

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ МЕТОДОМ СРЕДИННОГО ГРАДИЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Бакумцев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 26 января 2017 г.

Аннотация: рассмотрены результаты физического моделирования электроразведки методом срединного градиента с двумя перпендикулярными питающимися линиями. Изучена эффективность предлагаемого метода при поисках высокоомных линейно вытянутых археологических объектов с различным направлением питающих линий. Для повышения качества интерпретации электроразведочных данных в решении задач археологических исследований предлагается рассчитывать среднее арифметическое ортогональных измерений кажущегося удельного электрического сопротивления.

Ключевые слова: археология, электроразведка, физическое моделирование, срединный градиент, кажущееся удельное электрическое сопротивление.

OPTIMIZATION OF TECHNIQUE OF ELECTRICAL PROSPECTING BY THE METHOD OF MEDIAN GRADIENT IN THE STUDY OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS

Abstract: the results of physical modeling of electrical prospecting by the method of median gradient of two perpendicular feeding lines. Studied the effectiveness of the proposed method for searching high-resistance linearly elongated archaeological objects with different direction of power lines. To improve the quality of the interpretation of electrical prospecting data in solving problems of archaeological research is proposed to calculate the arithmetic mean of the orthogonal measurements of apparent resistivity.

Keywords: archeology, electric prospecting, physical modeling, the median gradient, the apparent electrical resistivity.

Проведение археологических раскопок сложный процесс, требующий исходной информации. Геофизические методы исследования позволяют получить такую информацию, не разрушая остатки древних архитектурных конструкций. Одним из основных методов археологической геофизики является электроразведка в различных её модификациях.

В электроразведке на низкочастотном переменном токе, для изучения трехмерных неоднородных объектов, используется аналитические и физические методы моделирования полей. В настоящее время широко распространено математическое моделирование, но при изучении сильноконтрастных по сопротивлению сред, математическое моделирование еще не может полностью заменить физическое моделирование. Задачи такого рода модельных построений особенно актуальны в археологической геофизике, где надёжность обнаружения объектов на относительно малой глубине связана со сложностью строения изучаемой среды.

Для проведения физического моделирования задач археологической электроразведки была создана уста-

новка, которая позволяет изучать сложные трёхмерные объекты, располагающиеся в однородной среде. Установка состоит из двух неподвижных частей. Внешняя часть представляет собой оргстекло, толщиной 2 см, с квадратной в плане сетью отверстий через 2 см (всего 40 на 40 отверстий). В каждом отверстии расположены питающие латунные электроды диаметром 1,5 мм. Оргстекло крепится к баку размером 1,0 на 1,0 на 0,8 м. В центральной части сквозь два листа стеклотекстолита толщиной 3 мм вставлены измерительные электроды из латуни диаметром 1,5 мм, по квадратной в плане сети с шагом 1 см (всего 33 на 33 отверстия с электродами). Вся конструкция с измерительными электродами жёстко прикреплена снизу к оргстеклу. Вся система электродов связана проводниками с дублирующим планшетом, находящимся на рабочем столе наблюдателя. Именно на этом планшете и выполняется выбор положения системы питающих и измерительных электродов, что позволяет не затрагивать положение электродов в рабочей баке с плохо проводящей жидкостью.

Для измерений была выбрана методика электро-разведки в варианте срединного градиента (СГ) с двумя ортогональными питающими линиями (рис. 1). Этот метод достаточно информативен по изучению геоэлектрического разреза, имеет относительно высо-

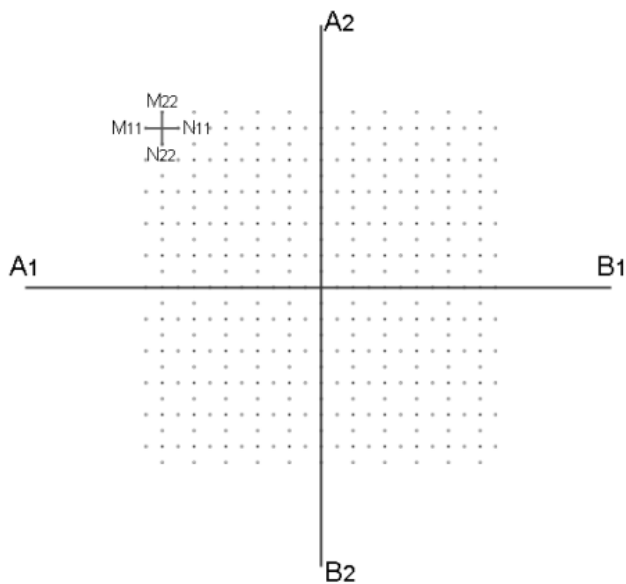


Рис. 1. Схема исследований методом СГ: линии от А к В – направление питающих линий, от М к N – измерительные линии, А и В – положение питающих электродов, М и N – положение измерительных электродов.

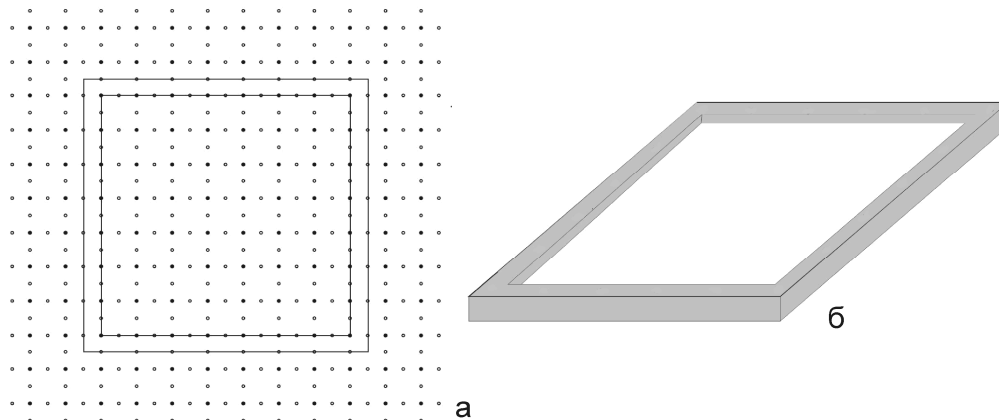


Рис. 2. Модель объекта из органического стекла: а – плановое положение модели и измерительных электродов, б – объемное изображение модели.

Модель объекта представляет комбинацию четырёх линейно вытянутых тел, чувствительных к перпендикулярному распространению тока. Основной задачей являлось изучение эффективности выделения данного объекта при различных положениях питающих электродов.

По результатам эксперимента были построены карты распределения кажущегося удельного электрического сопротивления при трёх положениях питающей линии – 0, 90 и 135 градусов (рис. 3-5), относительно принятого положения объекта. Как явствует из рисунков 3 и 4, аномалии сопротивления четко прослеживаются только от тех граней объектов, которые располо-

жены ортогонально простирания питающей линии. Более слабо выделяются грани, располагающиеся вдоль направления питающей линии.

Часто заранее не известно простирание искомого объекта и питающая линия может оказаться под любым углом к нему. Этот факт необходимо учитывать при интерпретации материалов электро-разведки. На рисунке 5 показана аномалия кажущегося удельного электрического сопротивления при азимуте простирания питающей линии равном 135 градусов. При этом полученные аномалии сопротивлений смещаются в сторону расположения питающих электродов АВ.

кую производительность и рекомендован как один из методов оптимального геофизического комплекса при изучении археологических объектов [1]. С целью решения задач археологии, были приняты следующие параметры системы измерений на модели: пара измерительных электродов (MN) располагаются на фиксированном расстоянии 2 см друг от друга и перемещаются по наблюдательной сети с шагом 2 см. Размеры ортогональных питающих линий (AB) составляют 80 см. Измерения разности потенциалов проводились с использованием комплекта аппаратуры АЭИ-2 и генератора ВП-60 [2]. Целью исследования являлось изучение высоко-омного анизотропного объекта (например, фундамента некоторого сооружения или захоронения) в проводящей среде низкого сопротивления, например, песчано-глинистых или моренных отложениях, которые являются достаточно типичными для условий Воронежского региона [3]. В качестве модели изучаемого археологического объекта использовалась рамка из оргстекла (рис. 2а, 2б), размером 16 на 16 см и высотой 2 см. Толщина стенок рамки в плане составляет 2 см. Для примерного соответствия нашей модели реальным археологическим объектам, глубина залегания верхней кромки непроводящей рамки была взята 2 см и не изменялась в экспериментах. Вмещающая среда в баке - водопроводная вода.

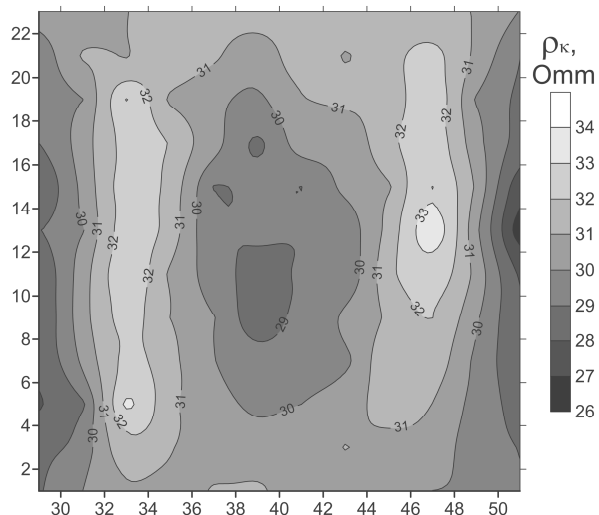


Рис. 3. Карта аномалий кажущегося удельного электрического сопротивления при азимуте питающей линии АВ 0 градусов.

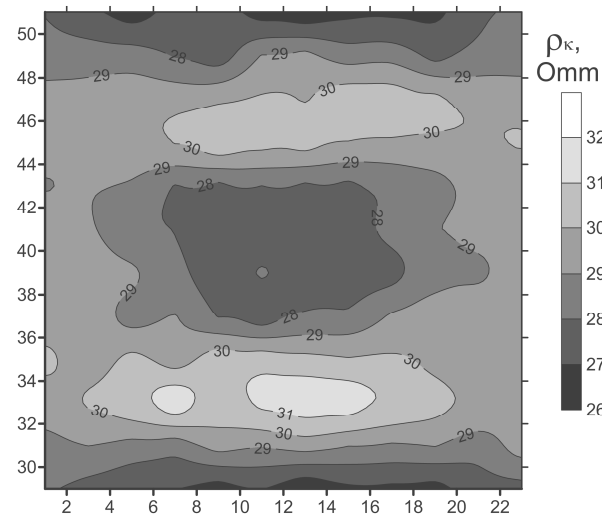


Рис. 4. Карта аномалий кажущегося удельного электрического сопротивления при азимуте питающей линии АВ 90 градусов.

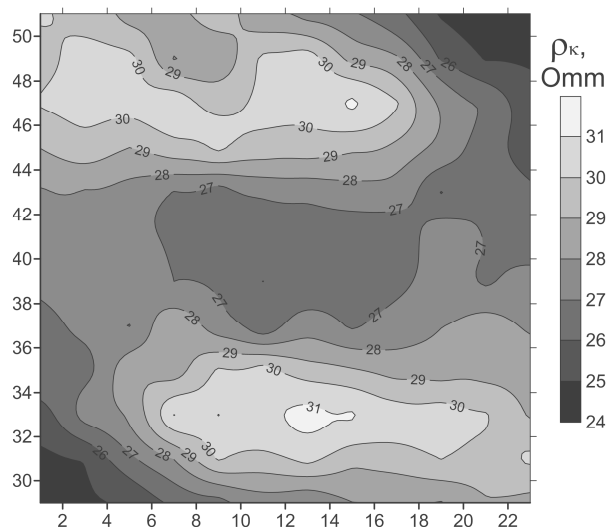


Рис. 5. Карта аномалий кажущегося удельного электрического сопротивления при азимуте питающей линии АВ 135 градусов.

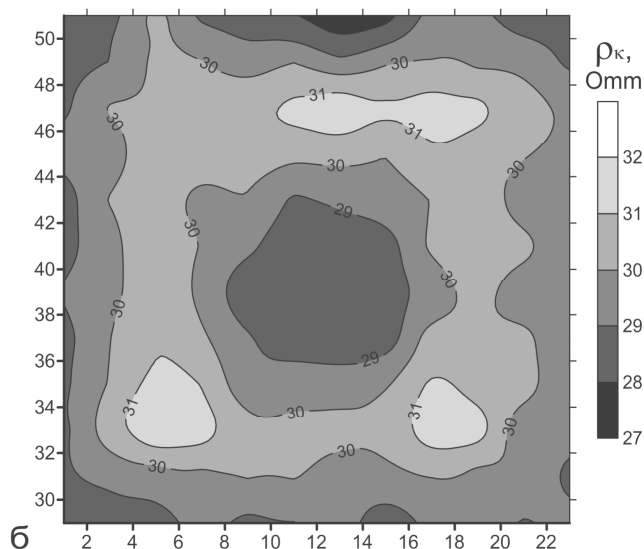
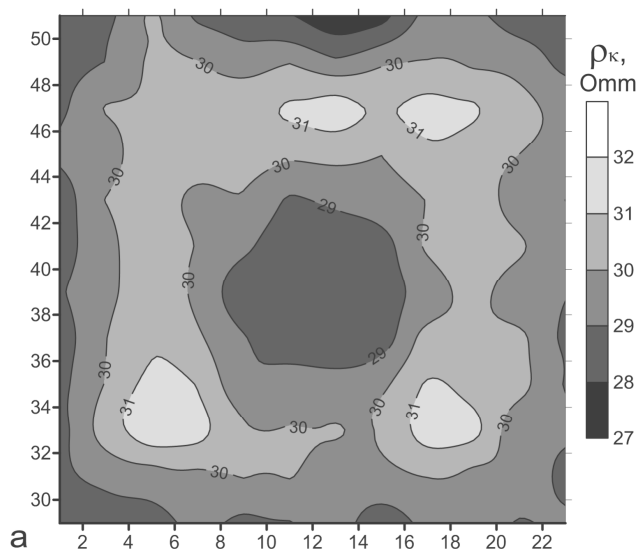


Рис. 6. Карты аномалий кажущегося удельного электрического сопротивления, полученные при расчете: а – среднего геометрического двух взаимно перпендикулярных измерений, б – среднего арифметического двух взаимно перпендикулярных измерений.

Из вышесказанного следует, что высокоомное линейно вытянутое неглубоко залегающее тело наиболее чувствительно к перпендикулярному распространению тока и будет зависеть от направления питающей линии АВ. Чтобы избавиться от этой зависимости нужно использовать карты кажущегося удельного электрического сопротивления, полученные при осреднении данных двух ортогональных измерений. С этой целью были вычислены среднее геометрическое (выражение 1) и среднее арифметическое (выражение 2) для каждой точки измерений сопротивлений, полученные на двух азимутах АВ, соответственно 0 и 90 градусов.

$$\rho_{геом} = \sqrt{\rho_{xx}\rho_{yy}}, \quad (1)$$

$$\rho_{ариф} = (\rho_{xx} + \rho_{yy}) / 2, \quad (2)$$

где ρ_{xx} - значения кажущегося удельного электрического сопротивления, полученное при азимуте измерительной и питающей линиях 0 градусов; ρ_{yy} - значения кажущегося удельного электрического сопротивления, полученное при азимуте измерительной и питающей линиях 90 градусов; $\rho_{геом}$ - значения кажущегося удельного электрического сопротивления, полученные при расчете среднего геометрического двух взаимно перпендикулярных измерений; $\rho_{ариф}$ - значения кажущегося удельного электрического сопротивления, полученные при расчете среднего арифметического двух взаимно перпендикулярных измерений.

По вычисленным данным построены итоговые карты кажущегося удельного электрического сопротивления (рис. 6), различающиеся принципом усреднения данных измерений по ортогональным направлениям питающей линии. Вид аномалий сопротивле-

ния на этих картах незначительно различается, но общие черты планового положения объекта исследований (нашей высокоомной модели) выделяются достаточно четко.

Таким образом, в качестве методических рекомендаций по применению низкочастотных электроразведочных методов для решения сложных задач археологической геофизики, можно рекомендовать ортогональную систему расположения питающих электродов с одновременным измерением сопротивлений по ортогональным направлениям. Отметим, что изучение подобного объекта с помощью математического моделирования проводилось на кафедре геофизики МГУ [4], где были получены результаты близкие к нашим.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Модин, И. Н.* Электроразведка в технической и археологической геофизике: автореф. дис... докт. техн. наук / И. Н. Модин. – М.: Изд-во МГУ. – 2010. – 49 с.
2. *Бытенский, Л. И.* Аппаратурный комплекс импульсной электроразведки АИЭ-2 / Л. И. Бытенский, В. В. Пищик, А. В. Тарасов, В. А. Тарасов // Приборы и системы разведочной геофизики, 2006. – № 1. – С. 41–43.
3. *Глазнев, В. Н.* Геофизические методы при археологических исследованиях в условиях городской агломерации / В. Н. Глазнев, В. Н. Ковалевский, А. А. Аузин [и др.] // Материалы 39-ой сессии международного семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2012. – С. 77-80.
4. *Павлова, А. М.* Электроразведка в археологии: выделение аномалий с использованием пространственных инвариантов тензора кажущегося сопротивления / А. М. Павлова // Электронное научное издание Георазрез, 2009. – №4. [Электронный ресурс]. URL: http://www.georazrez.ru/download/2009/04/Pavlova-Elektrozrazvedka_v_arkheologii.pdf. (Дата обращения 15.06.2016).

Воронежский государственный университет

Бакумцев Артём Анатольевич, ассистент кафедры геофизики

E-mail: abakumtsev@gmail.com

Тел: 8-920-219-39-12

Voronezh State University

Bakumtsev A. A., Assistant of Geophysical Department

E-mail: abakumtsev@gmail.com

Tel: 8-920-219-39-12