

**Кузнецов Е. М.**

**геофизик**

**ООО «СИГМА-ГЕО»**

**Россия, г. Иркутск**

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД И МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ**

*Аннотация: Представлены результаты лабораторных измерений электрических свойств горных пород и эталонных образцов в диапазоне 0,01–45000 Гц. Установлено влияние углеводородного загрязнения, анизотропии и содержания никеля на удельное электрическое сопротивление и фазовый сдвиг. Проведена калибровка установки. Предложены методические рекомендации по повышению воспроизводимости измерений.*

*Ключевые слова: петрофизика, удельное электрическое сопротивление, анизотропия, углеводородное загрязнение, импедансная спектроскопия.*

**Kuznetsov E. M.**

**geophysicist**

**LLC «SIGMA-GEO»**

**Russia, Irkutsk**

## **LABORATORY STUDIES OF ELECTRICAL PROPERTIES OF ROCKS AND MODEL SAMPLES**

*Abstract: The results of laboratory measurements of electrical properties of rocks and reference samples in the range of 0.01–45000 Hz are presented. The influence of hydrocarbon contamination, anisotropy and nickel content on electrical resistivity and phase shift has been established. The setup was calibrated. Methodological recommendations for improving measurement reproducibility are proposed.*

*Keywords: petrophysics, electrical resistivity, anisotropy, hydrocarbon contamination, impedance spectroscopy.*

**Введение.** Электрические свойства горных пород являются ключевыми параметрами, определяющими физическую природу геологических объектов [1, 2]. Их исследование имеет значение для нефтегазовой геофизики, мониторинга техногенного загрязнения и инженерных изысканий. Цель работы — исследовать влияние различных факторов (углеводороды, структура породы, содержание металлических включений) на удельное электрическое сопротивление (УЭС) и фазовый сдвиг, а также оценить точность измерений.

**Материалы и методы.** Измерительная установка (рис. 1) включала генератор Rigol DG1032Z, 18-битный АЦП MARS 2.0 и ПО SSG Frequency Lab. Измерения проводились в трёх направлениях (x, y, z). УЭС рассчитывалось по формуле  $\rho = (V_{\text{gen}} - V_{\text{res}}) \times R_{\text{res}} \times S / (V_{\text{res}} \times l)$ , фазовый сдвиг —  $\Delta\varphi = \varphi_{\text{gen}} - \varphi_{\text{res}}$ . Калибровка выполнена на резисторах (100,4 Ом) и RC-цепях ( $R=100$  Ом,  $C=0,1$  мкФ). Исследованы природные образцы (метасоматит, штокверк с пиритом, алевролит), керамические эталоны и никелированные образцы (Ni 0–9,5%).

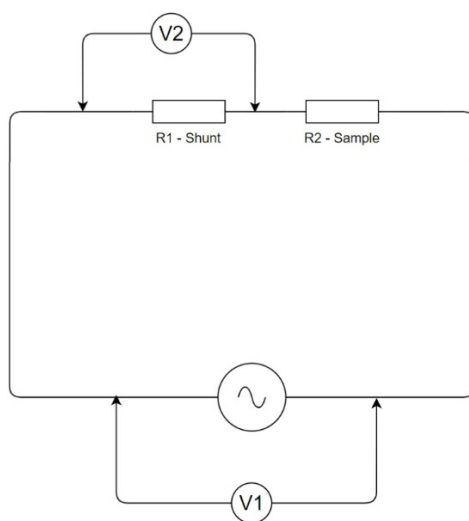


Рис. 1. Схема измерительной установки

**Результаты и обсуждения.** Калибровка на резисторе (рис. 2) показала отклонение УЭС +1,1%, среднеквадратичное отклонение 0,062%, фазовый сдвиг не превышал 1,042°. RC-цепь зафиксировала фазовый сдвиг

до  $-81,3^\circ$  на 10 Гц (отклонение от теории  $2-3^\circ$ ), что подтверждает корректную работу установки.

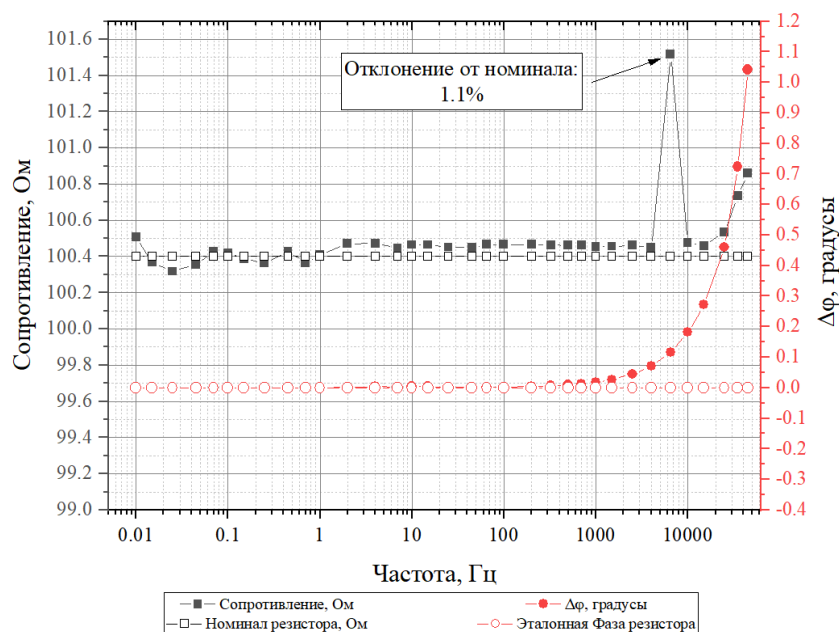


Рис. 2. Измерения резистора с номиналом 100.4 Ом

На образце штокверка (№22) выявлено разделение кривых УЭС на две группы: 110–120 Ом и 10–100 Ом (рис. 3), обусловленное пиритовыми прожилками (рис. 4). Контактные измерения выделили 5 групп жил (200–4000 Ом). Измерения выявили выраженную анизотропию: коэффициент  $\lambda$  варьировал в зависимости от частоты и ориентации.

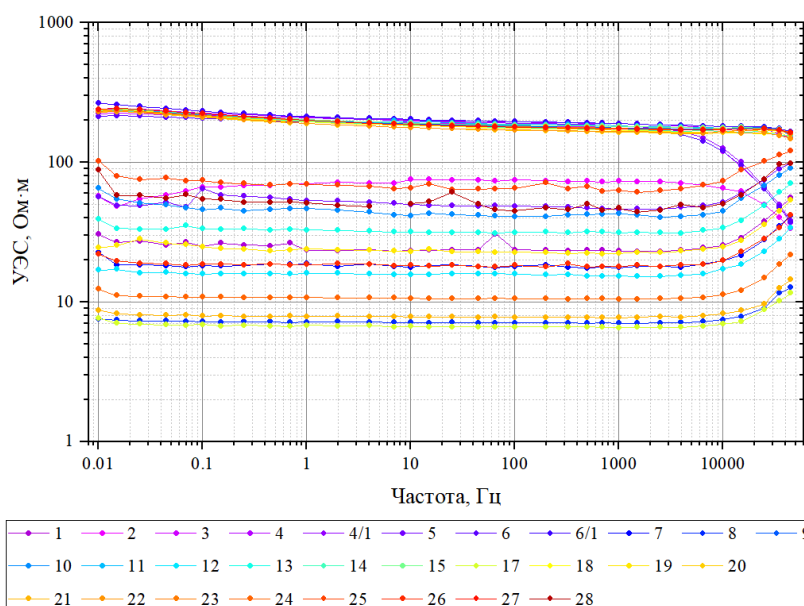


Рис. 3. Удельное сопротивление образца №22 от частоты

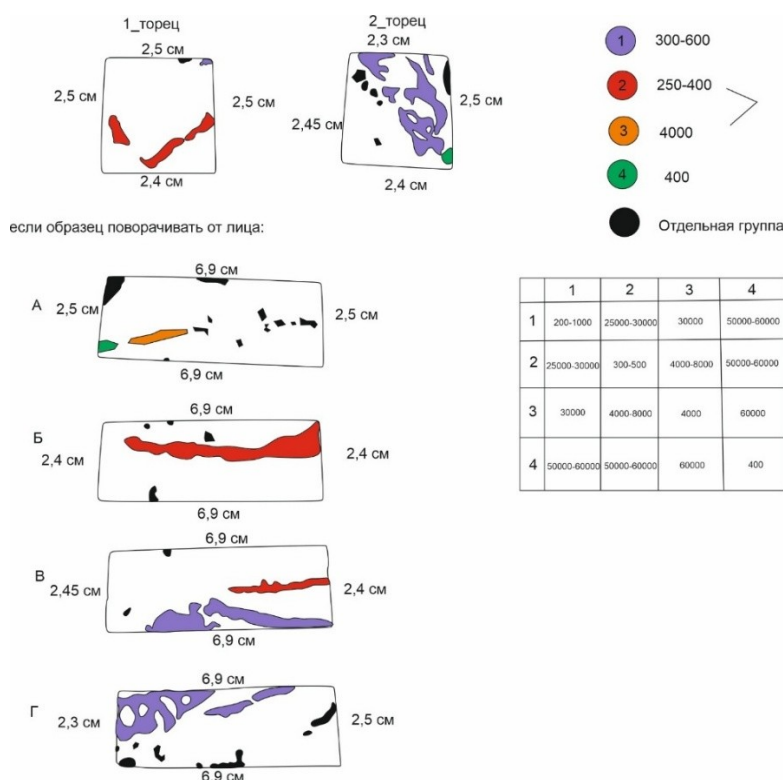


Рис. 4. Жилы на образце №22

Керамические эталоны (L, M, S) показали УЭС от 15 до 2 кОм фазу от  $-10$  до  $-35^\circ$  с минимумом на 30–60 Гц (рис. 5). Покрытие лаком увеличило время высыхания с 7–8 до 15–20 часов и сместило минимумы УЭС с 1500 до 2500 Гц.

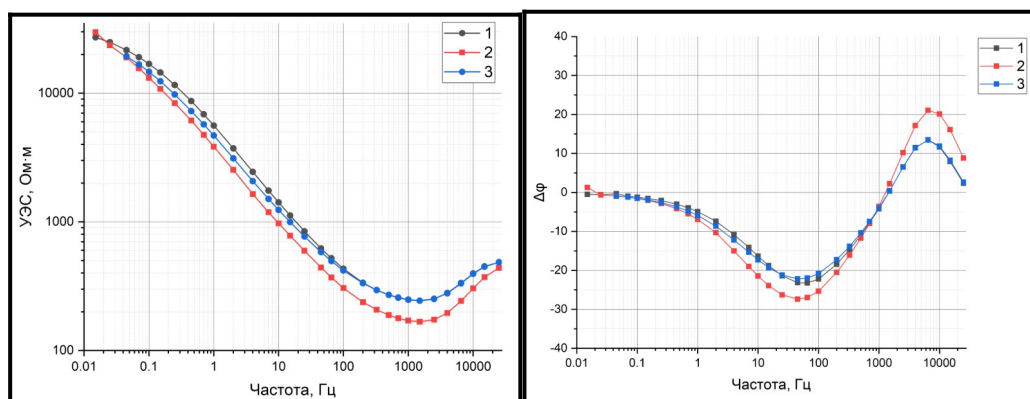


Рис. 5. УЭС и фазы тестового керамического образца

На никелированных образцах при концентрации  $Ni > 6,8\%$  форма кривых УЭС изменяется нелинейно (рис. 6): сопротивление на низких частотах возрастает, на высоких — убывает. РФА-анализ подтвердил содержание Ni до 4%, при больших концентрациях значения завышаются.

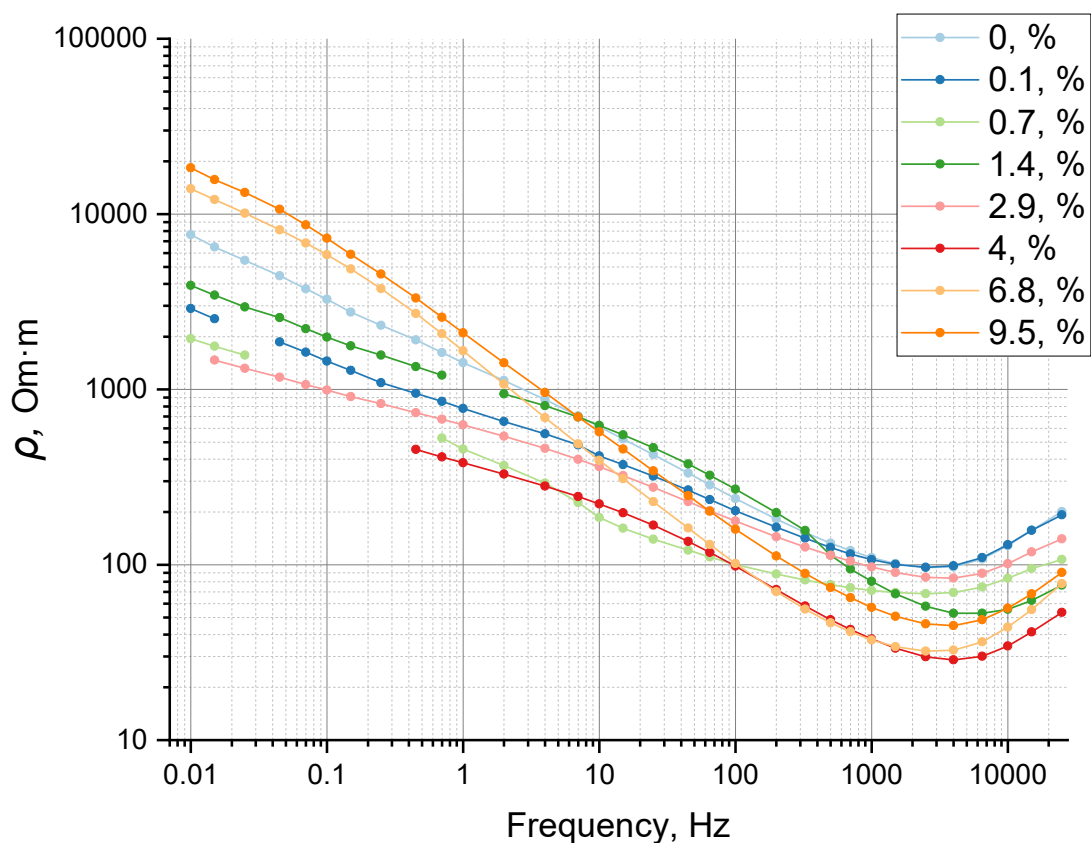


Рис. 6. УЭС керамических образцов L с разным содержанием

Установлено, что при прямом ходе (от низких к высоким частотам) разброс УЭС в области до 1 Гц составляет 20–30%, при обратном — 5–10%, что связано с влагопотерей. Рекомендовано чередовать направления измерения.

**Заключение.** Разработана и апробирована методика измерений электрических свойств горных пород. Установлено дифференцирующее влияние бензина и дизеля на УЭС и фазу. Подтверждена чувствительность метода к анизотропии и проводящим включениям. Предложены пути повышения точности: покрытие образцов лаком (кроме контактов), чередование направлений сканирования, контроль влажности. Результаты могут применяться при полевых геофизических работах для мониторинга загрязнений.

### **Использованные источники:**

1. Masina X., Hallbauer-Zadorozhnaya V., Maré L. Electrophysical parameters of hydrocarbon contaminated sandstone of varied grain size // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 150. – P. 245-255.
2. Bondel A., Schmutz M., Franceschi M., Tichane F., Carles M. Temporal evolution of the geoelectrical response on a hydrocarbon contaminated site // Journal of Applied Geophysics. – 2013. – Vol. 98. – P. 202-211.