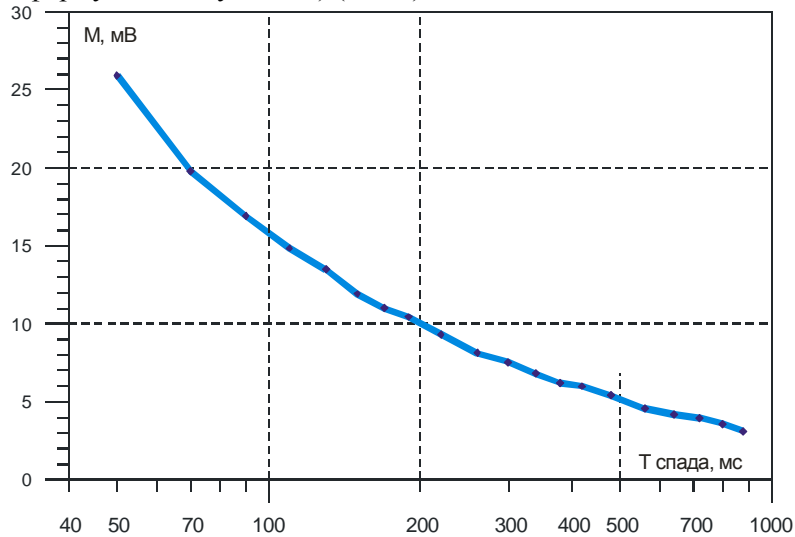


Рис.6. Кривая спада ВП в значениях M (мВ) от времени спада

Учитывая, что частотная характеристика поляризуемости по форме напоминает производную поляризуемости по логарифму времени, кривая спада для образца грунта N3 была пересчитана в производную, но построена от частоты (Рис.6). Действительно, есть некоторое сходство, но уровень дребезга на кривой спада после ее дифференцирования остановил нас от продолжения подобных расчетов.

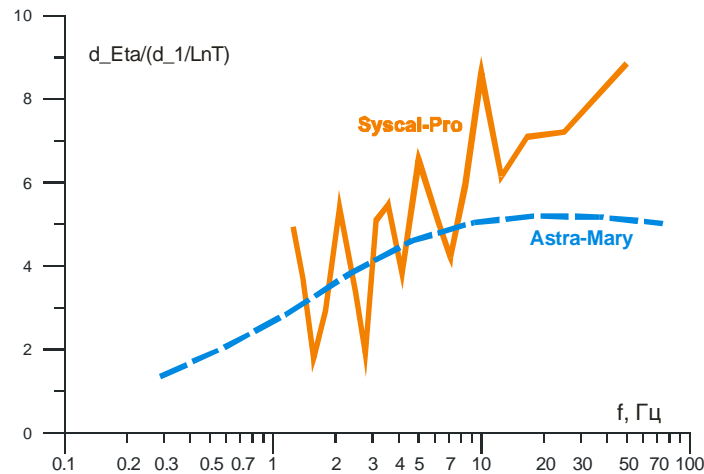


Рис.7. Сравнение производной поляризуемости по логарифму времени (для образца грунта 3), но по оси абсцисс - частота, величина обратная времени.

График η_k для Астра-Мэри не в масштабе, он скопирован с рисунка частотной характеристики.

Сильный дребезг, возникший при пересчете кривой спада в производную по логарифму времени показал, что мы пока не готовы выполнять такой пересчет. Измерения во времени на ионопроводящих грунтах не обладают достаточной точностью и помехоустойчивостью для расчета производных. Либо следует применять Сискал только на рудных объектах и не измерять ВП ионных сред, либо переходить на Астра-Мэри. Оба рецепта не очень удобны. Определенный резерв есть внутри Сискала или временных измерений спада ВП. Например, аппроксимировать спад сплайном и только после этого считать производную по логарифму времени.

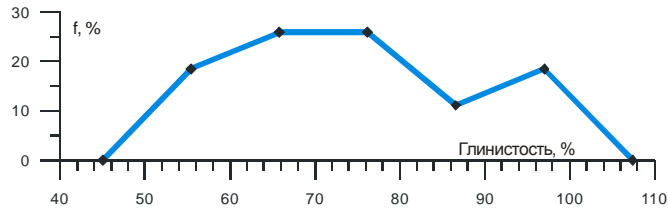


Рис. 8. Гистограмма глинистости, в среднем 70%.
То есть, это глина.

Коэффициент фильтрации (Рис.9) определялся по глинистости образца по формуле Шевнина (Пейнадо и др., 2010).

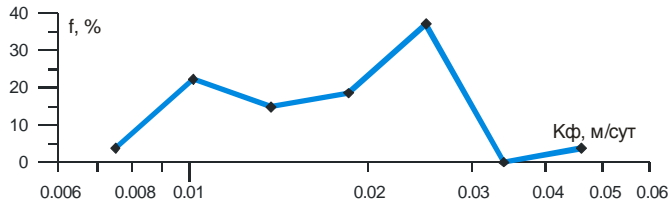


Рис. 9. Гистограмма коэффициента фильтрации, в среднем 0.02 м/сут

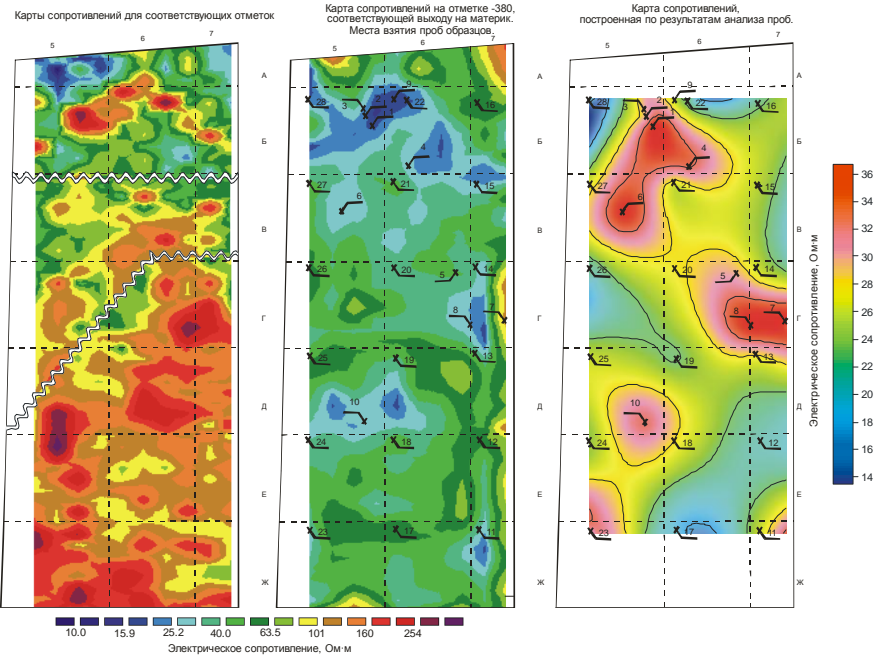


Рис. 10. Карты сопротивлений по результатам ЭТ (на двух уровнях, вторая на 0.2 м глубже) и по образцам (справа)

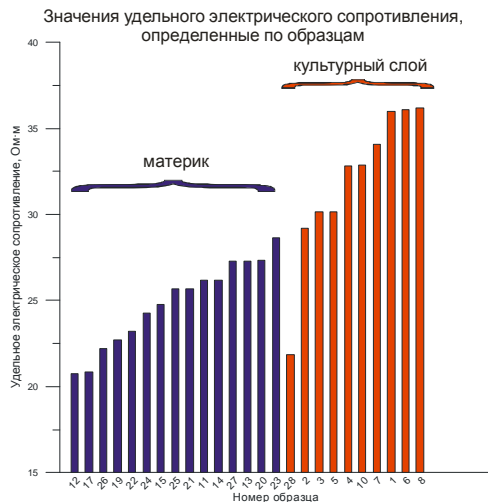


Рис.11. Распределение сопротивлений культурного слоя и материка

Разница в цветах карт сопротивлений (Рис.10) по данным ЭТ для культурного слоя (слева) и для материка (в центре) соответствует различию сопротивлений образцов для этих двух слоев. Чтобы это показать, значения сопротивлений были разделены на две группы, опираясь на сведения о глубине и месте взятия образцов (из культурного слоя и материка). Сопротивления культурного слоя выше (Рис.11).

Выводы и заключения

Методика измерения электрического сопротивления грунта предложенная в России, и широко применявшаяся в Мексике, вернулась в Россию.

Измерения сопротивлений проб грунта были дополнены измерениями поляризуемости во временном и фазовом режимах.

Измерения сопротивлений позволили оценить петрофизические свойства (глинистость, Кф и др.)

Различие свойств ВП с металлическими и неполяризуемыми электродами заметно меньше, чем различие измерений грунта и воды, что позволяет применять металлические электроды при таких измерениях. Но степень доверия к измерениям с неполяризуемыми электродами выше, вопрос не закрыт.

Благодарности

Археологу Балашову А.Ю. (Институт Археологии РАН) за сбор проб грунта

И.Н.Модину за инициативу данного исследования и ценные советы

В.А.Куликову за прекрасные примеры спектральных измерений ВП, побудившие использовать эту методику

Фирме Северо-Запад за аппаратуру Астра-Мэри, позволяющую измерять спектральное ВП

Ссылки

Матвеев В.С., Рыжов А.А. Геофизическое обеспечение региональных гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и геоэкологических исследований. Разведка и охрана недр. 2006. № 2. С. 50-57.

Рыжов А.А., Судоплатов А.Д. Расчет удельной электропроводности песчано-глинистых пород и использование функциональных зависимостей при решении гидрогеологических задач //Научно-техн. достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр. М., 1990. С. 27-41.

Пейнадо Э., Делгадо О., Рыжов А.А., Шевнин В.А. Совместный анализ геолого-геофизических параметров грунта в Синалоа, Мексика. Шестая международная научно-практическая конференция и выставка "Инженерная и рудная геофизика - 2010". Геленджик. 4 стр.

Шевнин В.А., Рыжов А.А., Делгадо-Родригес О. Оценка петрофизических параметров грунтов по данным метода сопротивлений. Геофизика, # 4, 2006, с. 37-43.

Shevnin V., Mousatov A., Ryjov A., Delgado O. Estimation of clay content in soil based on resistivity modeling and laboratory measurements. Geophysical Prospecting, 2007, 55, 265-275.

Контактная информация

Шевнин Владимир Алексеевич, shevninv@rambler.ru,

Ерохин Сергей Анатольевич seroh@mail.ru