

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Компания «PHOENIX GEOPHYSICS LTD» (Канада)



СБОРНИК ТЕЗИСОВ

ХІІІ-го международного геофизического научно-практического семинара

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

9-10 ноября 2016 г., Санкт-Петербург

©Санкт-Петербургский горный университет

**Санкт-Петербург
2016**

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Совместная интерпретация данных электротомографии и магнитотеллурических зондирований при решении рудных задач</i>	<i>5</i>
<i>Петрофизический подход к электрическим свойствам рыхлых грунтов.....</i>	<i>9</i>
<i>Арктический геофизический проект.....</i>	<i>14</i>
<i>Комплекс разведочных и глубинных МТЗ как основа структурно-тектонических построений: опыт изучения ладого-ботнической зоны балтийского щита.....</i>	<i>19</i>
<i>Изучение крупной миоценовой палеодолины комплексом электроразведочных методов.....</i>	<i>24</i>
<i>Первый опыт обобщения материалов по связи наличия углеводородов и эпигенетических сульфидов на юге якутии.....</i>	<i>27</i>
<i>Магнитотеллурические зондирования в комплексе нефтегазопроисковых работ в Казахстане</i>	<i>32</i>
<i>Расширение возможностей рудной электроразведки</i>	<i>37</i>
<i>Результаты применения технологии электромагнитных зондирований и вызванной поляризации на Стрельцовском рудном поле.....</i>	<i>41</i>
<i>Комплексные наземные геофизические исследования при поисках месторождений медно-порфирового типа (например месторождения Ак-Суг)</i>	<i>46</i>
<i>Опыт решения локальных геодинамических задач методами электроразведки (на примере рудного объекта Енисейского кряжа)</i>	<i>50</i>
<i>Опыт использования электроразведочных методов при поисках медно-никелевых руд на Кольском полуострове.....</i>	<i>54</i>
<i>Взаимосвязь вариаций геоэлектрических параметров и сейсмического режима сейсмоактивной зоны горного алтая по данным нестационарного электромагнитного зондирования.....</i>	<i>58</i>
<i>Эксперимент по тензорному частотному зондированию «Kovdor-2015».....</i>	<i>62</i>
<i>Первые результаты комплексирования данных ЭМВ-ВП и геохимии при поисках золото-сланцевого оруденения на Горном Алтае</i>	<i>65</i>
<i>Влияние естественного электрического поля на формирование залежи урана типа «стратиграфического несогласия».....</i>	<i>70</i>
<i>Результаты геоэлектрохимических исследований перекрытого платинометального оруденения на территории Аганозерского массива Бураковского комплекса</i>	<i>75</i>
<i>новые геоэлектромагнитные технологии с контролируемыми источниками</i>	<i>80</i>
<i>Результаты интерпретации данных нестационарного электромагнитного зондирования при поисковых работах на полиметаллы в районе Рудного Алтая.....</i>	<i>85</i>
<i>О поздней асимптоте переходных процессов в магнитном поле дипольных источников.....</i>	<i>89</i>
<i>Нейросетевая многомерная инверсия данных геоэлектрики</i>	<i>94</i>
<i>Отражение истории реки Свирь в геофизических полях</i>	<i>96</i>
<i>Методика применения комплекса методов импульсной электроразведки в составе сейсморазведочных работ МОГТ-3D для оптимизации проведения буровзрывных работ... </i>	<i>101</i>
<i>Отражение георадарного сигнала от слоя с непрерывно меняющимися электрическими характеристиками</i>	<i>106</i>
<i>Результаты численного моделирования в сложно-построенных средах с наклонными границами методом электротомографии (на примере Горного Алтая).....</i>	<i>110</i>

Современное программное средство 1D инверсии и моделирования данных ЗСБ Model4.....	115
Результат применения автоматической инверсии для исследования многолетнемерзлых пород методом мЗСБ	119
Возможности геофизических методов при контроле и мониторинге технического состояния ограждающих дамб горнообогатительных комбинатов в криолитозоне.....	124
Комплексный мониторинг процессов соляного карстообразования методами электрометрии.....	127
Мониторинг миграции нефтепродуктов в лабораторных условиях с использованием методики электротомографии	132
Изучение болотной экосистемы методами георадиолокации и кондуктометрии	137
Глубинность магнитотеллурического метода вызванной поляризации.....	141
Применение метода вп в многочастной области при поисках золота на Енисейском кряже	144
Интерпретация мониторинговых электроразведочных наблюдений при выделении участков опасных инженерно-геологических осложнений	148
Лабораторные измерения электрических свойств сыпучих грунтов при различных влажностях и температурах.....	153
Результат применения импульсной электроразведки ЭМВ-ВП при поисках полиметаллов в Алтайском крае.....	155
Некоторые практические примеры применение программы Modem3D для моделирования нестационарных электромагнитных сигналов.....	159
Совершенствование интерпретационных подходов георадиолокационных исследований геотехнических объектов.....	164
Применение бесконтактной электротомографии для обследования автомобильных дорог и мерзлых грунтов.....	168
Комплексирование методов сопротивления и георадиолокации для оценки состояния дорожной одежды автомобильных дорог.....	173
Диагностика состояния бетонных, грунтоцементных и ледогрунтовых ограждений и противифльтрационных завес методом межскважинного прозвучивания.....	177
Локальные сейсмические явления в Санкт-Петербурге	179
Методика контроля состояния стыков между панелями бетонных стен в грунте методом ультразвукового прозвучивания из закладных трубок.....	183

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ РЫХЛЫХ ГРУНТОВ

Шевнин В.А., Квон Д.А.¹, Рыжов А.А.²

¹ ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г.Москва, Россия

² ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии», Россия

Рассмотрена связь геоэлектрических параметров (ρ , η , Mn) и поверхностной проводимости (SC) грунтов на данных ВЭЗ-ВП, ЭП-ВП и частотных характеристик ВП. Показано, что поверхностная проводимость может быть определена как по данным спектрального ВП, так и по сопротивлениям грунта с помощью петрофизического подхода. При этом металл-фактор Mn равен поверхностной проводимости SC . Величина SC пропорциональна глинистости. Рост глинистости приводит к снижению гидравлической проводимости. Для истолкования результатов ЭП-ВП полезно изучать совместно графики трех параметров ρ , η , Mn . В зоне аэрации неполная влажность заметно влияет на величины геоэлектрических параметров. Изучить влияние влажности помогает петрофизическое моделирование.

PETROPHYSICAL APPROACH TO ELECTRICAL PROPERTIES OF LOOSE SOIL

Relation of geoelectrical parameters (ρ , η , Mn) and soil superficial conductivity on VES-IP, Prof-IP and frequency characteristics IP was considered. We have shown that superficial conductivity can be estimated from spectral IP data and from soil resistivity using petrophysical approach. Metal-factor or normalized chargeability Mn is equal to superficial conductivity SC . SC value is proportional to clay content in soil. Increasing clay content decreases hydraulic conductivity (or filtration coefficient). For better interpretation of Prof-IP results is useful to study graphs of three parameters: ρ , η , Mn . In aeration zone incomplete humidity noticeably influences on geoelectrical parameters values. We can study of humidity influence with the help of petrophysical modeling.

Настоящая работа выполнена под влиянием идей А.А.Рыжова и А.Веллера. Рыжов раскрыл возможности петрофизического подхода, показав, что сопротивление грунтов может быть описано теоретически в прямой задаче (расчет сопротивления по известным петрофизическим параметрам) и в обратной задаче (оценка петрофизических параметров по измеренным геофизическим характеристикам: сопротивлению грунта, воды и др.). Веллер показал, что давно известный параметр ВП, называемый в рудной геофизике металл-фактором, и в гидрогеофизике нормированной поляризуемостью $Mn = \eta_k / \rho_k$ (1), тесно связан с поверхностной проводимостью. Металл-фактор был предложен американскими геофизиками в конце 50-х годов. В инженерной геофизике Н.Н.Шарапановым был предложен параметр ВП: A^* (Шарапанов и др., 1974), аналогичный металл-фактору. Шевнин изучал металл-фактор в 70 и 80 годы при работах в Центральном Казахстане (Модин, Шевнин, 1985).

Известно, что электрическая проводимость горной породы может быть представлена суммой электролитической и поверхностной проводимости. $\sigma = \sigma_{el} + \sigma_{surf}$ (2): (Vinegar and Waxman, 1984). В работе (Clavier et al., 1984), авторы предложили модель двойной воды (dual-water model), в которой проводимость породы является суммой электролитической проводимости (воды в широких порах) и воды в двойном электрическом слое глины. Электропроводность является комплексной величиной, ее действительная часть отражает электролитическую σ' (водного раствора), а мнимая - поверхностную σ'' проводимость (связанную с двойным слоем в узких капиллярах). Ф.Борнер (2006) показал, что σ'' связана с относительной поверхностью пор (отношение поверхности к объему поры), aS_{por} , в свою очередь, связана с гидравлической проводимостью K (коэффициентом фильтрации).

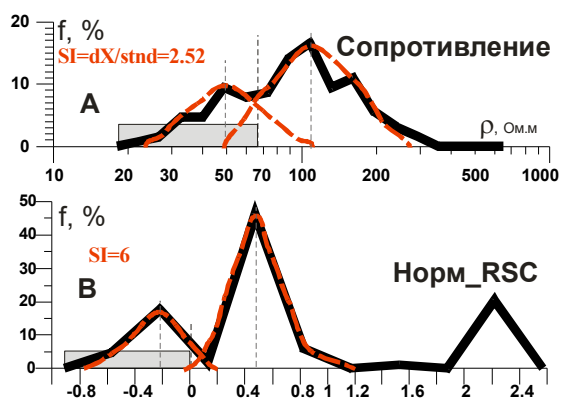


Рис.1 - Гистограммы УЭС и сопротивления грунта связанного с его поверхностной проводимостью и индекс разделения чистого и загрязненного грунта

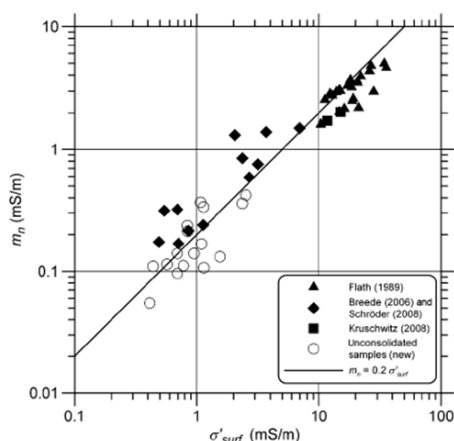


Рис.2. Корреляция M_n и поверхностной проводимости (Weller A. et al., 2013)

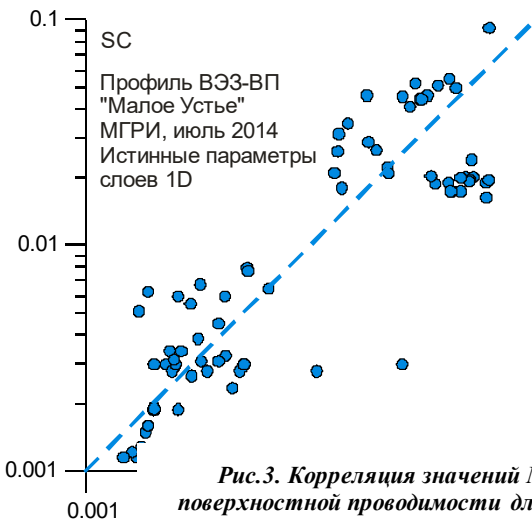


Рис.3. Корреляция значений $M_n = \eta/\rho$ и поверхностной проводимости для истинных параметров слоев (1D интерпретация) профиля ВЭЗ-ВП "База МГУ - Малое Устье"

разделении кривых по глинистости (кривая 4 соответствует максимальной глинистости, а 1 - минимальной). На рис.5 аналогичные графики показаны для полевых измерений, выполненных вместе с ЭП-ВП в 2014-2015 гг. Частотные характеристики по величине M_n разделились на два

Существуют два подхода к оценке поверхностной проводимости: с помощью метода СВП - спектральной вызванной поляризации и с помощью петрофизического подхода к данным метода сопротивлений, разработанного Рыжовым. В программе А.А.Рыжова "Петро" поверхностная проводимость рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{SC} = \frac{C_{Clay} \cdot \sigma_{Clay}}{K_{Clay}} \quad (3), \quad \text{где } C_{Clay} -$$

глинистость; K_{Clay} - коэф. пористости

глины; σ_{Clay} проводимость глины, которая зависит от солености поровой влаги и ионообменной емкости ИОЕ. Эти параметры определяются по сопротивлению грунта и солености поровой влаги с учетом модели грунта (Рыжов и др., 2015). Часто вместо поверхностной проводимости мы используем обратную величину, называемую RSC.

В 2000 - 2007 гг., изучая места нефтяных загрязнений грунтов, мы обнаружили, что поверхностная проводимость давала максимальную разрешающую способность к разделению чистого и загрязненного грунта по сравнению с сопротивлением и рядом петрофизических параметров (Shevchin et al., 2006). Разрешающая способность оценивалась по величине индекса разделения гистограмм:

$SI = dX / \text{std}$ (4). В этой формуле dX - расстояние между максимумами гистограмм для чистых и загрязненных грунтов, а std - стандартное отклонение (ширина гистограмм). Параметр RSC, - обратная величина поверхностной проводимости показал $SI=6$ или по правилу "3 сигм" полное разделение гистограмм. Для УЭС индекс разделения был ниже (2.5, рис.1). Поверхностная проводимость для загрязненного нефтью грунта связана с биodeградацией нефти (ее эмульсификацией и появлением биопленок - скоплений бактерий в порах породы, что приводит к изменению порового пространства и к росту роли двойного электрического слоя (ДЭС) из-за роста числа тонких пор).

На рис. 4 приведены графики M_n от частоты тока (0.3 - 78 Гц) для 4 образцов грунта, собранных на профилях ЭП-ВП (Шевнин и др., 2014). Мы впервые увидели преимущество параметра M_n в

В работе (Weller A. et al., 2013) авторы показали высокую корреляцию ($R^2=0.907$) Mn и поверхностной проводимости (SC) (Рис.2). По мнению авторов этой работы, отношение $m_n / \sigma'_{surf} = 0.2$ (5).

Мы проверили корреляцию Mn и SC по данным ВЭЗ-ВП и ЭП-ВП, полученным в Калужской области (на базе геофизической практики студентов МГУ). Величина SC оценивалась по УЭС грунта в программе Рыжова Петрофизика (Матвеев В.С., Рыжов А.А., 2006). У нас отношение Mn/SC оказалось равным 1, то есть Mn просто равно поверхностной проводимости SC .

На рис.3 видны две группы точек (облака), полученных из количественной 1D интерпретации данных ВЭЗ-ВП. Более высокие значения Mn и SC соответствуют суглинкам, второе облако - с меньшими значениями Mn и SC - пескам.

облака: верхнее для суглинков и нижнее для песков. Верхняя часть разреза той территории практики, где выполняли ЭП-ВП, в основном была сложена песками и суглинками, что и привело к такому четкому разделению кривых. Нужно отметить, что кривые η_k от частоты так четко не разделялись.

При профилировании (ЭП-ВП) добавление к графикам η_k и ρ_k еще и нормированной поляризуемости Mn помогает лучше понять структуру изучаемого разреза. На рис. 6 показаны графики ЭП-ВП и рельефа, сверху схематически изображен геологический разрез, определенный с помощью электротомографии. В разрезе сверху вниз залегают слои песка, моренных суглинков, еще одного прослоя песка и суглинков основания разреза. Реальный разрез отличался от идеализированной схемы наличием тонкого слоя осыпи на склоне, маскирующего реальные выходы границ слоев. ЭП-ВП выполнялось установкой Шлюмберже с $AB=5$ м, $MN=1$ и шагом 1 м с аппаратурой Астра-МЭРИ на частоте 2.44 Гц. Измеритель МЭРИ показывал дифференциально-фазовый параметр (ДФП) для 1-й и 3-й гармоник сигнала, амплитуды 1-й и 3-й гармоник также регистрировались. По ДФП вычислялась поляризуемость $\eta_k = -2.5 \cdot \text{ДФП}$, а по амплитудам 1-й и 3-й гармоник вычислялись процентный частотный эффект (PFE) и логарифмический частотный

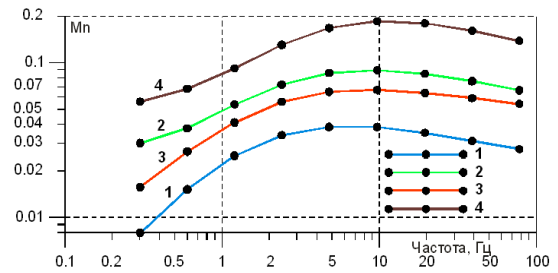


Рис. 4. Графики $Mn=\eta/\rho$ от частоты для образцов (Шевнин и др., 2014)

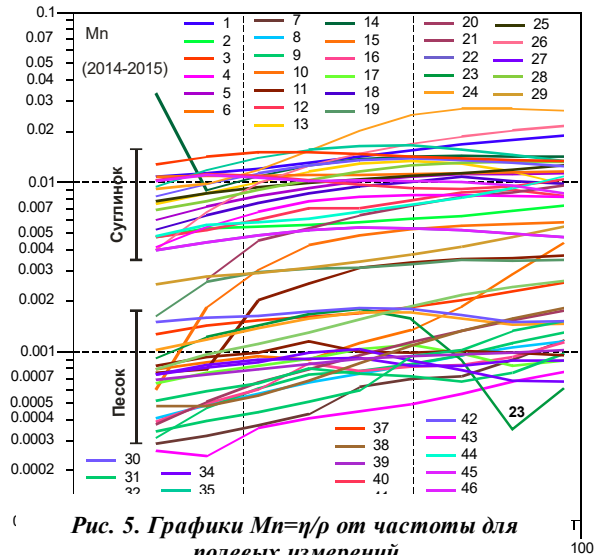


Рис. 5. Графики $Mn=\eta/\rho$ от частоты для полевых измерений

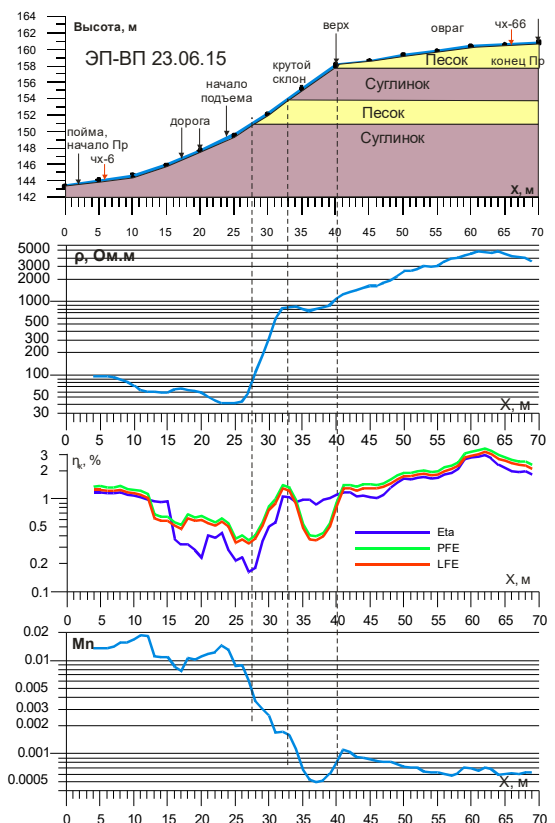


Рис. 6. Графики ЭП-ВП

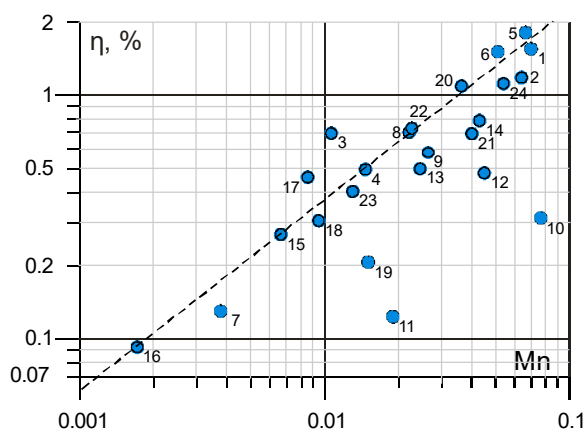


Рис. 7. Корреляция значений η ВП и Mn для образцов

эффект (LFE). По амплитуде 1-й гармоники и силе тока рассчитывалась величина ρ_k . Графики ЭП-ВП сглаживались в скользящем окне шириной 5 точек.

Сопоставляя графики ЭП-ВП с рельефом и схематическим геологическим разрезом можно видеть реакцию каждого параметра на переход через геологические границы. Выход нижнего слоя песков на склон дает резкий рост сопротивления, максимум поляризуемости, уменьшение Mn (Пк 27-33). Слой суглинков между двумя слоями песков (Пк33-40)

проявляется минимумом поляризуемости и Mn. Выход профиля на верхний слой песков при увеличении его мощности приводит к слабому росту сопротивления и поляризуемости при стабильном уровне Mn.

На территории учебной практики были собраны образцы грунта (с поверхности и из скважин) для измерений в лаборатории УЭС грунта при разной солености, расчете поляризуемости и Mn от частоты. Графики УЭС от солености количественно интерпретировались для оценки глинистости образцов. На рис. 7 показана корреляция поляризуемости и Mn образцов. С ростом Mn возрастала и поляризуемость. Эта зависимость несколько отличалась для образцов пород в лаборатории при полном водонасыщении и для измерений в поле, где породы находились в зоне аэрации и влажность пород заметно менялась, сильнее для песков, слабее для суглинков (См. рис.9).

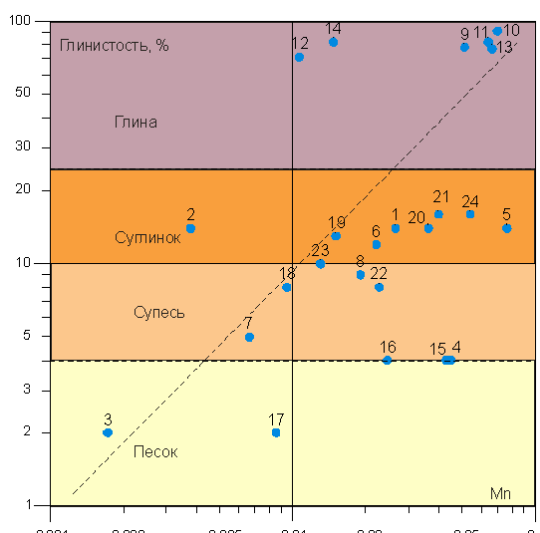


Рис. 8. Корреляция значений глинистости и Mn для образцов

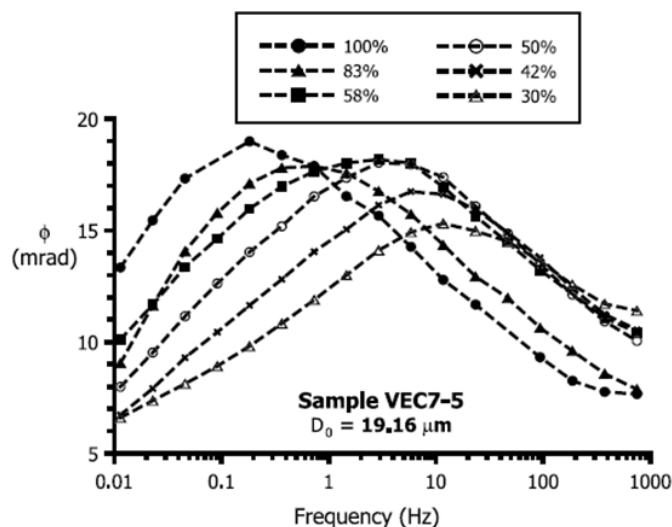


Рис. 9. Фазово-частотные характеристики для грунта с разной влажностью (по Vinley et al., 2005)

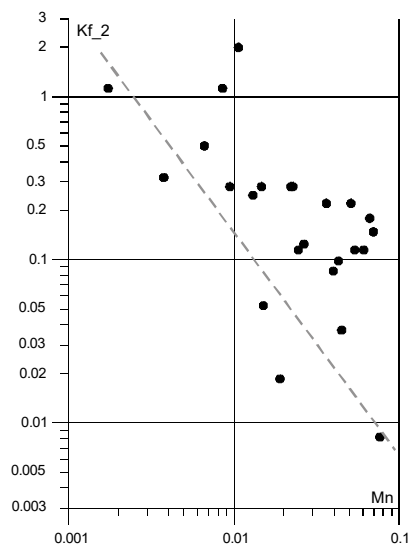


Рис. 10. Корреляция Kf и Mn

На рис. 8 представлена аналогичная корреляция глинистости и Mn для образцов, также

показывающая рост Mn с ростом глинистости образцов. Естественно, что с ростом глинистости убывало УЭС образцов, что влияло на их Mn . При изменении влажности (коэффициента водонасыщения) от 100 до 30% ВП менялось от 1.3 до 2 раз. Гидравлическая проводимость (K_f) с ростом Mn убывает (Рис.10).

Выводы

Величины поверхностной проводимости, рассчитанные из данных ВП и из данных метода сопротивлений, совпадают.

Нормированная поляризуемость Mn по нашим данным равна поверхностной проводимости.

Уровень графиков Mn от частоты отражают глинистость грунта.

Графики профилирования ЭП-ВП ρ_k , η_k и Mn изучаемые совместно позволяют лучше понять строение разреза и его литологию.

Литература

1. Матвеев В.С., Рыжов А.А. Геофизическое обеспечение региональных гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и геоэкологических исследований. 2006, Разведка и охрана недр, 2006, N 2, с.50-57.
2. Модин И.Н. Шевнин В.А. Обработка данных ВП для выделения и оценки перспектив слабых аномалий поляризуемости. Прикладная геофизика, 1985, вып.113, с.33-42.
3. Рыжов А.А., Шевнин В.А., Квон Д.А. Петрофизический подход к данным малоглубинной электроразведки, с. 26-30. Международная науч.-практ. конф. и выст. ЕАГО "Инженерная, угольная и рудная геофизика - 2015". Сочи, 28.09-02.10.2015
4. Шарапанов Н.Н., Черняк Г.Я., Барон В.А. Методика геофизических исследований при гидрогеологических съемках с целью мелиорации земель. М., Недра, 1974, 178 стр.
5. Шевнин В.А. Бобачев А.А., Баранчук К.И. Лабораторные измерения сопротивления и параметров вызванной поляризации рыхлых грунтов для определения литологического строения разреза. Инженерные изыскания, 2014, 9-10, с.53-58.
6. Binley A., Slater L.D., Fukes M., and Cassiani G., 2005. Relationship between spectral induced polarization and hydraulic properties of saturated and unsaturated sandstone. Water resources research, Vol. 41, W12417.
7. Clavier C., Coates G., Dumanoir J., 1984. Theoretical and Experimental Bases for the Dual-Water Model for Interpretation of Shaly Sands. Journal SPE, April 1984, p.153-168.
8. Shevnin V., Delgado-Rodríguez O., Mousatov A., Ryjov A., 2006. Estimation of soil superficial conductivity in a zone of mature oil contamination using DC resistivity. SAGEEP-2006, Seattle. P.1514-1523.
9. Vinegar and Waxman, 1984. Induced polarization of shaly sands: Geophysics, 49, 1267–1287.
10. Weller A., Slater L., Nordsiek S. On the relationship between induced polarization and surface conductivity: Implications for petrophysical interpretation of electrical measurements. Geophysics, Vol. 78, No. 5 (September-October 2013); P. D315–D325.