



magnetometry & electrometry

Открытая лаборатория геофизических методов

ElectroFiltES

ver.1.0.

Руководство пользователя

Москва, 2016

Оглавление

Введение.....	3
1. Алгоритмы программы.....	4
1.1. Расчет линейных фильтров	4
1.2. Расчет кривых зондирования	7
2. Установка и начало работы.....	8
3. Главное меню.....	8
4. Расчет фильтров	9
5. Решение прямой задачи для электрического зондирования.....	11
Литература	14

Введение

Программа ElectroFiltES предназначена для расчета коэффициентов линейных фильтров, применяемых при решении прямой задачи электрического зондирования. Прототипом основного алгоритма расчета линейных фильтров по методу наименьших квадратов стал алгоритм, приведенный в книге О. Куфда стр. 71-77, адаптированный и дополненный.

Программа написана на языке Visual Basic .NET, с использованием платформы Framework NET 4.0. Программа работает под операционной системой семейства Windows (XP/Vista/7/8/8.1).

Автор программы – Новиков Константин Валерьевич (e-mail: novikovkv@magnetometry.ru).

1. Алгоритмы программы

Решение прямой задачи электрического зондирования наиболее часто осуществляется при помощи линейных фильтров. В основе такого расчета лежит свертка функций:

$$\rho_k^j = \rho_1 \sum_{k=1}^{N_F} R(m_{j-k}) G_k, \quad 1.1.$$

или

$$\rho_k^j = \rho_1 \sum_{k=1}^{N_F} R(X_{j+k-1}) G_k, \quad 1.2.$$

где R – kernel-функция, X или m – ее абсцисса, причем $X = 1/m$, G_k – коэффициенты линейного фильтра.

Для того чтобы реализовать расчет ρ_k сначала необходимо получить коэффициенты линейного фильтра.

1.1. Расчет линейных фильтров

Линейные фильтры характеризуются следующим набором основных параметров: число коэффициентов фильтра (длина), число точек фильтра на декаду оси абсцисс, сдвиг узлов сетки входной функции относительно сетки выходной функции, положение центрального коэффициента фильтра.

Для обозначения используемых параметров в ряде случаев будем использовать традиционные [Куфуд, 1984; Шевнин, 1994], а некоторые, не очень удачные на наш взгляд, введем заново.

Список величин их обозначение приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Применяемые буквенные обозначения

Обозначение	Пояснение	Обычные значения
1	2	3
N_F	размер фильтра, или число весовых коэффициентов фильтра $N_F = N_M + N_L + 1$	8–30 (4 – 200)
X_F	начальная абсцисса фильтра	
N_C	центральный коэффициент фильтра	
N_M	число коэффициентов памяти	
N_L	число коэффициентов предсказания	
N_{FD}	число точек фильтра на декаду оси абсцисс (на модуль логарифмического бланка)	3–10
X	сетка абсцисс функции R и R^* в логарифмическом масштабе	
r	сетка абсцисс (разносов $AB/2$) функции ρ_k в ло-	

1	2	3
	гарифмическом масштабе	
m	сетка абсцисс функции R и R^* в логарифмическом масштабе $X = 1/m$	
α	сдвиг узлов сетки X относительно сетки r	≈ 1
Q	$Q = e^{\ln(10)/N_{FD}} = 10^{(1/N_{FD})}$ коэффициент геометрической прогрессии для X и r .	
Q_m	$Q_m = 1/Q = e^{-\ln(10)/N_{FD}}$ коэффициент геометрической прогрессии для m	2,15 – 1,26
X_R	начальная абсцисса функции R^*	$\ln m = -2,3$
N_R	число точек входной функции R^*	45–50
G	коэффициенты фильтра	

Существует множество вариантов расчета фильтров, однако, наиболее оптимальный из них – расчет по методу наименьших квадратов. По методу наименьших квадратов фильтр может быть рассчитан из условия минимума

$$\Phi = \sum_{j=1}^{NR} \left[\sum_{k=1}^{KF} R(X_{k+j-1}) G_k - \rho_k(r_j) \right], \quad 1.3.$$

Условием минимума Φ является:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial G} = 0, \quad 1.4.$$

Преобразования приводят к системе линейных алгебраических уравнений, решением которых являются коэффициенты фильтра G . Подробнее об этом написано в книге О. Куфуд стр. 71-77 [Куфуд, 1984].

Так как получить точную функцию кажущегося сопротивления для подстановки в расчетные формулы затруднительно, то вместо функций R и ρ_k можно использовать их специально подобранные аналоги, связь между которыми выражается интегралами Ханкеля, которые имеют аналитическое решение [Шевнин, 1994].

Например, для идеальной установки Шлюмберже (S) можно использовать аналоги (полученные с помощью интеграла Вебера-Липшица), если вместо R взять [Куфуд, 1984]:

$$R^* = m \cdot \exp(-m), \quad 1.5.$$

А вместо ρ_k

$$\rho_k^* = \frac{3r^3}{[1+r^2]^{5/2}}, \quad 1.6.$$

Меняя выходную функцию можно рассчитывать фильтры для разных типов установок.

Для установки Веннера

$$\rho_{\kappa}^* = \frac{2r}{[1+r^2]^{3/2}} - \frac{2r}{[1+(2r)^2]^{3/2}}, \quad 1.7.$$

для установки ДОЗ

$$\rho_{\kappa}^* = \frac{3r^3}{[1+r^2]^{5/2}} - \frac{0,5 \cdot (3r^3 - 6r^5)}{[1+r^2]^{7/2}}, \quad 1.8.$$

для двухэлектродной потенциал-установки АМ ($B^{\infty}N^{\infty}$)

$$\rho_{\kappa}^* = \frac{r}{[1+r^2]^{3/2}}. \quad 1.9.$$

В данных формулах r соответствует $AB/2$, значения r возрастает с тем же шагом X и m . Начальное значение r определяется по формуле

$$r_{нач} = \frac{m_{\min}}{\alpha \cdot Q^L}, \quad 1.10.$$

Рассчитать кернел-функцию также можно разными способами. Например, можно использовать гиперболическую функцию R_1 [Шкабарня, 1971].

$$R_1(m_j) = \frac{\text{th}}{\text{cth}} \left\{ m_j h_1 + \frac{\text{ath}}{\text{acth}} \left[\frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{\text{th}}{\text{cth}} \left(m_j h_2 + \dots + \frac{\text{ath}}{\text{acth}} \left(\frac{\rho_n}{\rho_{n-1}} \right) \dots \right) \right] \right\}, \quad 1.11.$$

Рекуррентную формулу Пекериса [Куфуд, 1984]:

$$T_N = \rho_N, \quad T_i(X_j) = \frac{T_{i+1} + \text{th} \left(\frac{h_i}{X_j} \right) \rho_i}{1 + \frac{T_{i+1} \cdot \text{th} \left(\frac{h_i}{X_j} \right)}{\rho_i}}, \quad 1.12.$$

формулу Л.Л. Ваньяна [Электроразведка..., 1994]

$$R_N = 1, \quad R_i(X_j) = \frac{1 - F_{i+1}}{1 + F_{i+1}}, \quad 1.13.$$

где

$$F_{i+1} = \frac{1 - \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} \cdot R_{i+1}}{1 + \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} \cdot R_{i+1}} \exp \left(-\frac{2h_i}{X_j} \right), \quad 1.14.$$

где индексы параметров слоев i меняются снизу-вверх по разрезу от $N-1$ до 1.

В результате применения метода наименьших квадратов находятся коэффициенты фильтра G_i .

1.2. Расчет кривых зондирования

Напомним, что кривые зондирования рассчитываются при помощи линейных фильтров G , путем их свертки с кернел-функцией R

$$\rho_k^j = \rho_1 \sum_{k=1}^N R(m_{j-k}) G_k$$

или

$$\rho_k^j = \rho_1 \sum_{k=1}^N R(X_{j+k-1}) G_k.$$

Схема алгоритма линейной фильтрации приведена на рис. 1.1.

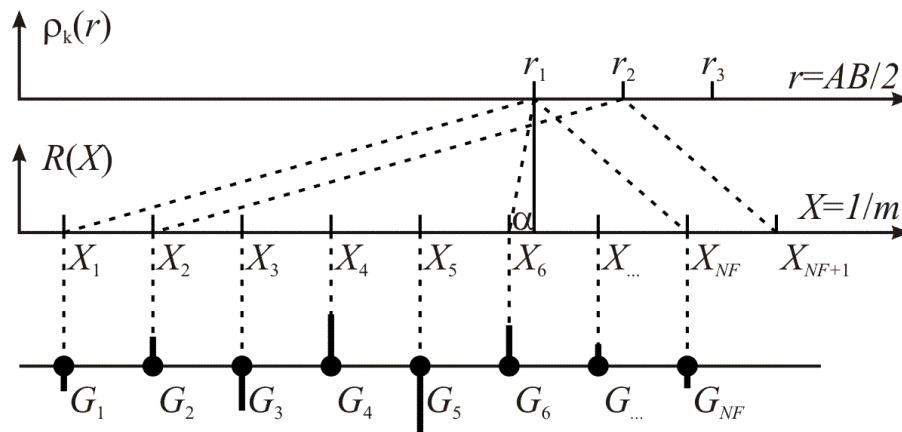


Рис. 1.1. Схема алгоритма линейной фильтрации [Шевнин, 1994]

Отметим важную особенность свёртки. Общее число значений выходной функции ρ_k больше числа значений входной функции R и равно $N_R + N_F - 1$. Крайние члены выходной последовательности получаются при неполной весовой функции и их значения искажены, поэтому они исключаются из результатов расчетов.

2. Установка и начало работы

Программа ElectroFiltES не требует инсталляции и не использует реестр Windows, для установки программы необходимо распаковать все файлы из архива в любую папку. Для работы программы необходим Framework NET 4.0, который свободно можно скачать в Центре загрузки Microsoft (<https://www.microsoft.com/ru-ru/download>).

Для начала работы требуется запустить ElectroFiltES.exe. Графический интерфейс программы приведен на рис. 2.1.

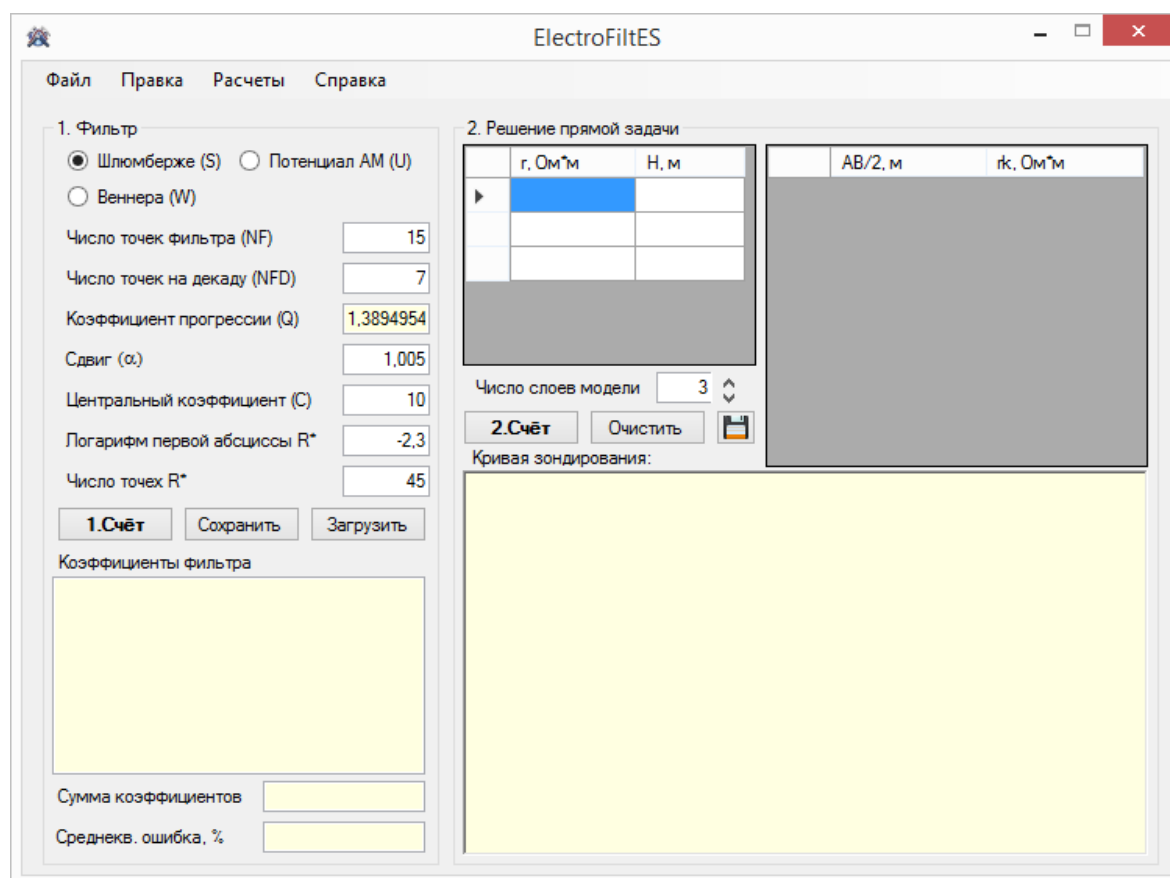


Рис. 2.1. Интерфейс программы ElectroFiltES.

3. Главное меню

Главное меню программы имеет следующую структуру:

Файл

- *Открыть фильтр* – открывает сохраненный файл фильтра *.fil.
- *Открыть модель* – открывает файл модели *.mod
- *Сохранить рассчитанный фильтр* – сохраняет результаты расчета фильтра в текстовый файл с расширением *.fil или *.txt.
- *Сохранить модель* – сохраняет результаты расчета фильтра в текстовый файл с расширением *.ger.

- Сохранить кривую зондирования
 - В текстовый файл – сохраняет кривую зондирования в текстовый файл.
 - В файл MS Excel – сохраняет кривую зондирования в файл формата MS Excel.
- Перезапуск программы.
- Выход.

Правка

- Очистить все – очистка всех полей и окон программы.
- Сброс фильтра – очистка полей фильтра.
- Сброс модели – очистка полей в окне модели.
- Сброс кривых зондирования – очистка таблицы кривой зондирования и графической области.

Счет

- Рассчитать фильтр.
- Рассчитать кривую зондирования.
- Тестовая модель.

Справка

- Лицензия.
- Руководство пользователя.
- О программе.

4. Расчет фильтров

Для расчета фильтра необходимо выбрать тип установки электрического зондирования и задать параметры расчета (рис. 4.1.)

Шлюмберже (S) Потенциал AM (U)
 Веннера (W)

Число точек фильтра (NF)	15
Число точек на декаду (NFD)	7
Коэффициент прогрессии (Q)	1,3894954
Сдвиг (α)	1,005
Центральный коэффициент (C)	10
Логарифм первой абсциссы R*	-2,3
Число точек R*	45

Рис 4.1. Окно ввода параметров расчета коэффициентов линейного фильтра.

После этого требуется нажать кнопку «1.Счёт», результат расчета будет приведен в окне «Коэффициенты фильтра». Результат выдается через запятую в сортировке по возрастанию $m!!!$

Результаты расчетов можно сохранить в текстовый файл с расширением *.fil.

Таблица 4.1.
Структура файла *.fil

Строка	Обозначение	Описание
1	2	3
1	-	Тип установки электрического зондирования (S – Шлюмберже, W – Веннера, U – потенциал-установка)
2	N_F	Число весовых коэффициентов фильтра (число точек фильтра)
3	N_{FD}	Число точек фильтра на декаду оси абсцисс (на модуль логарифмического бланка)
4	Q	Коэффициент геометрической прогрессии
5	α	Сдвиг узлов сетки X относительно сетки r
6	N_C	Центральный коэффициент фильтра
7	$\ln m$	Логарифм начальной абсциссы функции R*
8	N_R	число точек входной функции R*
9	G	коэффициенты фильтра, через запятую
10	$\sum G_i$	Сумма коэффициентов (~1)
11	-	Средняя ошибка, %

Пример файла *.fil приведен на рис. 4.2.

```

Файл  Правка  Кодировка  Подсветка синтаксиса  Помощь
1  S
2  15
3  7
4  1,38949549437314
5  1,005
6  10
7  -2,3
8  45
9  0,004705 0,003612 -0,031227 0,169453 -0,290885 0,783733
10 0,999986125223456
11 0,0010483986603784

```

Рис. 4.2. Пример файла фильтра.

Строки 1-8 – параметры, которые задаются пользователем, 9-11 – результат расчета фильтра.

Сохраненные файлы можно использовать при дальнейшей работе. Для этого их можно загружать в программу при помощи кнопки «**Загрузить**» в области расчета фильтра или через главное меню.

5. Решение прямой задачи для электрического зондирования

Прямая задача геофизики – это нахождение поля для заданного объекта, то есть когда известны его геометрических и петрофизические характеристики. Для электрического зондирования прямой задачей можно назвать нахождение кривых зондирования по известному геоэлектрическому разрезу.

Для решения прямой задачи в программе ElectroFiltES необходимо сначала задать горизонтально слоистый геоэлектрический разрез, который характеризуется удельным электрическим сопротивлением ($UЭС$) каждого слоя ρ и его мощность h . Последний, самый нижний, слой модели считается бесконечным на глубину и характеризуется только ρ .

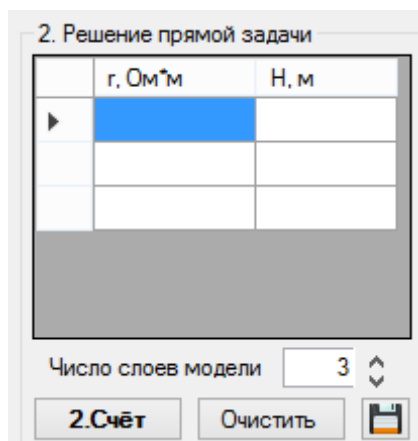


Рис. 5.1. Окно ввода модели (геоэлектрического разреза).

Модель можно сохранить в текстовый файл с расширением *.ger. Структура файла описана в таблице 5.1.

Таблица 5.1.
Структура файла *.ger

Строка	Описание
1	$UЭС$ и мощность 1-го слоя, через пробел
2	$UЭС$ и мощность 2-го слоя, через пробел
...	...
n	$UЭС$ n-го слоя, через пробел

Пример файла *.ger приведен на рис. 5.2.

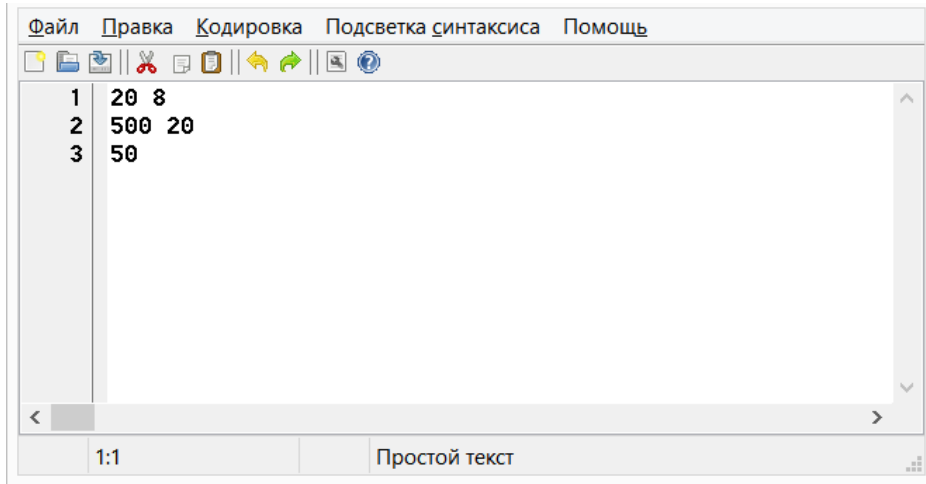


Рис. 5.2. Пример файла модели (геоэлектрического разреза).

Для расчета кривой кажущегося сопротивления надо нажать кнопку «2. Счет». Результаты расчета будут показаны в таблице и в графическом виде в билогарифмическом масштабе (рис. 5.3).

Начальная точка $AB/2$, определяется по формуле 1.10 (см. раздел 1).

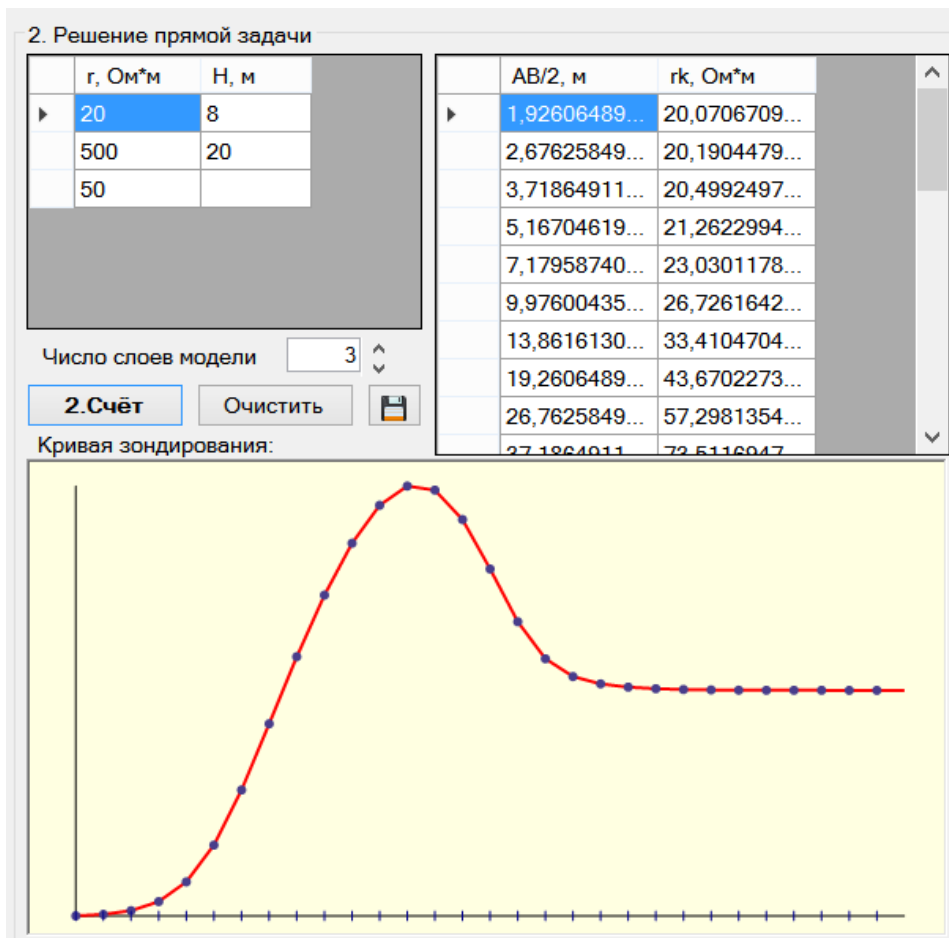


Рис. 5.3. Результаты решения прямой задачи для электрического зондирования.

Результаты можно сохранить в текстовый файл через главное меню *Файл* → *Сохранить кривую зондирования* → *в текстовый файл* или нажав кнопку «**Сохранить**» в области «Решение прямой задачи». Пример файла приведен на рис. 5.4.

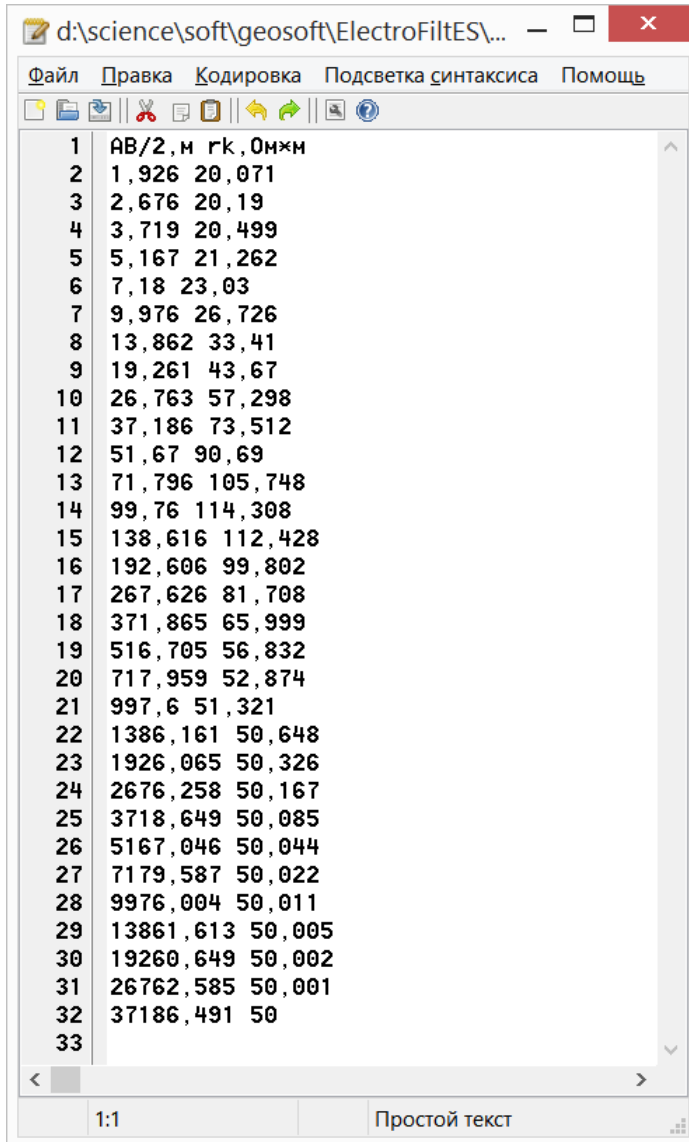


Рис. 5.4. Пример файла с результатами решения прямой задачи.

Литература

1. Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений. / перс. с английского. – М.: Недра, 1984. – 270 с.
2. Шкабарня Н.Г., Гриценко В.Г. Интерпретация кривых электрического зондирования с применением ЭВМ. – М.: Недра, 1971. – 112 с.
3. Электроразведка методом сопротивлений./Под. редакцией Хмелевского В.К. и Швнина В.А. – М.: Изд-во, МГУ, 1994 г. – 60 с.