

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ В МЕТОДЕ ПРОФИЛИРОВАНИЯ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ В ЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

© 2025 П.Н. Александров¹, В.Н. Кризский²

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия; alexandr@gemrc.ru

²Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия; krizskiy_vn@pers.spmi.ru

Поступила в редакцию 21.09.2024; после доработки 20.12.2024; принята в печать 25.03.2025

Методы профилирования применяются для исследования физических свойств геологической среды в горизонтальном направлении, как правило, больших по протяженности или по площади геологических объектов, когда измерительная установка перемещается по заданной траектории (профилю) посредством какого-либо носителя. Особенностью метода профилирования является фиксирование расстояния, в основном, между источниками и приемниками при перемещении всей установки вдоль профиля. Определение физических свойств геологического объекта базируется на решении обратной коэффициентной задачи математической физики. В работе предложен новый подход к решению обратных коэффициентных задач по данным, измеренным установками профилирования в методе электроразведки постоянным током, и основанный на линейных объемных интегральных уравнениях. Рассмотрены примеры численной реализации решения обратной задачи профилирования в трехмерно-неоднородных анизотропных моделях геологической среды.

Ключевые слова: электропрофилирование, анизотропные среды, обратная задача, объемные интегральные уравнения.

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача геофизических исследований — определение границ и значений физических параметров геологических объектов земной коры. При геофизических исследованиях широко применяются методы профилирования, когда расстояние между источниками и приемниками является фиксированным, и они перемещаются по некоторой заданной траектории (профилю). Описываемый в настоящей работе подход распространяется на обратные задачи для некоторых стационарных потенциальных полей, используемых в геофизических исследованиях. К стационарным задачам, потенциальные поля которых описываются уравнениями эллиптического типа

$$\operatorname{div}(\kappa(x, y, z) \cdot \nabla F(x, y, z)) = f(x, y, z), \quad (1)$$

относятся, в частности:

1) задача электроразведки постоянным током с учетом анизотропии удельной электропровод-

ности (закон Ома), $\kappa(x, y, z) = \sigma(x, y, z) = \sigma^T(x, y, z)$, где

$$\sigma(x, y, z) = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \text{ — симметричный}$$

тензор удельной электропроводности, $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$, $\sigma_{xz} = \sigma_{zx}$, $\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$. Здесь $F(x, y, z) = \varphi(x, y, z)$ — потенциал электрического поля. Функция $f(x, y, z)$ описывает источники электрического тока в среде.

2) поток флюида через пористую среду (закон Дарси) (Басниев и др., 1993),

$$\kappa(x, y, z) = \frac{k(x, y, z)}{\mu},$$

где $k(x, y, z)$ — тензор проницаемости, μ — коэффициент вязкости флюида, $F(x, y, z)$ — потенциал скорости фильтрации.

3) поток тепла (закон Фурье) (Геофизика, 2012), $\kappa(x, y, z) = \lambda(x, y, z)$ — тензор теплопроводности среды, $F(x, y, z)$ — температура.

Для метода электроразведки постоянным током (Электроразведка, 1980), имеющего четырехточечную установку силы I ампер с двумя питающими электродами, расположенными в точках $A(x_A, y_A, z_A)$ и $B(x_B, y_B, z_B)$, с координатами

$$x_B = x_A + h_x, y_B = y_A + h_y, z_B = z_A + h_z,$$

и с двумя измерительными электродами, находящимися в точках $M(x_M, y_M, z_M)$ и $N(x_N, y_N, z_N)$, уравнение поля (1) для измеряемой разности потенциалов $F = \Delta\varphi = \varphi(x_M, y_M, z_M) - \varphi(x_N, y_N, z_N)$ будет иметь вид:

$$\operatorname{div}(\sigma(x, y, z) \cdot \nabla(\Delta\varphi)) = f(x, y, z),$$

где

$$f(x, y, z) = -I \cdot (\delta(x_M - x_A)\delta(y_M - y_A)\delta(z_M - z_A) - \delta(x_M - x_B)\delta(y_M - y_B)\delta(z_M - z_B) - \delta(x_N - x_A)\delta(y_N - y_A)\delta(z_N - z_A) + \delta(x_N - x_B)\delta(y_N - y_B)\delta(z_N - z_B)).$$

В предыдущих работах (Александров, Кризский, 2022; Кризский, Александров, 2023) для задач электроразведки на постоянном токе были рассмотрены алгоритмы решения обратных линейных задач определения анизотропных тензоров физических параметров среды на основе использования объемных интегральных представлений решений прямых задач и обратных задач определения физических параметров изотропной среды на основе использования граничных интегральных уравнений.

Рассмотрим способ решения обратной коэффициентной задачи для случая постоянного электрического поля в методе электропрофилеирования.

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Для большинства физических полей, используемых в геофизике при изучении геологической среды, решение прямой стационарной эллиптической задачи для градиента потенциального поля может быть записано в виде объемного интегрального представления (Морс, Фешбах, 1960):

$$\mathbf{F}(x, y, z) = \iiint_V G(x', y', z', x, y, z) \Delta A(x', y', z') \mathbf{F}(x', y', z') dx' dy' dz' + \mathbf{F}^s(x, y, z) \quad (2)$$

где $\mathbf{F}(x, y, z)$ — вектор градиента поля в точке x, y, z ; $\mathbf{F}^s(x, y, z)$ — вектор первичного поля — решение прямой задачи для вмещающей включения — среды; $G(x', y', z', x, y, z)$ — функция Грина — функция точечного источника единичной интенсивности во вмещающей включение среде; $\Delta A(x, y, z) = A(x, y, z) - A^0$ — матрицы избыточных

значений анизотропной физической величины неоднородностей; A^0 — матрица значений анизотропной-вмещающей среды; (x', y', z') — точки интегрирования — внутренние точки локальных неоднородных включений.

Интегральное представление (2) приводит к решению интегрального уравнения: $(x, y, z) \in V$, $(x', y', z') \in V$

$$\mathbf{F}(x, y, z) - \iiint_V G(x', y', z', x, y, z) \Delta A(x', y', z') \mathbf{F}(x', y', z') dx' dy' dz' = \mathbf{F}^s(x, y, z), \quad (3)$$

определяющего поле $\mathbf{F}(x, y, z)$ взаимного влияния точек локальных неоднородностей.

Отыскав из формул (2)–(3) для анизотропных сред матрицы $\Delta A(x, y, z)$, из равенства $A(x, y, z) = \Delta A(x, y, z) + A^0$, в предположении, что матрица A^0 для вмещающего включения пространства обычно известна, можно найти $A(x, y, z)$ — искомые физические параметры локальных включений среды.

В задаче электропрофилеирования на постоянном электрическом токе объемное интегральное представление (2) для вектора градиента разности электрических потенциалов $\Delta\varphi$ $\mathbf{F} = \operatorname{grad}(\Delta\varphi) = \operatorname{grad}(\varphi(x_M, y_M, z_M) - \varphi(x_N, y_N, z_N))$ в неоднородной анизотропной модели геоэлектрической среды имеет вид:

$$\mathbf{F}(x, y, z) = \iiint_V G(x, y, z, x', y', z') (\sigma(x', y', z') - \sigma_0^T(x', y', z')) \mathbf{F}(x', y', z') dx' dy' dz' + \mathbf{F}^s(x, y, z), \quad (4)$$

где $\sigma = \sigma(x', y', z')$ — зависящий от пространственных координат тензор электропроводности; $\Delta A(x'_j, y'_j, z'_j) = \sigma(x', y', z') - \sigma_0^T(x', y', z')$ — матрица избыточной удельной электропроводности; $\mathbf{F}^s(x, y, z) = \mathbf{F}^s(x, y, z, x_s, y_s, z_s)$ — первичное поле, x_s, y_s, z_s — координаты точки источника; V — область избыточной электропроводности — область включения, V_s — область пространства, занимаемая сторонним электрическим током. Матрица $\sigma_0(x', y', z')$ — матрица удельной электропроводности вмещающей среды, которая может быть определена косвенными методами, например, через среднее кажущееся сопротивление.

Разобьем область V включения на элементарные объемы $\Delta V_j, j = 1, 2, \dots, N_V$ и применим в (3), (4) для вычисления интегралов кубатурные формулы:

$$\begin{aligned} & \iiint_V G(x, y, z, x', y', z') \Delta A(x', y', z') \mathbf{F}(x', y', z') dx' dy' dz' = \\ & = \sum_{j=1}^{N_V} C_j \cdot G(x, y, z, x'_j, y'_j, z'_j) \Delta A(x'_j, y'_j, z'_j) \mathbf{F}(x'_j, y'_j, z'_j) + H = \\ & = \sum_{j=1}^{N_V} C_j \cdot G_j^p \Delta A_j \mathbf{F}_j + H, \end{aligned}$$

где H — остаточные члены кубатурных формул. Считая остаточные члены достаточно малыми величинами, представим равенство (2) в виде:

$$\mathbf{F}^p = G_v^p \Delta A \mathbf{F}_v + \mathbf{F}_p^s, \quad (5)$$

где индексы означают: p — точку наблюдения, s — точку источника, v — точку в неоднородности. Матрица ΔA — квадратная матрица избыточной электропроводности, имеющая квазидиагональный вид:

$$\Delta A = \begin{pmatrix} \Delta\sigma_1 & [0] & \vdots & [0] \\ [0] & \Delta\sigma_2 & \vdots & [0] \\ \dots & \dots & \vdots & \dots \\ [0] & [0] & \vdots & \Delta\sigma_{N_v} \end{pmatrix},$$

где подматрицы

$$\Delta\sigma_j = \begin{pmatrix} \Delta\sigma_{11}^j & \Delta\sigma_{12}^j & \Delta\sigma_{13}^j \\ \Delta\sigma_{21}^j & \Delta\sigma_{22}^j & \Delta\sigma_{23}^j \\ \Delta\sigma_{31}^j & \Delta\sigma_{32}^j & \Delta\sigma_{33}^j \end{pmatrix}$$

есть тензоры избыточной электропроводности j -го элемента объема всей неоднородности V , состоящей из N элементов; \mathbf{F}_p^s — первичное поле от источника в точке наблюдения; \mathbf{F}_v — поле в неоднородности; \mathbf{F}^p — поле в точке наблюдения (как разность потенциалов); G_v^p — передаточная матрица от неоднородности в точку наблюдения.

Найдем поле в неоднородностях, делая точки неоднородностей точками наблюдения поля $\mathbf{F}_v = G_v^v \Delta A \mathbf{F}_v + \mathbf{F}_v^s$, тогда $\mathbf{F}_v = ([1] - G_v^v \Delta A)^{-1} \mathbf{F}_v^s$, где $[1]$ — единичная матрица.

Подставляя последнее равенство в (5), получим

$$\mathbf{F}^p = G_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} \mathbf{F}_v^s + \mathbf{F}_p^s,$$

или

$$\mathbf{F}^p - \mathbf{F}_p^s = G_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} \mathbf{F}_v^s. \quad (6)$$

Здесь разность $\mathbf{F}^p - \mathbf{F}_p^s$ — есть вектор аномального поля в точках наблюдения. Учитывая, что источников может быть много, введем составные матрицы:

$$X = [\mathbf{F}_1^p, \mathbf{F}_2^p, \mathbf{F}_3^p, \dots], \quad Y = [\mathbf{F}_v^s, \mathbf{F}_v^{s_2}, \mathbf{F}_v^{s_3}, \dots], \quad Z = [\mathbf{F}_p^{s_1}, \mathbf{F}_p^{s_2}, \mathbf{F}_p^{s_3}, \dots]$$

и перейдем от векторной системы уравнений к матричной:

$$X = G_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} Y + Z$$

$$\text{или } X - Z = G_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} Y. \quad (7)$$

Таким образом, получено выражение, позволяющее найти решение обратной задачи в общем виде — для произвольной системы наблюдения, которая определяется местоположениями источников и приемников. В случае профилирования данное выражение необходимо адаптировать к системе наблюдения, в которой фиксировано расстояние между источником и приемником (данный вид системы наблюдения будем называть установкой). Для этого, умножая (7) слева и справа на квадратные диагональные матрицы R и S соответствующих размерностей, необходи-

мых для осуществления операций умножения, получим:

$$RXS = RG_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} YS + RZS.$$

Левое умножение на матрицу R (receiver) из всей совокупности данных наблюдений X определяет отбор тех приемников поля, которые будут входить в систему наблюдений для решения обратной задачи. Правое умножение совокупности данных наблюдений X на матрицу S (source) определяет отбор источников поля для решения обратной задачи, входящих в систему наблюдения.

Данный подход (отбор источников и приемников поля посредством умножения на матрицы R и S) позволяет конструктивно сформулировать задачу определения оптимальной системы наблюдения — т.е. такой системы наблюдения (таких матриц R и S , определяющих подмножества источников и приемников поля системы наблюдений), с помощью которой решение поставленной обратной задачи будет иметь наименьшую погрешность в заданном классе моделей с априори известными (или предполагаемыми) значениями физических параметров включений.

Обозначая $R \cdot X = \tilde{X}$, $R \cdot G_v^p = \tilde{G}_v^p$, $R \cdot Z = \tilde{Z}$, получим:

$$\tilde{X}S = \tilde{G}_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} \tilde{Y}S + \tilde{Z}S.$$

Далее, из цепочки преобразований

$$\tilde{X}S - \tilde{Z}S = \tilde{G}_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} \tilde{Y}S,$$

$$\tilde{G}_v^{pT} (\tilde{X}S - \tilde{Z}S) = \tilde{G}_v^{pT} \tilde{G}_v^p (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} \tilde{Y}S,$$

$$(\tilde{G}_v^{pT} \tilde{G}_v^p)^{-1} \tilde{G}_v^{pT} (\tilde{X}S - \tilde{Z}S) = (\Delta A^{-1} - G_v^v)^{-1} \tilde{Y}S,$$

$$(\Delta A^{-1} - G_v^v) (\tilde{G}_v^{pT} \tilde{G}_v^p)^{-1} \tilde{G}_v^{pT} (\tilde{X}S - \tilde{Z}S) = \tilde{Y}S,$$

получим:

$$\Delta A^{-1} (\tilde{G}_v^{pT} \tilde{G}_v^p)^{-1} \tilde{G}_v^{pT} (\tilde{X}S - \tilde{Z}S) = \tilde{Y}S + G_v^v (\tilde{G}_v^{pT} \tilde{G}_v^p)^{-1} \tilde{G}_v^{pT} (\tilde{X}S - \tilde{Z}S)$$

или, в итоге,

$$\Delta A^{-1} \cdot B = D, \quad (8)$$

где

$$B = ((RG_v^p)^T RG_v^p)^{-1} (RG_v^p)^T (RXS - RZS) = \{b_{ij}\},$$

$$D = YS + G_v^v ((RG_v^p)^T RG_v^p)^{-1} (RG_v^p)^T (RXS - RZS) = \{d_{ij}\}.$$

Т.к. последние равенства можно записать в виде:

$$B = ((RG_v^p)^T RG_v^p)^{-1} (RG_v^p)^T R(X - Z) \cdot S, \quad (9)$$

$$D = (Y + G_v^v ((RG_v^p)^T RG_v^p)^{-1} (RG_v^p)^T R(X - Z)) \cdot S,$$

то в (8) на матрицу S можно сократить в некоторых случаях. Для задачи определения оптимальной системы наблюдения сокращение матрицы отбора источников S означает, что задействованы для решения обратной задачи будут все источники поля.

Модель среды и система наблюдения

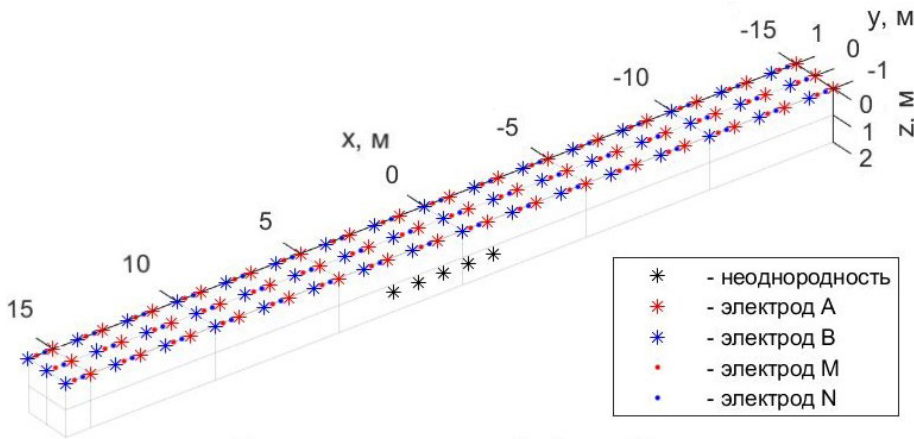


Рис. 1. Модель среды и система наблюдения.

Fig. 1. Environment model and surveillance system.

x-координаты принадлежат множеству {-2; -1; 0; 1; 2}, а грани — параллельны координатным плоскостям. Их тензоры удельных электропроводностей зададим в виде:

$$\sigma_1 = \begin{pmatrix} 0.0115 & -0.0037 & -0.0037 \\ -0.0037 & 0.0141 & -0.0026 \\ -0.0037 & -0.0026 & 0.0141 \end{pmatrix}.$$

Результаты «измерений» разности потенциалов и вычисленные для данной установки кажущиеся сопротивления представлены на рис. 2.

Результаты решения обратной задачи представлены в табл. 1. В столбце 2 показаны тензоры удельных электропроводностей локальных включений $\sigma_k = \Delta A_k + \sigma_0$, $k = \overline{1,5}$, в столбце 3 — относительная погрешность получаемых решений (относительно тензора σ_1). Здесь для вычисления относительной погрешности использована Евклидова норма матриц.

Видно, что тензоры удельной электропроводности определяются с достаточной для практических применений точностью (< 10%). Отметим, что полученные, как решение обратных задач (10), тензоры удельных электропроводностей кубических включений близки к симметричным, но все-таки симметрией не обладают. Для получения «физических» (симметричных) решений требуется подсистемы матричных линейных уравнений в (10) дополнить условиями симметрии для их внедиагональных элементов.

В случае изотропии удельной электропроводности кубических включений (рис. 1), при $\sigma_1 = 0.1667$ См/м, относительная погрешность решения обратной задачи имеет вид (табл. 2). Здесь, в целом, качество решений обратных задач улучшается.

Таким образом, вычислительный эксперимент показывает возможность использования алгоритма решения обратной задачи предложенного подхода для моделирования системы наблюдения, с целью определения с достаточной для практических применений точностью тензоров

Таблица 1. Результаты решения обратной задачи

Table 1. The results of solving the inverse problem

х-координата центра неоднородности, м	Тензор удельной электропроводности σ , См/м	$\frac{\ \sigma - \sigma_1\ }{\ \sigma_1\ } \cdot 100$, %
-2	$\begin{pmatrix} 0.0104 & -0.0013 & -0.0033 \\ -0.0047 & 0.0332 & -0.0044 \\ -0.0048 & 0.0237 & 0.0140 \end{pmatrix}$	1.49
-1	$\begin{pmatrix} 0.0104 & -0.0013 & -0.0033 \\ -0.0047 & 0.0332 & -0.0044 \\ -0.0048 & 0.0237 & 0.0140 \end{pmatrix}$	9.20
0	$\begin{pmatrix} 0.0113 & 0.0000 & -0.0039 \\ -0.0016 & 0.0175 & -0.0010 \\ -0.0037 & -0.0000 & 0.0138 \end{pmatrix}$	1.2
1	$\begin{pmatrix} 0.0112 & 0.0016 & -0.0044 \\ -0.0003 & 0.0325 & 0.0017 \\ -0.0062 & -0.0225 & 0.0114 \end{pmatrix}$	2.21
2	$\begin{pmatrix} 0.0110 & -0.0031 & -0.0019 \\ -0.0038 & 0.0024 & 0.0086 \\ -0.0031 & 0.0200 & 0.0065 \end{pmatrix}$	4.01

Таблица 2. Относительная погрешность решения обратной задачи

Table 2. The relative error of solving the inverse problem

Х-координата центра неоднородности, м	$\frac{\ \sigma - \sigma_1\ }{\ \sigma_1\ } * 100$, %
-2	2.08
-1	0.95
0	2.84
1	2.62
2	1.27

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ В МЕТОДЕ ПРОФИЛИРОВАНИЯ

$y = -1 \text{ м}$

$y = 0 \text{ м}$

$y = 1 \text{ м}$

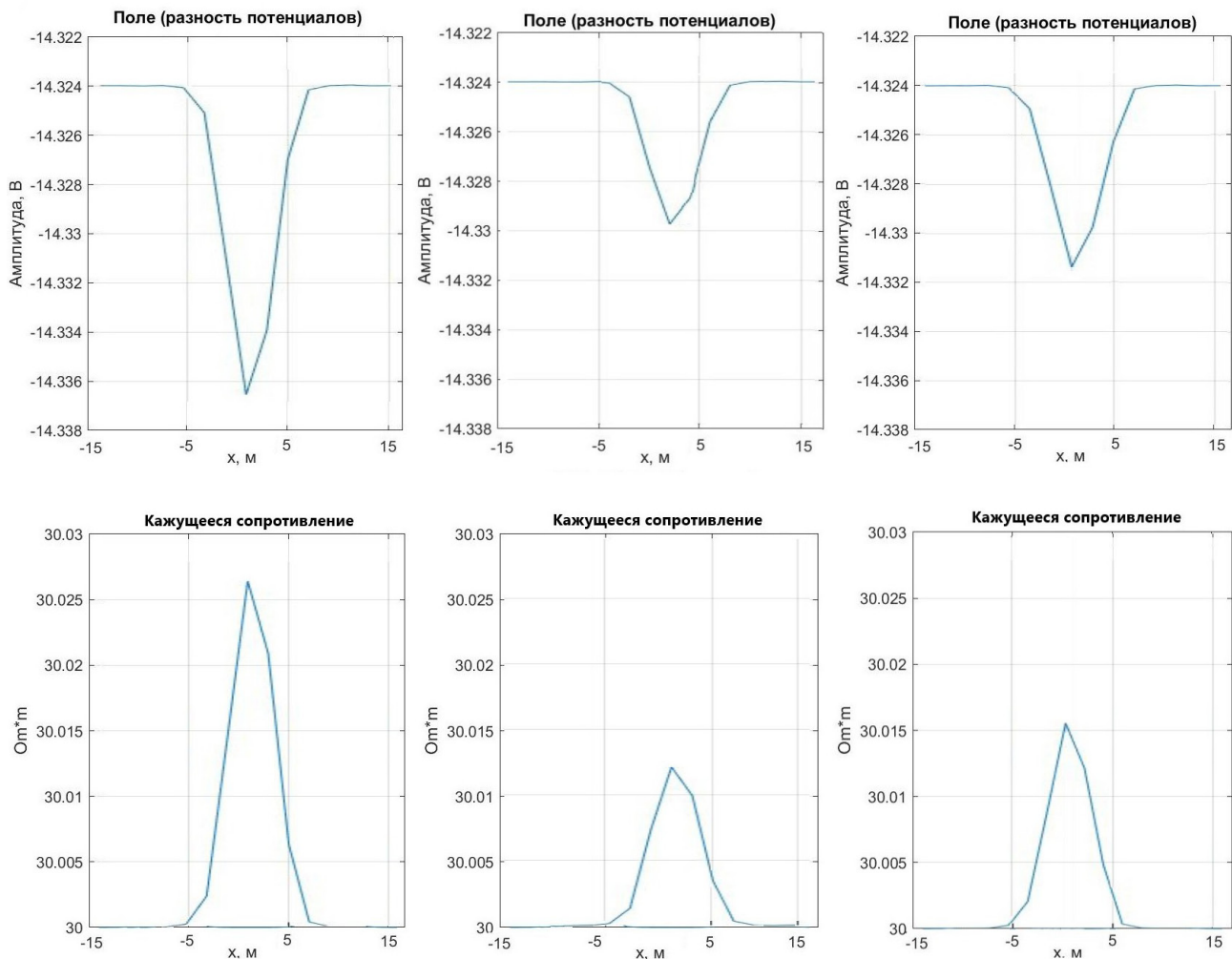


Рис. 2. Разность потенциалов (В) и кажущееся сопротивление вдоль профилей (Ом*м).

Fig. 2. Potential difference (V) and apparent resistance along the profile (Ohm*m).

удельных электропроводностей исследуемых подземных геологических объектов.

ВЫВОДЫ

Получено решение обратной задачи электропрофилирования в новой, линейной постановке. На основе этого разработан алгоритм и создано программное обеспечение для математического моделирования систем наблюдения для изучения, в общем случае, анизотропных трехмерно-неоднородных геоэлектрических объектов. При этом изотропные свойства проводящих сред являются частным случаем.

Проведено обобщение алгоритма решения обратной задачи путем введения матриц R и S , выделяющих подмножества приемников и источников, на основе которых строится система наблюдений. Это конструктивно позволяет сформулировать задачу поиска оптимальной системы наблюдения для решения конкретной геологической задачи.

Список литературы [References]

- Александров П.Н., Кризский В.Н.* Решение линейной коэффициентной обратной задачи геофизики на основе интегральных уравнений // Физика Земли. 2022. Т. 68. № 2. С. 136–143. <https://doi.org/10.31857/S0002333722020016> [*Alexandrov P.N., Krizsky V.N.* Solution of a Linear Coefficient Inverse Problem of Geophysics Based on Integral Equations // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2022. V. 58. № 2. P. 274–280. <https://doi.org/10.1134/S106935132202001X>].
- Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М.* Подземная гидродинамика. М.: Недра, 1993. 416 с. [*Basniev K.S., Kochina I.N., Maksimov V.M.* Podzemnaya gidrodinamika. Moscow: Nedra, 1993. 416 p. (in Russian)].
- Верзбицкий В.М.* Основы численных методов. М.: Высшая школа, 2002. 840 с. [*Verzhbickij V.M.* Osnovy chislennyh metodov. Moscow: Vysshaya shkola, 2002. 840 p. (in Russian)].
- Геофизика: учебник / Под ред. В.К. Хмелевского. 3-е изд. М.: КДУ, 2012. 320 с. [*Geofizika: uchebnik /*

- Pod red. V.K. Hmelevskogo. 3-e izd. Moscow: KDU, 2012. 320 p. (in Russian)].
- Карманов В.Г.* Математическое программирование. М.: Наука, 1986. 288 с. [*Karmanov V.G.* Matematicheskoe programmirovaniye. Moscow: Nauka, 1986. 288 p. (in Russian)].
- Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 832 с. [*Korn G., Korn T.* Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov. Moscow: Nauka, 1984. 832 p. (in Russian)].
- Кризский В.Н., Александров П.Н.* Об определении удельной электропроводности локального включения кусочно-постоянной среды // Физика Земли. 2023. № 6. С. 259–268. <https://doi.org/110.31857/S0002333723060108> [*Krizskii V.N., Alexandrov P.N.* On Determination of the Electrical Conductivity of a Local Inclusion of a Piecewise-Constant Isotropic Medium // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2023. V 59. №6. P. 1056–1065. <https://doi.org/110.1134/S1069351323060101>].
- Морс Ф.М., Фешбах Г.* Методы теоретической физики. Т. 2. М.: Иностранная литература, 1960. 974 с. [*Mors F.M., Feshbakh G.* Metody teoreticheskoy fiziki. T. 2. Moscow: Inostrannaya literatura, 1960. 974 p. (in Russian)].
- Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с. [*Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya.* Metody resheniya nekorrektnykh zadach. Moscow: Nauka, 1986. 288 p. (in Russian)].
- Электроразведка: Справочник геофизика / Под ред. А.Г. Тархова. М.: Недра, 1980. 518 с. [*Elektrorazvedka: Spravochnik geofizika / Pod red. A.G. Tarhova.* Moscow: Nedra, 1980. 518 p. (in Russian)].

SOLVING THE INVERSE PROBLEM IN DIRECT CURRENT PROFILING METHODS IN A LINEAR FORMULATION

P.N. Aleksandrov¹, V.N. Krizsky²

¹*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, alexandr@gemrc.ru*

²*Empress Catherine II St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia, krizskiy_vn@pers.spmi.ru*

Received September 21, 2024; revised December 20, 2024; accepted March 25, 2025

Profiling methods are used to study the physical properties of the geological environment in the horizontal direction, as a rule, of large geological objects in length or area, when the measuring installation moves along a given trajectory (profile) by means of a carrier. A feature of the profiling method is the fixation of the distance, mainly between sources and receivers, when moving the entire installation along the profile. The determination of the physical properties of a geological object is based on solving the inverse coefficient problem of mathematical physics. The paper proposes a new approach to solving inverse coefficient problems based on data measured by profiling installations in the direct current electrical exploration method, and based on linear volumetric integral equations. Examples of numerical implementation of the solution of the inverse profiling problem in three-dimensional inhomogeneous anisotropic models of the geological environment are considered.

Keywords: electrical profiling, anisotropic media, inverse problem, volume integral equations.