

# Обработка данных на основе интерпретации результатов по электромагнитному полю угольного месторождения

<sup>1</sup>\***ШАХАТОВА Алия Талгатовна**, докторант, shakhatovaa@list.ru,

<sup>2</sup>**ОЖИГИН Сергей Георгиевич**, д.т.н., профессор, osg62@mail.ru,

<sup>2</sup>**ОЛЕНЮК Сергей Петрович**, к.т.н., доцент, savml@mail.ru,

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010008, Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2,

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Рассматривается вопрос первичной обработки результатов натурных наблюдений на месторождении Карагандинского угольного бассейна, в которых сопротивления, потенциалы постоянных полей и др. рассчитываются и представляются в виде графиков, таблиц. В процессе дальнейшей геологической интерпретации наблюдаемое поле сравнивается с результатами теоретически рассчитанных моделей геологического разреза, используется информация об электромагнитных свойствах горных пород. Использование электроразведки позволяет удешевить и ускорить геологоразведочные работы за счет сокращения объемов дорогостоящих горно-проходческих и буровых работ. Исходя из этого, непосредственной задачей электроразведки является определение электромагнитного поля по заданным источникам поля и параметрам разреза. Обратной задачей электроразведки является определение геоэлектрического разреза по наблюдаемому электромагнитному полю. Этот процесс называется интерпретацией результатов натурных наблюдений.

**Ключевые слова:** обработка данных, интерпретация радарограмм, методы электроразведки, решение обратной задачи, уравнения Максвелла, метод зондирования, геоэлектрический разрез.

## Введение

При первичной обработке данных полевых наблюдений на месторождении Карагандинского угольного бассейна вычисляются сопротивления, потенциалы постоянных полей и др., представляют их в виде графиков, таблиц. В процессе дальнейшей геологической интерпретации проводится сравнение наблюдаемого поля с результатами теоретически рассчитанных моделей геологического разреза, используются сведения об электромагнитных свойствах пород.

Применение электроразведки позволяет удешевить и ускорить геологические исследования за счет сокращения объема дорогостоящих горно-проходческих и буровых работ.

Исходя из этого прямая задача электроразведки состоит в определении электромагнитного поля по заданным источникам поля и параметрам разреза. Обратная задача электроразведки состоит в определении геоэлектрического разреза по наблюдаемому электромагнитному полю. Этот процесс и называется интерпретацией результатов полевых наблюдений.

Для того чтобы построить конкретный алго-

ритм интерпретации на основе полученных результатов, необходимо с максимальной полнотой формализовать априорные представления о связи поля с объектом и прочими источниками или, что то же самое, назначить, что искать и среди чего искать. Если область поиска никак не ограничена, то интерпретация становится неосуществимой. Совокупность априорных сведений о связи наблюдаемого поля с объектом и прочими источниками, выраженную в виде некоторых математических условий, содержащих неизвестные альтернативы и параметры, условимся называть математической моделью экспериментального материала.

## Объект исследования

Условиями применения электроразведочных методов при решении обратной задачи являются следующие характеристики угольного месторождения:

- заметная контрастность электрических пород, слагающих район работ;
- благоприятные геометрические параметры искомого объектов (форма и элементы залегания,

глубина, размеры)

- относительно малое экранирующее влияние перекрывающих толщ;

- низкий уровень помех.

Удельное электрическое сопротивление слабо зависит от прочности свойств горных пород.

Главной задаче выбора места заложения скважины было наличие ресурсов угольных пластов. В Центральном Казахстане имеются очень большие и практически нетронутые ресурсы угольных месторождений, которые, по оценкам геологов, составляют 2-4 триллиона кубометров. Изучая проведенные ранее работы по добыче угля Карагандинского угольного бассейна научно-исследовательские работы было принято проводить на участке Талдыкудук (рисунок 1).

Данный участок расположен на южном крыле Карагандинской синклинали, где наиболее сильно проявились тангенциальные движения герцинского тектогенеза.

Геологический отвод ТОО «Эдельвейс» расположен в промышленно развитом районе Карагандинского угольного бассейна. Участок предполагаемой разработки пластов К2 и К3 ТОО «Эдельвейс», расположен на поле бывшей шахты № 122 Саранского участка.

В непосредственной близости от геологического отвода проходит асфальтированное шоссе, соединяющее г. Караганду с городами-спутниками: Сарань, Абай, Шахтинск и Шахан. Параллельно шоссе проходит железно-дорожная ветка, связывающая шахты Карагандинского бассейна, обогатительные фабрики со станцией Большая Михайловка железно-дорожной магистрали Петропавловск – Алматы.

Крупные населенные пункты: г. Караганда, г. Сарань, п.г.т. Актас находятся на расстоянии от 5 до 15 км от района работ. Вопросы электро- и водоснабжения могут быть успешно разрешены.

По административному делению геологический отвод расположен в Казыбекбийском районе Карагандинской области.

Рельеф поверхности Саранского участка Карагандинского бассейна морфологически представляет собой всхолмленную равнину. Холмистый рельеф обусловлен развитием юрских пород, а расчленение рельефа на небольшие увалы обусловлено частично литологическими особенностями пород. Караганда – Саранский увал, к которому приурочен участок, имеет крутой северо-западный склон и пологий юго-восточный. Абсолютные отметки поверхности в пределах



Рисунок 1 – Карагандинский каменноугольный карьер – Геологический отвод ТОО «Эдельвейс»

510-575 м. На площади планируемых карьеров отметки колеблются от 540 до 557 м, рельеф слабопологий, спокойный.

В пределах геологического отвода отсутствуют сельскохозяйственные угодья, промышленные здания и сооружения, естественные водоемы. Через площадь отвода в северной его части проходит трасса Жартаасского водовода.

Климат района резко континентальный, среднегодовая температура воздуха +2,5°C. Самый холодный месяц январь, самый жаркий – июль. Продолжительность теплого периода составляет 7 месяцев (210-220 дней), продолжительность морозного периода 156 дней.

Абсолютный минимум температуры составляет (-45°C), абсолютный максимум +40°C. Глубина промерзания почвы достигает 2,0-2,5 м.

Среднегодовое количество осадков в районе составляет около 310 мм. Внутригодовое распределение осадков неравномерно: 45% их приходится на весну, 18% – на осень, 20% – на зиму и 17% – на лето.

Для региона характерны частые ветры: в летнее время – юго-западного направления, в зимнее – северо-восточного. Осадки связаны, как правило, с юго-западными ветрами. Среднегодовая скорость ветра 5,1 м/с, максимальная достигает 30 м/с.

Сильные ветры и большая сухость воздуха вызывают большое испарение до 900 мм в год, превышающее в три раза количество выпадающих осадков.

#### Инженерно-техническая диагностика на основе скажинной и наземной электроразведки Карагандинского угольного бассейна

Методами исследования обнаружения локальных зон угольного массива был выбраны – скважинная и надповерхностная электроразведка. Данная методика осуществится на основе георада-

ра Mala. В последние годы оформилась в качестве самостоятельного научного направления новая отрасль радиотехники – подповерхностная радиолокация (ПРЛ), которая становится важным инструментом при дистанционном зондировании. Интерес к радиолокационному подповерхностному зондированию (ПЗ) и область его применения расширяются. В таблице приведены технические характеристики георадара Mala.

При профилировании существует возможность определения НДС угольного массива и диэлектрической проницаемости покрывающей их среды из-за достаточно широкой диаграммы направленности передающей и приемной антенн. При движении по трассе отдельный локальный объект наблюдается не только в точке непосредственно над ним, но также на некотором удалении в обе стороны, причем величина этого удаления определяется угловой шириной диаграммы направленности антенн. На рисунке 2 показана схема распространения импульсов при профилировании одиночного объекта [1]. Из-за конечной ширины диаграммы направленности объект наблюдается в некоторой зоне от точки залегания.

$$t = 2l \frac{\sqrt{\epsilon}}{c} = \frac{2\sqrt{\epsilon}}{c} \sqrt{h^2 + x^2}. \quad (1)$$

Формула (1) имеет тот же вид, что и формула годографа, поэтому из нее по двум измерениям времени задержки в двух точках можно вычислить глубину залегания объекта и диэлектрическую проницаемость покрывающей среды. Пусть  $t_0$  – время задержки сигнала над объектом,  $t_1$  – время задержки на удалении  $x_1$ , тогда глубина и диэлектрическая проницаемость определяются как

$$h = \sqrt{\frac{t_0^2 x_1^2}{t_1^2 - t_0^2}}, \quad (2)$$

$$\epsilon = \frac{t_0^2 c^2}{4h^2}. \quad (3)$$

В качестве одиночных объектов чаще всего

Техническая характеристика георадара Mala Easy Locator HDR	
Источник питания	Li-Ion батарея 12 В / 8.7 ампер-час
Мощность, потребляемая системой	2.4 А
Время непрерывной работы	14 час (4 блока батарей)
Рабочая температура	от -20° до +50°C
Степень защиты	IP65
Максимальная рабочая скорость	>25 км/час
Максимальная скорость сканирования	>1024 скан/с при 700 выборках
Дисплей	цветной TFT ЖКД, 10.4 дюйма, читаемый при солнечном свете
Размеры с колесами	67x47x19 см (без рукоятки)
Общая масса системы	21.5 кг
Антенна	250 МГц с высоким динамическим диапазоном
Приемник DGPS (SBAS)	встроен, внешние устройства также поддерживаются

выступают трубы и кабель. Но следует помнить, что эти объекты можно считать одиночными и пользоваться формулами (2)-(3) только при перпендикулярном их пересечении профилем. Пересечение под любым другим углом нарушает геометрию задачи (рисунок 2) и приводит к неверным результатам.

В этом методе определения глубины и диэлектрической проницаемости об использовании амплитуды сигнала говорить не приходится, поскольку оценка коэффициента отражения от одиночного объекта сама по себе непростая задача, даже если известна его точная структура.

Итак, из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- самым информативным методом георадарной съемки является зондирование. Для плоскостной среды этот метод позволяет определять все параметры среды: мощность и глубину залегания слоев, их диэлектрическую проницаемость и проводимость.

- метод профилирования не позволяет однозначно определить ни один параметр среды без дополнительных предположений или без привлечения дополнительных данных.

- делая вывод о неоднозначности решения обратной задачи при профилировании, мы рассматривали процесс распространения импульсов в высокочастотной асимптотике, когда отсутствуют дисперсионные искажения их формы. В области низких частот, кроме затухания импульса, будут наблюдаться дисперсионные искажения. Возможно, законы изменения формы импульса удастся использовать в качестве дополнительной информации для решения обратной задачи в области низких частот.

#### Методика математического моделирования для определения отклика

#### сред на глубине залегания зон разуплотнения угольного массива

Как правило, верхние слои над исследуемым объектом состоят из суглинков либо проводящих сред, которые препятствуют георадарному исследованию. В подобных средах электромагнитные волны, отраженные от различных объектов, взаимодействуют между собой, могут усиливаться или уменьшаться. Тем самым мы можем не обнаружить исследуемый объект, находящийся под этими слоями. Одним из способов преодоления этой проблемы является моделирование данных георадара на глубине в сторону залегания неоднородности. С математической точки зрения необходимо решить задачу продолжения электромагнитного поля, то есть найти решение системы уравнений Максвелла с земной поверхности в сторону расположения искомого объекта. Задача продолжения поля является одной из сложных и некорректных задач математической физики, усложненная в этом случае наличием затухания электромагнитного поля в проводящих средах. С точки зрения теории обратных и некорректных задач нам необходимо найти граничное условие на глубине до исследуемого объекта. С практической точки зрения, это нам позволит найти отклик среды (дополнительную информацию) по данным георадара, измеряемых на поверхности.

Вопросы качественного исследования обратных задач для дифференциальных уравнений приведены в [2]. Применение оптимизационных методов для решения коэффициентных обратных задач изложены в [3-4]. Алгоритмы и численные методы решения некорректных задач, используемых для широкого круга задач геофизики и ИКТ, можно найти в [5]. Вопросы, касающиеся научно-технических основ систем ИКТ в георадиолокации, отражены в [6].

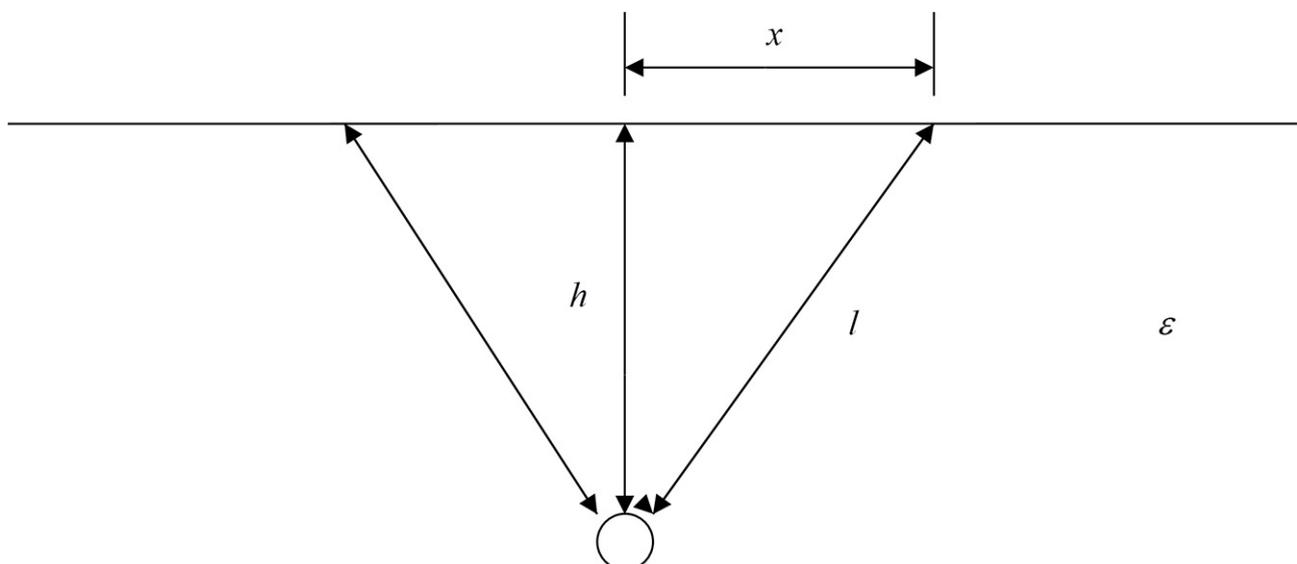


Рисунок 2 – Траектории распространения импульсов при профилировании одиночных объектов

Приведем следующие этапы математического моделирования:

1. Исследования простейшей плоской модели на предмет применимости метода конечных разностей в субнаносекундном диапазоне.

2. Теоретическое исследование цилиндрически слоистой модели и построение алгоритма решения прямой задачи при отсутствии антенны (дельта-образный источник).

3. Исследование, построение алгоритма и проведение расчетов при наличии антенны.

4. Постановка задачи продолжения поля.

5. Построение алгоритма оптимизационного метода решения по восстановлению граничного условия на глубине залегания.

6. Теоретические исследования устойчивости решения обратной задачи.

7. Обработка сигналов от помех и шумов.

На первом этапе рассмотрим плоскую модель с электромагнитными параметрами. Исследование и тестирование алгоритма численного решения прямой задачи, основанного на методе конечных разностей. Сравнительный физический анализ результатов расчетов на соответствие рассчитанного электромагнитного поля основным физическим характеристикам (время прихода возмущения в заданную точку, годограф отражений от границ раздела и т.п.).

На втором этапе будет проведен математический анализ функций, описывающих источник, антенну, условия склейки на границах раздела сред. Для компонент поля в цилиндрической системе координат сформулируем уравнения второго порядка, условия склейки, формулы пересчета для компонент электромагнитного поля.

Разработка конечно-разностного алгоритма определения компонент электромагнитного поля в цилиндрической системе координат. Исследование устойчивости алгоритма, по проверке соответствия результатов математического моделирования физическим представлениям о распространении электромагнитных волн в субнаносекундном диапазоне.

На третьем этапе будут проведены тестовые расчеты по исследованию чувствительности электромагнитного поля по отношению к изменениям параметров вмещающей среды и зоны проникновения.

С четвертого этапа по седьмой методикой исследования этих задач можно воспользоваться по результатам работ [4]-[6], с модификацией алгоритмов для рассматриваемой нами задачи.

Для полноты вышеуказанных рассуждений приведем ниже постановку задачи для уравнения Максвелла в цилиндрической системе координат, с модификацией условий склейки и граничного условия.

Введем цилиндрическую систему координат равенствами  $x_1 = r \cos \varphi$ ,  $x_2 = r \sin \varphi$ ,  $x_3 = z$  и соответствующие компоненты векторов электрической и магнитной напряженности

$$\begin{aligned} E_r &= E_1 \cos \varphi + E_2 \sin \varphi, E_\varphi = -E_1 \sin \varphi + E_2 \cos \varphi, \\ E_z &= E_3, \\ H_r &= H_1 \cos \varphi + H_2 \sin \varphi, H_\varphi = -H_1 \sin \varphi + H_2 \cos \varphi, \\ H_z &= H_3. \end{aligned}$$

При этом

$$\begin{aligned} E_1 &= E_r \cos \varphi - E_\varphi \sin \varphi, E_2 = E_r \sin \varphi + E_\varphi \cos \varphi, E_3 = E_z, \\ H_1 &= H_r \cos \varphi - H_\varphi \sin \varphi, H_2 = H_r \sin \varphi + H_\varphi \cos \varphi, \\ H_3 &= H_z. \end{aligned}$$

Обозначим

$$j_r = j_1 \cos \varphi + j_2 \sin \varphi, j_\varphi = -j_1 \sin \varphi + j_2 \cos \varphi, j_z = j_3.$$

После несложных преобразований в итоге система уравнений Максвелла в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$\begin{aligned} \epsilon \frac{\partial E_r}{\partial t} + \sigma E_r + j_r &= \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_\varphi}{\partial z}, \\ \epsilon \frac{\partial E_\varphi}{\partial t} + \sigma E_\varphi + j_\varphi &= \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r}, \\ \epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \sigma E_z + j_z &= \frac{1}{r} \left( \frac{\partial (r H_\varphi)}{\partial r} - \frac{\partial H_r}{\partial \varphi} \right), \\ -\mu \frac{\partial H_r}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial E_\varphi}{\partial z}, \\ -\mu \frac{\partial H_\varphi}{\partial t} &= \frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r}, \\ -\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{1}{r} \left( \frac{\partial (r E_\varphi)}{\partial r} - \frac{\partial E_r}{\partial \varphi} \right). \end{aligned}$$

Полагаем, что  $H_{t < 0} = 0$ ,  $E_{t < 0} = 0$ .

Если решение системы не зависит от  $\varphi$ , то система распадается на две независимых подсистемы:

$$\begin{aligned} \epsilon \frac{\partial E_r}{\partial t} + \sigma E_r + j_r &= -\frac{\partial H_\varphi}{\partial z}, \\ \epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \sigma E_z + j_z &= \frac{1}{r} \frac{\partial (r H_\varphi)}{\partial r}, \\ -\mu \frac{\partial H_\varphi}{\partial t} &= \frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r}, \\ \epsilon \frac{\partial E_\varphi}{\partial t} + \sigma E_\varphi + j_\varphi &= \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r}, \\ -\mu \frac{\partial H_r}{\partial t} &= -\frac{\partial E_\varphi}{\partial z}, \\ -\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial (r E_\varphi)}{\partial r}. \end{aligned} \tag{4}$$

В дальнейшем полагаем  $j_r = 0$  и рассматриваем только систему (4) в предположении, что в рассматриваемой области параметры среды постоянны. Компонента  $H_\varphi$  удовлетворяет уравнению

$$\begin{aligned} \epsilon \mu \frac{\partial^2 H_\varphi}{\partial t^2} + \sigma \mu \frac{\partial H_\varphi}{\partial t} + \frac{\partial j_z}{\partial r} &= \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial (r H_\varphi)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 H_\varphi}{\partial z^2}, \\ H_\varphi |_{t < 0} &= 0. \end{aligned}$$

Остальные компоненты системы (4) находятся интегрированием по  $t$ . Подходящие для этого формулы имеют вид

$$\begin{aligned} \epsilon \frac{\partial (E_r e^{\sigma_0 t})}{\partial t} &= -e^{\sigma_0 t} \frac{\partial H_\varphi}{\partial z}, \\ \epsilon \frac{\partial (E_z e^{\sigma_0 t})}{\partial t} + j_z e^{\sigma_0 t} &= e^{\sigma_0 t} \frac{1}{r} \frac{\partial (r H_\varphi)}{\partial r}, \end{aligned} \tag{5}$$

в которых  $\sigma_0 = \sigma / \epsilon$ . Отсюда находим

$$E_r(r, z, t) = -\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t e^{\sigma_0(\tau-t)} \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} d\tau,$$

$$E_z(r, z, t) = -\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t e^{\sigma_0(\tau-t)} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial(rH_\varphi)}{\partial r} - j_z \right) d\tau.$$

В предположении, что носитель  $j_z$  локализован внутри первого цилиндрического слоя, для функции  $H_\varphi$  имеем нелокальные по времени граничные условия

$$[H_\varphi]_{r=r_n} = 0, \left[ \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t e^{\sigma_0(\tau-t)} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial(rH_\varphi)}{\partial r} \right) d\tau \right]_{r=r_n} = 0, k = 1, 2, \dots,$$

которые выражают непрерывность компонент поля  $H_\varphi$  и  $E_z$  при переходе через границы разрывов коэффициентов  $\varepsilon$  и  $\sigma$ . Кроме того, при  $r=0$  имеем условие  $H_\varphi|_{r=0}=0$ , которое удобно использовать при численном решении уравнения (2). Доказательство последнего факта проводится использованием преобразования Фурье по переменным  $z$  и  $t$  (см. пункт ниже), а также следует из соображений гладкости функций  $H_1, H_2$  при  $r=0$ . Если  $H_\varphi|_{r=0} \neq 0$ , то  $H_1, H_2$  не будут непрерывными функциями  $x_1, x_2$  в окрестности точки  $r=0$ , а будут иметь разные пределы по лучам  $\varphi = \text{const}$ .

Для малых цилиндров, размещенных на оси скважины  $D_k = \{(r, z) | r \in [0, r_0], z \in [a_k, b_k]\}$ ,  $k = 1, 2$ , граничные условия имеют вид

$$[H_\varphi]_{r=r_0} = 0, \left[ \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t e^{\sigma_0(\tau-t)} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial(rH_\varphi)}{\partial r} \right) d\tau \right]_{r=r_0} = 0, z \in [a_k, b_k],$$

$$[H_\varphi]_{z=a_k} = 0, \left[ \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t e^{\sigma_0(\tau-t)} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} \right) d\tau \right]_{z=a_k} = 0,$$

$$0 \leq r \leq r_0, k = 1, 2,$$

$$[H_\varphi]_{z=b_k} = 0, \left[ \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t e^{\sigma_0(\tau-t)} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} \right) d\tau \right]_{z=b_k} = 0,$$

$$0 \leq r \leq r_0, k = 1, 2.$$

Для численной реализации рассмотрена следующая постановка.

Обозначим  $w(z, r, t) = H_\varphi(z, r, t)$ . Тогда

$$\varepsilon \mu \frac{\partial^2 H_\varphi}{\partial t^2} + \sigma \mu \frac{\partial H_\varphi}{\partial t} + \frac{\partial j_z}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial(rH_\varphi)}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 H_\varphi}{\partial z^2},$$

$$H_\varphi|_{t=0} = \frac{\partial H_\varphi}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0,$$

$$\frac{\partial H_\varphi}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, H_\varphi|_{r=0} = 0,$$

$$H_\varphi|_{z=l_z} = 0, H_\varphi|_{r=l_r} = 0.$$

Здесь  $\varepsilon = \varepsilon_a \varepsilon_0$ .

Источник задается в виде стороннего тока

$$j_z = \frac{\varepsilon_a}{2a} V'(t) \theta(a-z) \theta(a-r),$$

где форма импульса задается формулой

$$V(t) = e^{-\frac{(t-t_0)^2}{t_1^2}}.$$

Здесь  $a = 0.025$  м – радиус источника,  $t_1 = 0.5$  нс,  $t_0 = 4t_1$ .

Таким образом:

$$\frac{\partial j_z}{\partial r} = -\frac{\varepsilon_a}{2a} V'(t) \theta(a-z) \delta(a-r).$$

С математической точки зрения задача является некорректной.

## Выводы

Исходя из вышеуказанного, можно сделать следующие выводы: самым информативным методом георадарной съемки является зондирование. Данный метод позволил определить для угольного массива все параметры среды: мощность и глубину залегания слоев, их диэлектрическую проницаемость и проводимость. Сделав вывод о неоднозначности решения обратной задачи при зондировании, мы рассматривали процесс распространения импульсов в высокочастотной асимптотике, когда отсутствуют дисперсионные искажения их формы. В области низких частот, кроме затухания импульса, наблюдаются дисперсионные искажения. Возможно, законы изменения формы импульса удастся использовать в качестве дополнительной информации для решения обратной задачи в области низких частот.

Применение исследований на основе надповерхностной и скважинной электроразведки и математического моделирования позволяют сделать диагностику зон разуплотнения верхнего горизонта угольного массива Карагандинского угольного бассейна, а также параметров его корреляционных функций, позволяют достичь высокой чувствительности и надёжности диагностики геологического разреза, структурной неоднородности.

Проведенная работа является началом исследования неоднородности угольного массива месторождения на основе электромагнитного каротажа. Данные исследования позволят выявить полную картину возможности использования верхнего горизонта слоев природных углей в качестве активных элементов измерительных схем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: Учебное пособие. – Москва: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
2. Исакаев К.Т., Романов В.Г., Карчевский А.Л., Оралбекова Ж.О. Исследование обратных задач для дифференциальных уравнений и численных методов их решения. – Астана, 2014. – 182 с.
3. Кабанихин С.И., Исакаев К.Т. Оптимизационные методы решения коэффициентных обратных задач. – Новосибирск, 2001. – 316 с.
4. Кабанихин С.И., Исакаев К.Т. Оптимизационные методы решения для уравнения гиперболического типа коэффициентных обратных задач. – Алматы, 2007. – 320 с.
5. Кабанихин С.И., Исакаев К.Т., Бектемесов М.А., Шишленин М.А. Алгоритмы и численные методы решения обратных и некорректных задач. – Астана, 2011. – 328 с.

6. Исаков К.Т., Боранбаев С.А., Ұзаққызы Н., Тұрарова М.К., Кусаинова А.Т., Хасенова З.Т., Түенбаев О.К. Научно-технические основы для разработки систем георадиолокации. – Астана: ЕНУ, 2017. – 221 с.

### **Көмір кен орнының электрмагниттік өрісі бойынша нәтижелерді түсіндіру негізінде мәліметтерді өңдеу**

<sup>1</sup>\***ШАХАТОВА Алия Талгатовна**, докторант, shakhatovaa@list.ru,

<sup>2</sup>**ОЖИГИН Сергей Георгиевич**, т.ф.д., профессор, osg62@mail.ru,

<sup>2</sup>**ОЛЕНЮК Сергей Петрович**, т.ф.к., доцент, savml@mail.ru,

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, 010008, Нұр-Сұлтан, Сәтпаев көшесі, 2,

<sup>2</sup>Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Қарағанды көмір бассейнінің кен орнындағы кедергілері, потенциалдары және т.б. есептелетін далалық бақылау нәтижелерін алғашқы өңдеу мәселесі қарастырылып, графиктер, кестелер түрінде берілген. Әрі қарай геологиялық түсіндіру процесінде байқалған өріс геологиялық қиманың теориялық есептелген үлгілерінің нәтижелерімен салыстырылады, тау жыныстарының электрмагниттік қасиеттері туралы мәліметтер пайдаланылады. Электр барлауды қолдану қымбат тұратын тау-кен және тоннельдік және бұрғылау жұмыстарының көлемін азайту арқылы шығындарды азайтуға және геологиялық барлауды жеделдетуге мүмкіндік береді. Бұдан шығатын болсақ, электр барлаудың тікелей міндеті берілген өріс көздерінен және қиманың параметрлерінен электрмагниттік өрісті анықтау болып табылады. Электр барлаудың кері мәселесі – байқалатын электрмагниттік өрістен геоэлектрлік қиманы анықтау. Бұл процесс далалық бақылау нәтижелерін интерпретациялау деп аталады.

**Кілт сөздер:** деректерді өңдеу, радарограмманы интерпретациялау, электр барлау әдістері, кері есепті шешу, зондтау әдістері, геоэлектрлік қима.

### **Data Processing Based on the Interpretation of the Results for the Electromagnetic Field of a Coal Deposit**

<sup>1</sup>\***SHAKHATOVA Aliya**, doctoral student, shakhatovaa@list.ru,

<sup>2</sup>**OZHIGIN Sergey**, Dr. Tech. Sci., Professor, osg62@mail.ru,

<sup>2</sup>**OLENYUK Sergey**, Cand. Tech. Sci., Assistant Professor, savml@mail.ru,

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, 010008, Nur-Sultan, Satpayev Street, 2,

<sup>2</sup>Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

\*corresponding author.

**Abstract.** The discusses the issue of primary processing of the results of field observations at the deposit of the Karaganda coal basin, in which the resistances, potentials of constant fields, etc. are calculated, and presented in the form of graphs, tables. In the process of further geological interpretation, the observed field is compared with the results of theoretically calculated models of the geological section, information about the electromagnetic properties of rocks is used. The use of electrical exploration makes it possible to reduce the cost and speed up geological exploration by reducing the volume of expensive mining and tunneling and drilling operations. Proceeding from this, the direct task of electrical prospecting is to determine the electromagnetic field from the given field sources and parameters of the section. The inverse problem of electrical prospecting is to determine the geoelectric section from the observed electromagnetic field. This process is called the interpretation of the results of field observations.

**Keywords:** data processing, interpretation of interpretation of radarograms, methods of electrical prospecting, solution of the inverse problem, Maxwell's equations, sounding method, geoelectric section.

## REFERENCES

1. Vladov M.L., Starovojtov A.V. Vvedenie v georadiolokaciyu: Uchebnoe posobie. – Moscow: Publ. MGU, 2004. – 153 p.
2. Isakov K.T., Romanov V.G., Karchevskij A.L., Oralbekova ZH.O. Issledovanie obratnyh zadach dlya differencial'nyh uravnenij i chislennyh metodov ih resheniya. – Astana, 2014. – 182 p.
3. Kabanihin S.I., Isakov K.T. Optimizacionnye metody resheniya koefficientnyh obratnyh zadach. – Novosibirsk, 2001. – 316 p.
4. Kabanihin S.I., Isakov K.T. Optimizacionnye metody resheniya dlya uravneniya giperbolicheskogo tipa koefficientnyh obratnyh zadach. – Almaty, 2007. – 320 p.
5. Kabanihin S.I., Isakov K.T., Bektemesov M.A., SHishlenin M.A. Algoritmy i chislennye metody resheniya obratnyh i nekorrektnykh zadach. – Astana, 2011. – 328 p.
6. Isakov K.T., Boranbaev S.A., Ұзаққызы Н., Тұрарова М.К., Кусаинова А.Т., Хасенова З.Т., Түенбаев О.К. Научно-технические основы для разработки систем георадиолокации. – Астана: ЕНУ, 2017. – 221 p.