

Импульсная рудная электроразведка

Голиков Юрий Владимирович
д.г-м.н., профессор



С начала 80-х годов автор занимается импульсной рудной электроразведкой с кондуктивным и индуктивным возбуждением поля.

К настоящему времени у нас сформировалась новая концепция выполнения поисковых работ, позволяющая на порядок уменьшить стоимость и сроки их реализации с одновременным ростом эффективности результатов.

Существующая в настоящее время технология поисковых работ состоит из следующих основных этапов:

- 1. Геологическое картирование с построением геологической карты с выводами о перспективе района на рудные объекты.**
- 2. Предварительные и детальные поиски с применением горных работ (канавы, шурфы), геофизических и геохимических работ.**
- 3. Колонковое бурение с оценкой прогнозных ресурсов металла.**

Эта схема была эффективна для близповерхностных рудных объектов. Неэффективность данной технологии начала проявляться с 80-х годов прошлого века с увеличением глубин поисковых работ. Объём бурения по стоимости увеличивался в разы и экономическая эффективность поисковых работ резко снижалась.

С начала 2000 годов в рудной геологии сформировались методы индуктивной электроразведки, которые могут взять на себя функции, аналогичные сейсморазведке в нефтяной геологии. На глубинах 150-1000 метров следует ожидать крупные рудные объекты ранее не обнаруженные при проведении поисковых работ, нацеленных на приповерхностные объекты.

Предлагается простая трёхэтапная схема проведения поисковых работ:

1. Площадные работы индукционной импульсной электроразведкой с построением серии глубинных геоэлектрических (по электропроводности и параметрам поляризуемости) разрезов и объёмной модели участка работ с выноской положения поисковых скважин. В случае отрицательного результата бурение не выполняется.
 2. Бурение поисковых скважин с обязательным проведением каротажа переходных характеристик вызванной поляризации для выделения рудного объекта и оценки содержания металла.
- Затраты на проведение первой стадии на территории 100 квадратных километров составят примерно \$ 300 тыс.долл.

Вторая стадия-бурение, комплекс ГИС и анализ керна-1 млн. долл.

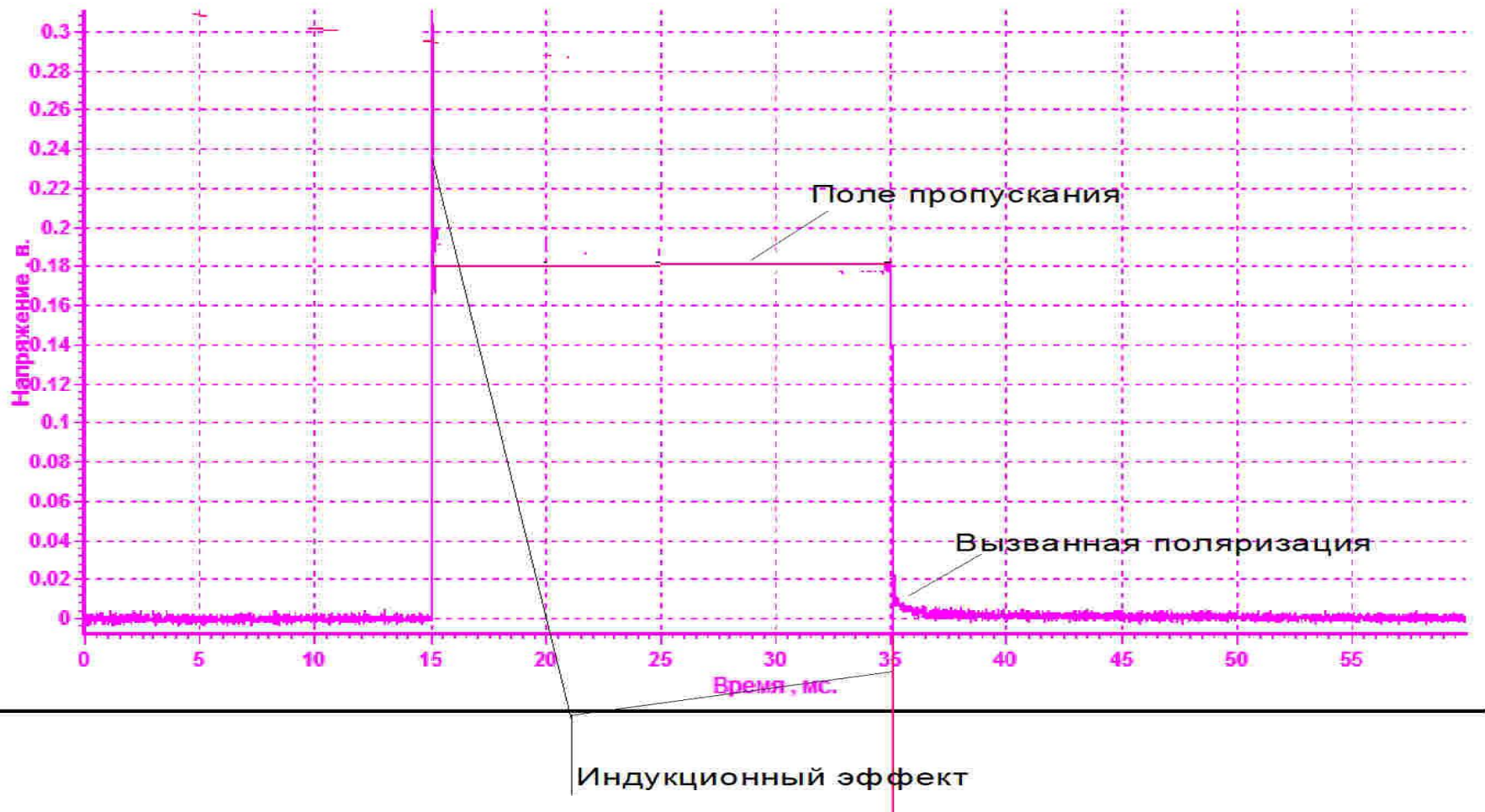
3. В случае подсечения (или неподсечения) рудного объекта выполнение работ методом импульсного заряда с целью пространственной локализации заряженного или незаряженного поляризующегося рудного объекта.

Предложенная схема поисков позволит существенно уменьшить стоимость поисковых работ и увеличить динамику поисков.

Основой предлагаемой технологии является глубинная (до 1000 и более метров) импульсная индуктивная электроразведка с прогнозом оруденения и выноской положения поисковых скважин.

Что мы измеряем?

Результат измерения электрической или магнитной составляющей поля, возбуждаемого прямоугольным импульсом тока.



Образец файла регистрации

```
Образец файл регистрации.txt
Файл  Правка  Формат  Вид  Справа
координаты UTM
x=307593          y=5496338

Дата 20.08.2007
время          Ех
мкс            Вольт
0              -0.005898056
10             -0.005884582
20             -0.005870651
- - - - -
- - - - -
5050           6.52766E-05
5060           7.59529E-05
5070           8.63769E-05
5080           9.65164E-05
5090           0.000106355
5100           0.00011584
5110           0.000124924
```

Чем мы измеряем?

- Начиная с 2000 года мы разрабатываем
- универсальную аппаратуру АНП (аппаратура неустановившегося поля) для выполнения работ всеми методами импульсной электроразведки.
- Основные особенности аппаратуры:
 - 1. Измерения составляющих напряжённости электрического и составляющих вектора индукции магнитного поля в импульсе тока и после его выключения в арифметической шкале времени.
 - 2. Эффективная система синхронизации и подавления гармонических и импульсных помех.
 - 3. Визуализация процесса и жёсткий (100%) контроль качества измерений.

Аппаратура АНП-3 (генератор).



- Максимальный выходной ток в импульсе: 15 А
- Максимальное выходное напряжение в импульсе: 300 В
- Напряжение питания: 220 В АС, 3 кВт или аккумуляторы
- Длительность импульса 10 – 100 мс
- Длительность переднего фронта импульса тока: не более 30 мкс
- Длительность заднего фронта импульса тока: не более 30 мкс
- Форма импульсов тока: биполярная / разнополярная прямоугольная с паузой
- Синхронизация с измерителем: GPS-приемник
- Диапазон рабочих температур: -20 до +30 С
- Масса: 5,2 кг
- Габариты: 480x350x133

Аппаратура АНП-3 (Измеритель).



- Диапазон измеряемых напряжений : +/- 5 В
- Динамический диапазон измерения ЭДС переходного процесса: не менее 80 дБ
- Минимальное время измерения переходного процесса: 10 мкс
- Максимальное время измерения переходного процесса: 300 мс
- Объем энергонезависимой памяти данных: 4 Гб.
- Подавление периодической помехи 50 Гц: не менее 80 дБ
- Синхронизация с генератором тока: GPS-приемник
- Точность синхронизации с генератором тока: +/- 900 нс.
- Связь с компьютером регистратора: USB 2.0
- Питание от источника постоянного тока напряжением: +/- 12 В
- Потребляемая мощность: 2.0 Вт
- Время автономной работы (без подзарядки аккумуляторов): 18 часов
- Диапазон рабочих температур: -20 до +30 С
- Масса: 1,1 кг
- Габариты: 240x190x100 мм

Датчик для измерения составляющих вектора магнитной индукции ИДШ-1

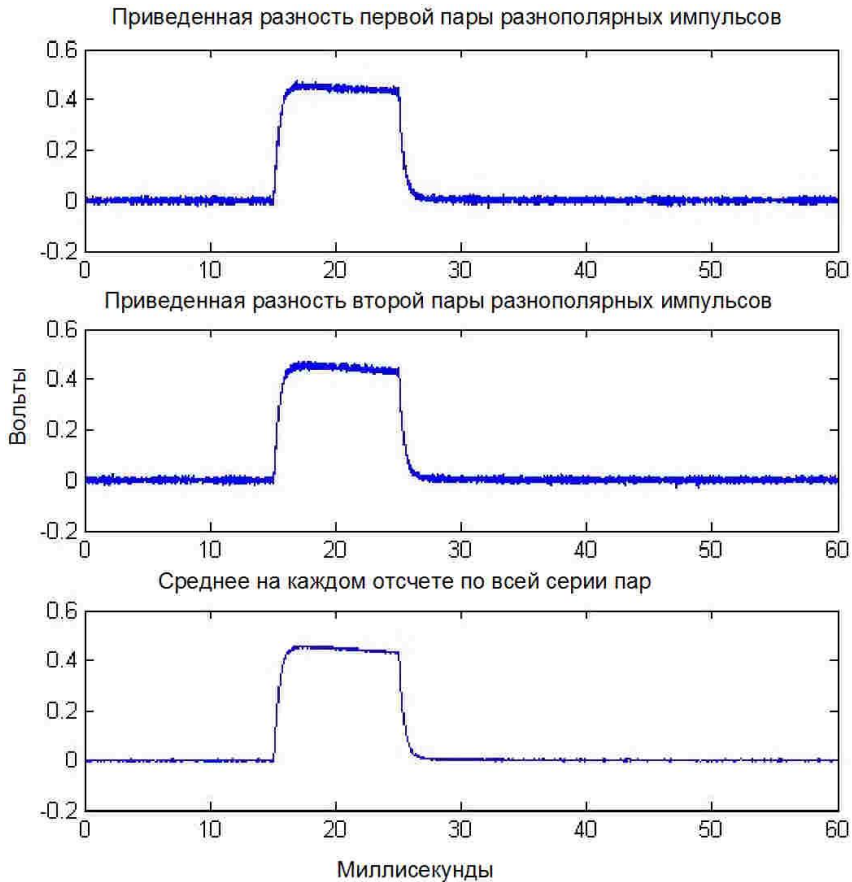


- Диапазон температур, от -20 до +30 С
- Порог чувствительности не более, пТ -5
- Динамический диапазон, не менее дБ.-120
- Напряжение питания, В 12
- Потребляемый ток не более, мА-20
- Частотный диапазон, Гц-20-10⁵
- Эффективная площадь, квадратные метры-100
- Длина, мм-1000
- Диаметр, мм-103
- Вес, кг-8

Как мы обрабатываем?

Первичная обработка результатов.

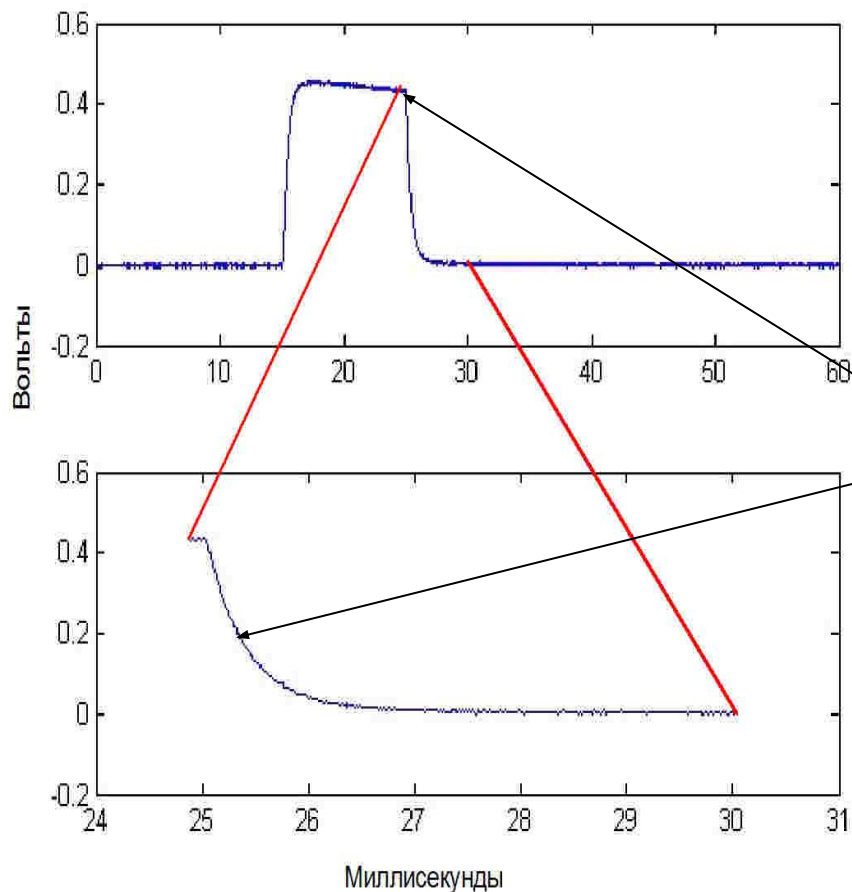
Подавление помех



- Регистрация поля проходит на фоне интенсивных помех. Подавление помех обеспечивается за счет накопления импульсов и их специальной обработке.

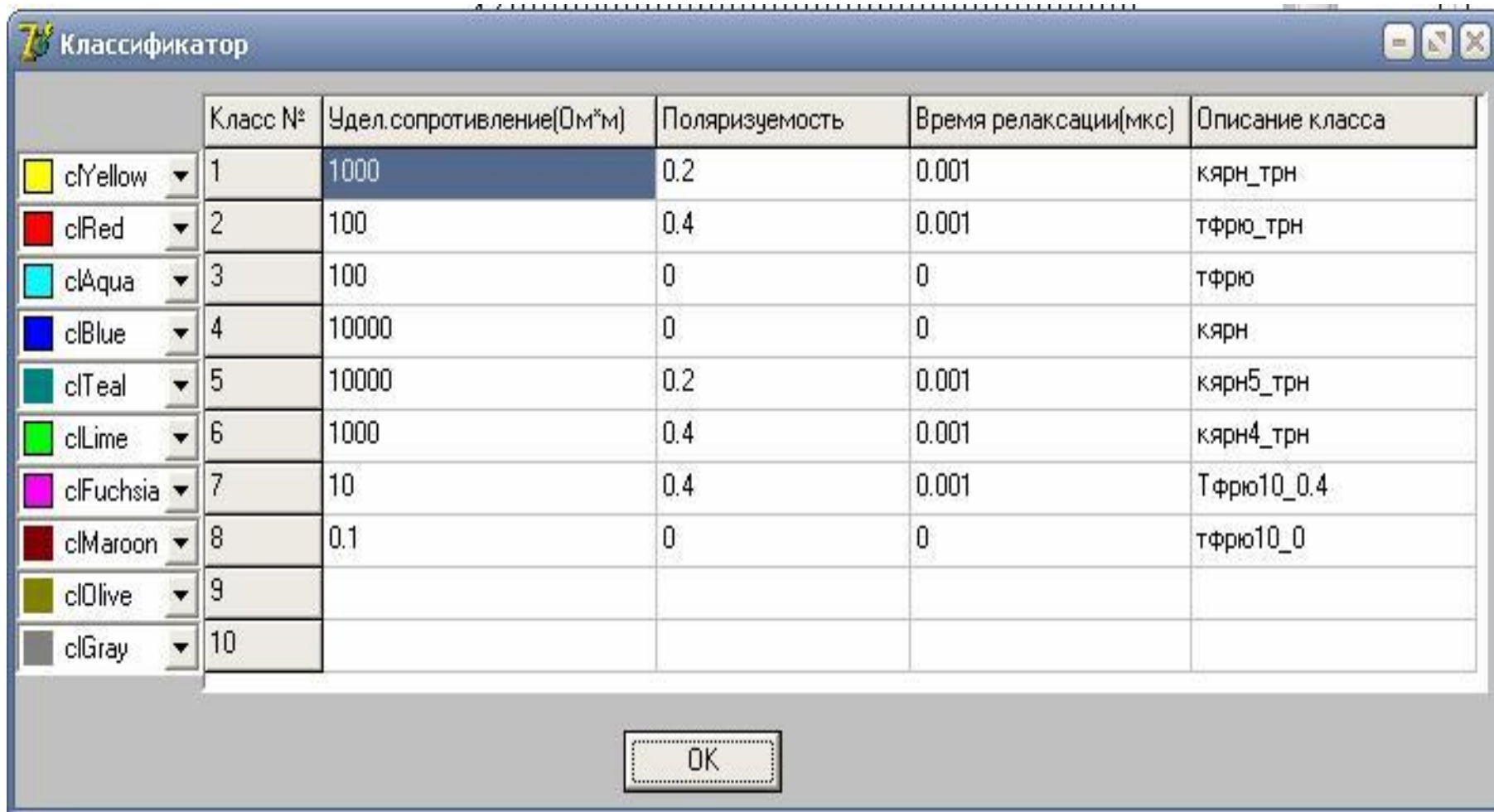
Первичная обработка результатов.

Выборка информативной части













- Информативная часть импульса «вырезается» из исходного массива и записывается в текстовый файл, который предоставляется заказчику и подвергается дальнейшей обработке и интерпретации.
- В данном случае нас интересует поле при пропуске импульса тока и процесс вызванной поляризации.

Электрические свойства элементов модели Петропавловского золото-сульфидного месторождения



Классификатор

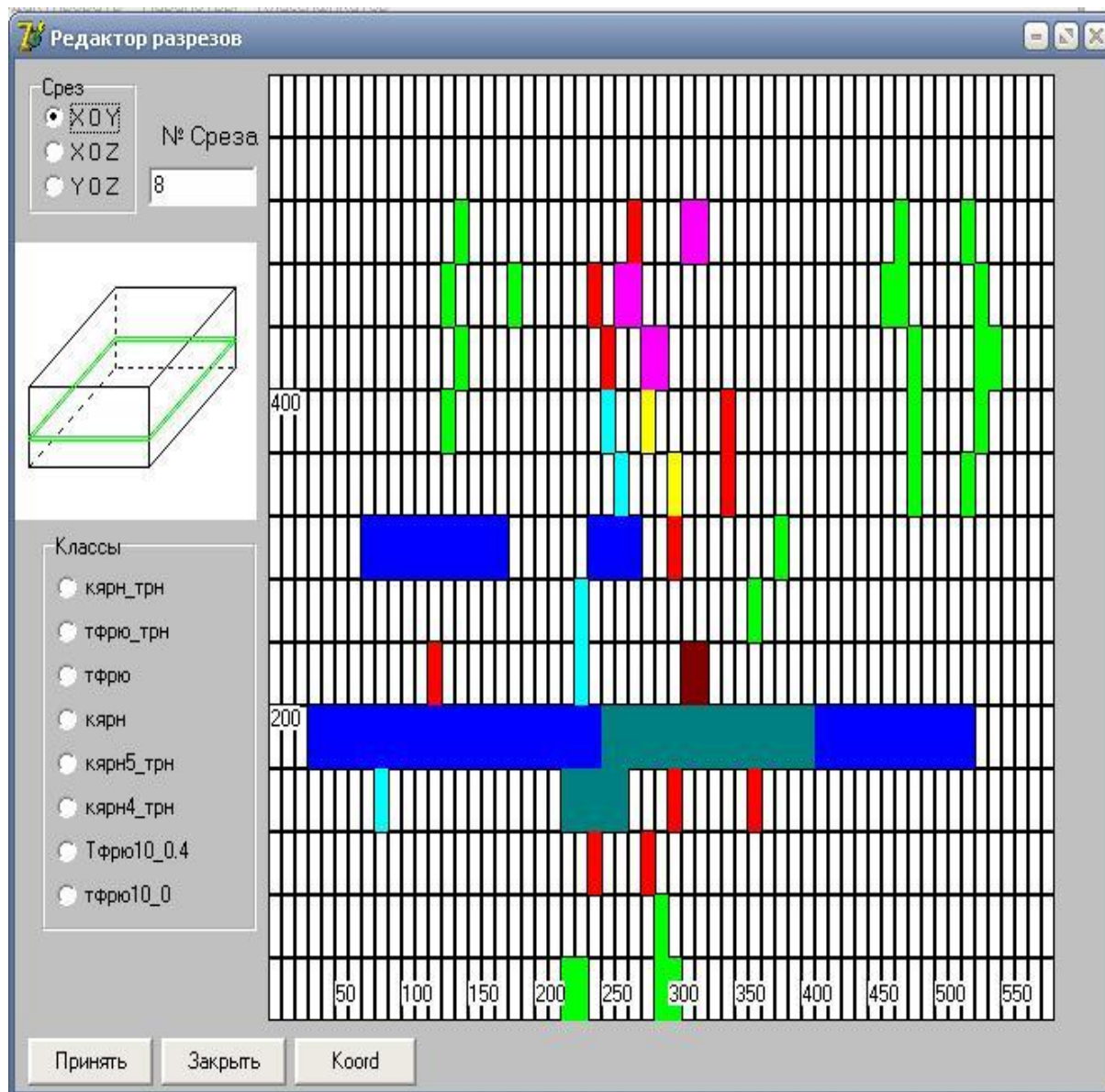
	Класс №	Удел.сопротивление(Ом*м)	Поляризуемость	Время релаксации(мкс)	Описание класса
 cYellow	1	1000	0.2	0.001	кярн_трн
 cRed	2	100	0.4	0.001	тфрю_трн
 cAqua	3	100	0	0	тфрю
 cBlue	4	10000	0	0	кярн
 cTeal	5	10000	0.2	0.001	кярн5_трн
 cLime	6	1000	0.4	0.001	кярн4_трн
 cFuchsia	7	10	0.4	0.001	Тфрю10_0.4
 cMaroon	8	0.1	0	0	тфрю10_0
 cOlive	9				
 cGray	10				

OK

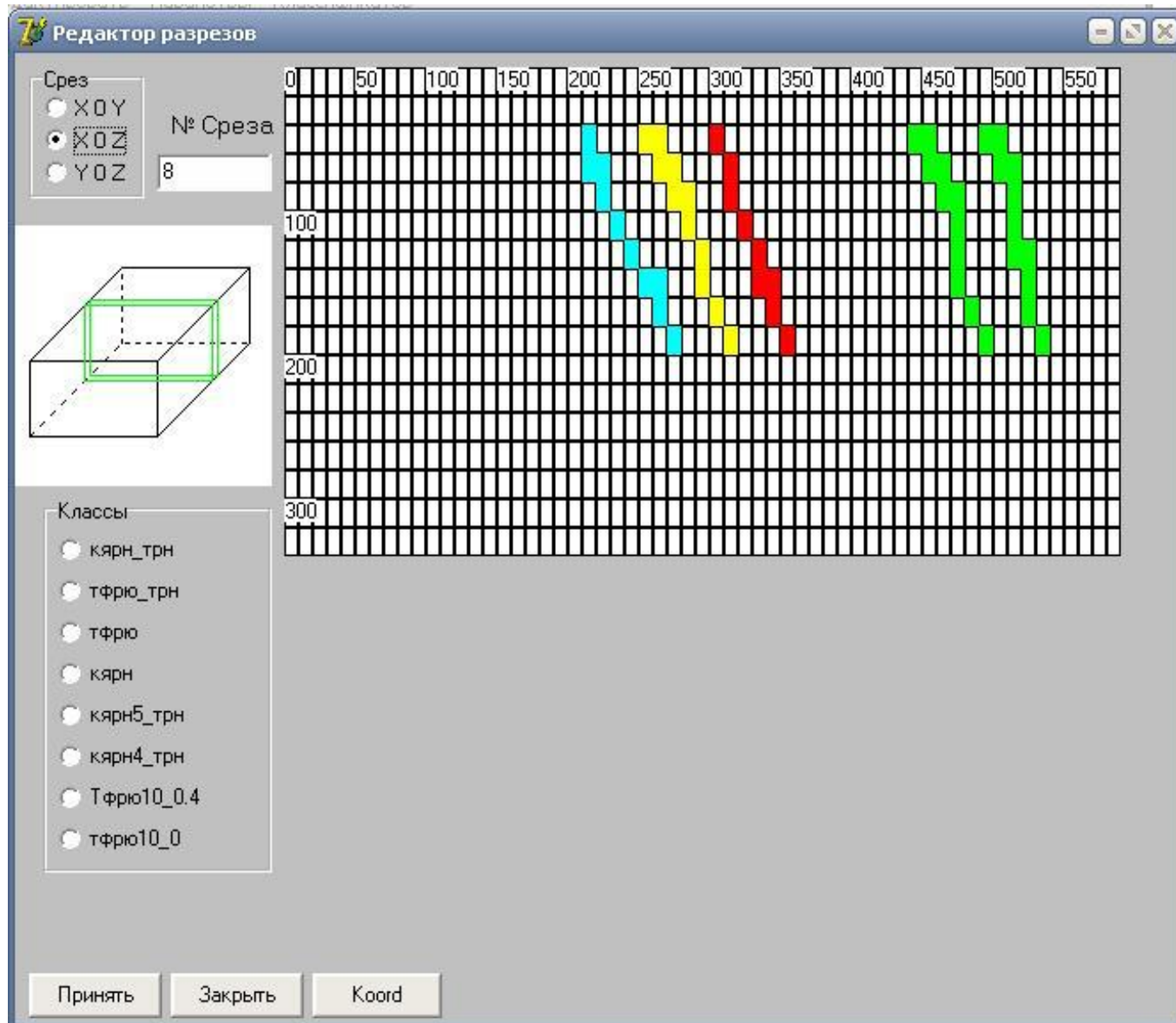
Как мы интерпретируем?

- Интерпретация выполняется методом подбора на основе решения прямой задачи (с использованием векторных объемных интегральных уравнений) в сложно построенных
- по электропроводности и параметрам поляризуемости средах.
- Возбуждение нижнего полупространства осуществляется индуктивно с помощью незаземлённой петли или кондуктивно с установкой метода заряда.
- Рассчитываются все составляющие электрического поля и вектора магнитной индукции.
- Пакет программ создан совместно с Институтом Геофизики Уро РАН (А.Н. Ратушняк).

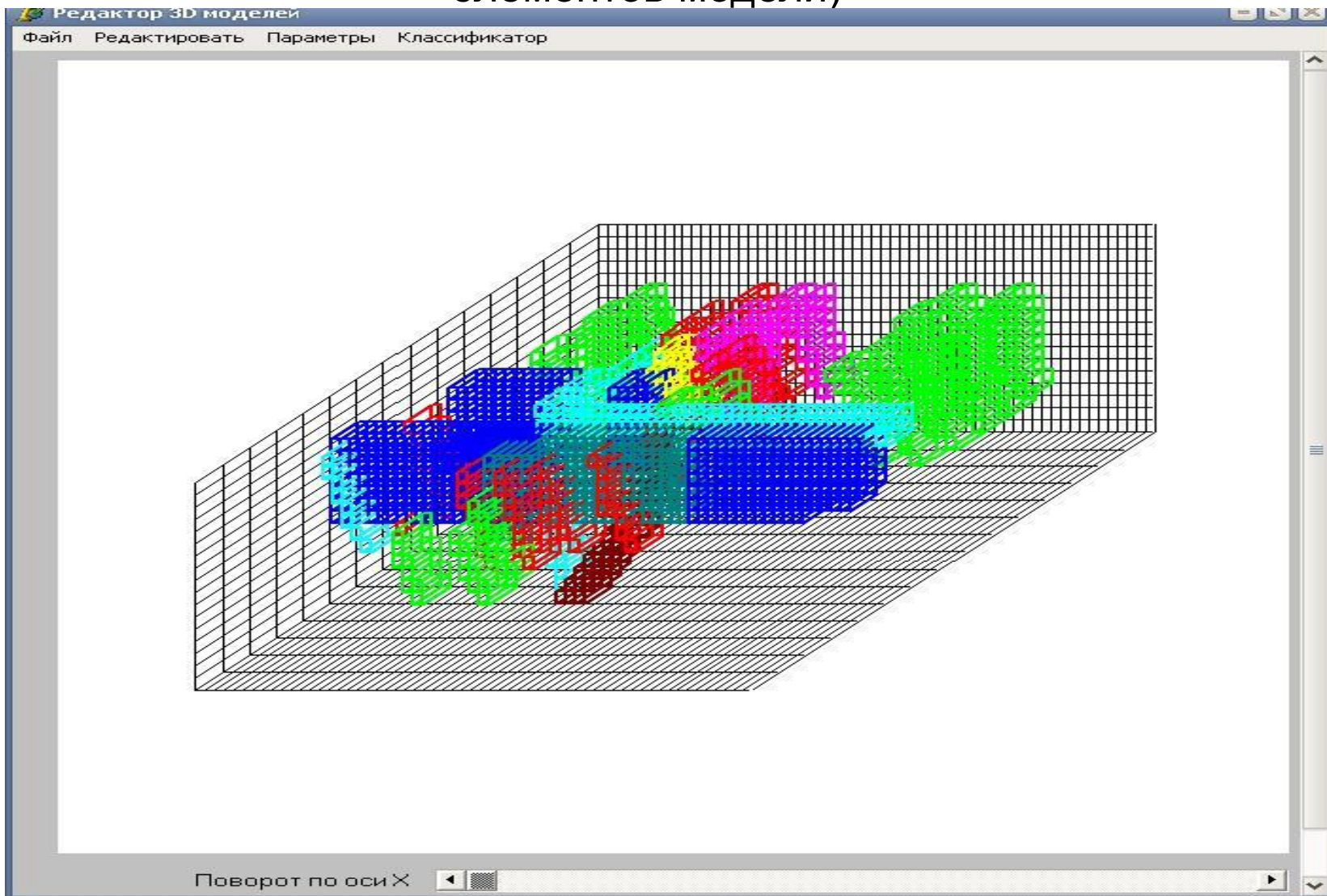
•Пример создания модели (геоэлектрический план)
Петропавловского золото-сульфидного месторождения



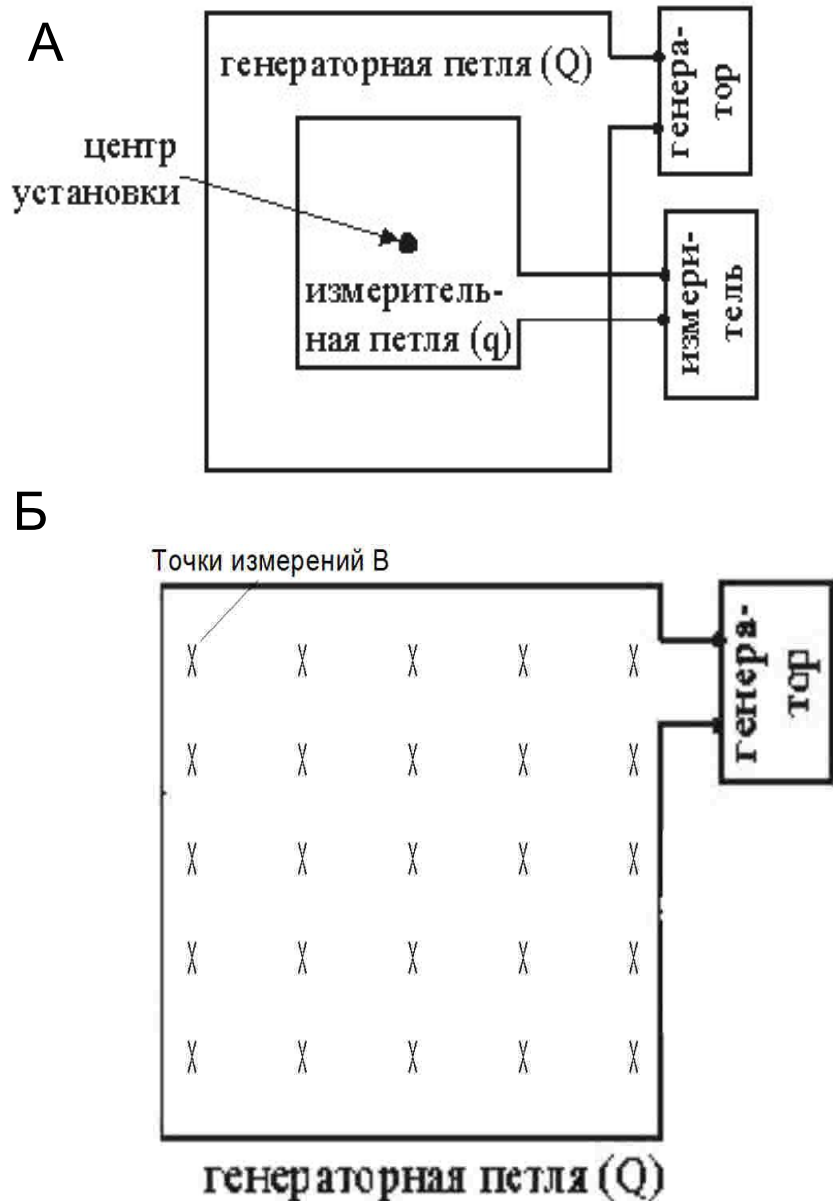
Геоэлектрический разрез Петропавловского золото-сульфидного месторождения



АксонOMETрическая геоэлектрическая модель Петропавловского золото-сульфидного месторождения (1024 элементов модели)



Зондирование становлением поля



- Физическая основа импульсной индуктивной электроразведки сводится к следующему.
- При ступенчатом изменении тока (включении или выключении) в генераторной петле в среде возникает неустановившееся электромагнитное поле. Глубина проникновения поля в землю возрастает с увеличением времени, прошедшего с момента включения или выключения тока в генераторной петле, и называемого временем становления поля. При этом измеряемый в приемной петле (А) или специальном датчике (Б) сигнал спадает изменяясь сложным образом. Зависимость сигнала в точке наблюдения от времени становления называется кривой становления поля.
- Вид кривой становления определяется распределением электропроводности и поляризуемости в разрезе.
- Новизна реализованной технологии состоит в использовании высокочувствительной и помехозащищенной аппаратуры и площадных измерений специальным датчиком вектора магнитной индукции (В).

Результаты измерения методом ЗСБ.

Меднорудное месторождение порфирирового типа.

Совмещённые петли

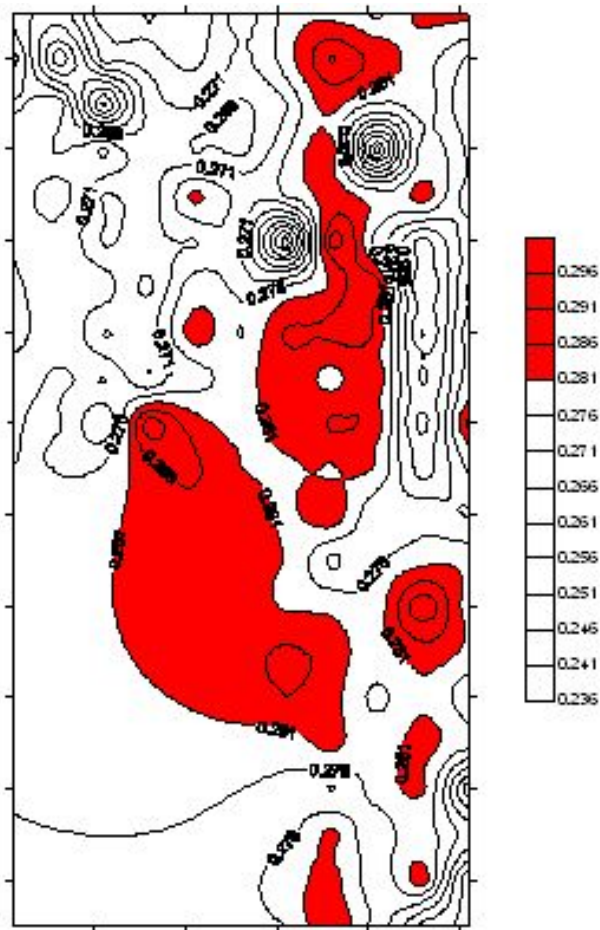
250x250 метров



Планы изолиний поляризуемости и кажущегося сопротивления

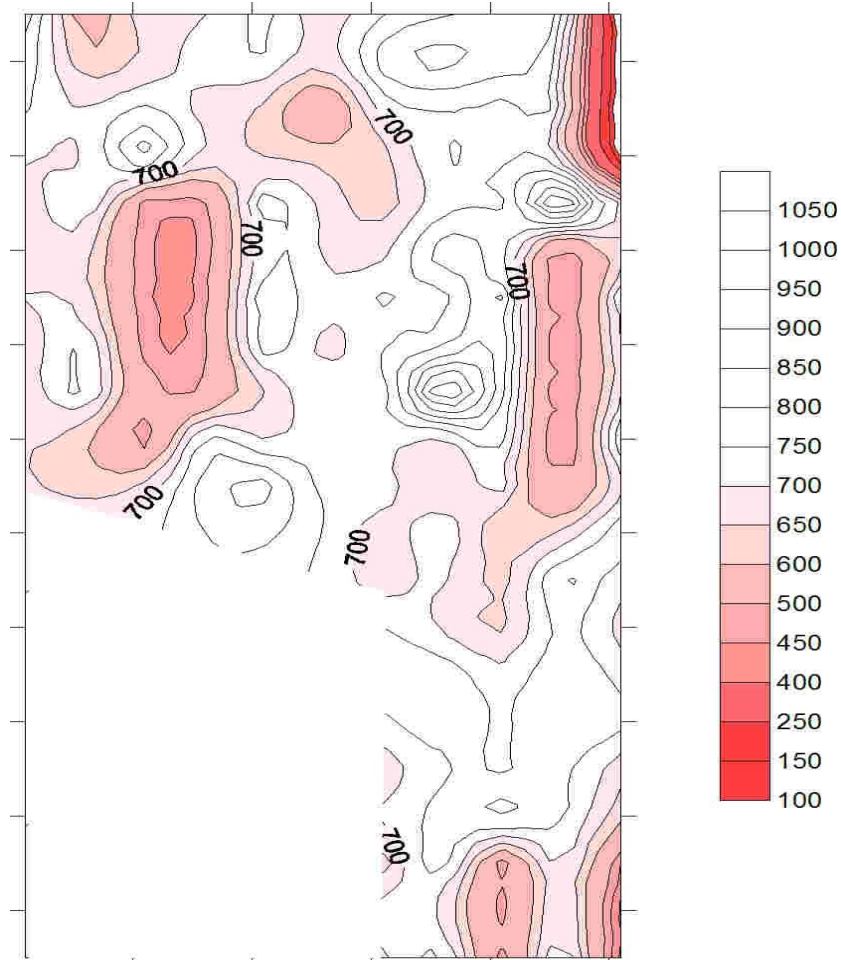
поляризуемость (отн.ед)

1

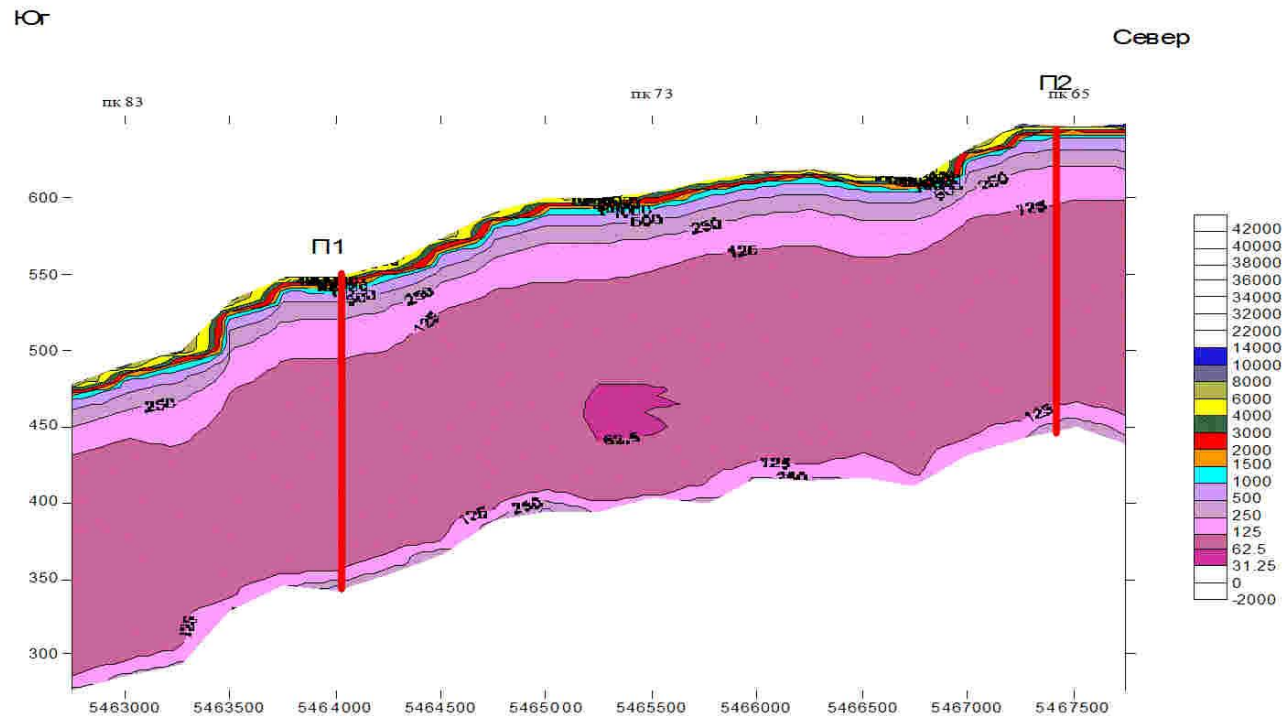
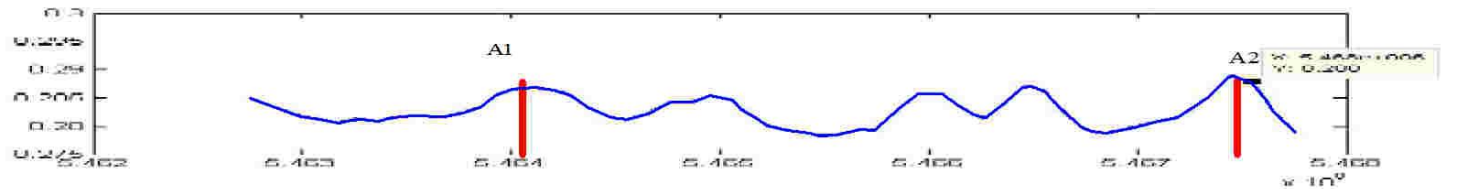


1

Кажущееся сопротивление ($\text{Ом}\cdot\text{м}$)



Геоэлектрический разрез и график поляризуемости по профилю 1-1



П1 и П2 - положение осей проектных скважин.

Метод импульсного заряда

- Классический метод заряда с измерением потенциала электрического поля (Семенов М.В., Сапожников В.М., Авдевич М.М., Голиков Ю.В. *Электроразведка рудных полей методом заряда*. - Л.: Недра, 1984. - 216 с.) широко применялся с середины 50-х годов для поисков и разведки сплошных рудных тел, обладающих очень высокой электропроводностью. (до 0.01-10 Омм). К ним относятся сплошные медно-колчеданные, медно-цинковые и медно-никелевые руды. Руды, имеющие вкрапленную и порфировую структуру в большинстве случаев слабо отличаются по электропроводности от вмещающих пород и применение классического метода заряда на таких объектах не имеет смысла.

В настоящее время реальным объектом поисков и разведки являются руды вкрапленной и порфировой структуры. Для поисков и разведки таких руд эффективен **метод импульсного заряда** (Голиков Ю.В. Импульсная электроразведка методом заряда: Научное издание. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. - 273 с.), с измерением временного процесса вектора напряжённости электрического и вектора индукции магнитного поля.

Основным информационным параметром для локализации вкрапленного и порфирового оруденения является измеряемая нами переходная характеристика вызванной поляризации (ВП) на включение тока и на выключение тока (time dependent chargeability). На основе этих измерений, вычисляется ряд дополнительных параметров ВП, в частности дифференциальные и интегральные (m-фактор) характеристики процесса ВП (Дж. Р. Уэйт. Геоэлектромагнетизм. М. Недра, 1987.-235с).

Обручевское полиметаллическое месторождение

- Расположено в 8 км к юго-западу от г. Лениногорска (Восточный Казахстан). Рудовмещающие породы представлены осадочным, вулканогенно-осадочным и вулканогенным комплексами. Глубина залегания рудных тел колеблется от 800 до 1100 м, мощность рудных подсечений - от 5 до 60 м. Залегание рудных тел пологое. Полиметаллические руды в основном свинцово-цинковые, реже медно-цинковые.
- Целью работ, выполненных в 1991 году, являлось построение геоэлектрической модели месторождения с оценкой его прогнозных ресурсов. На начало наших работ на месторождении был разбурен единственный профиль по линии АБ.
- Применение классического метода заряда в данных условиях бессмысленно, так как промышленное оруденение практически не отличается по электропроводности от вмещающих пород.
-

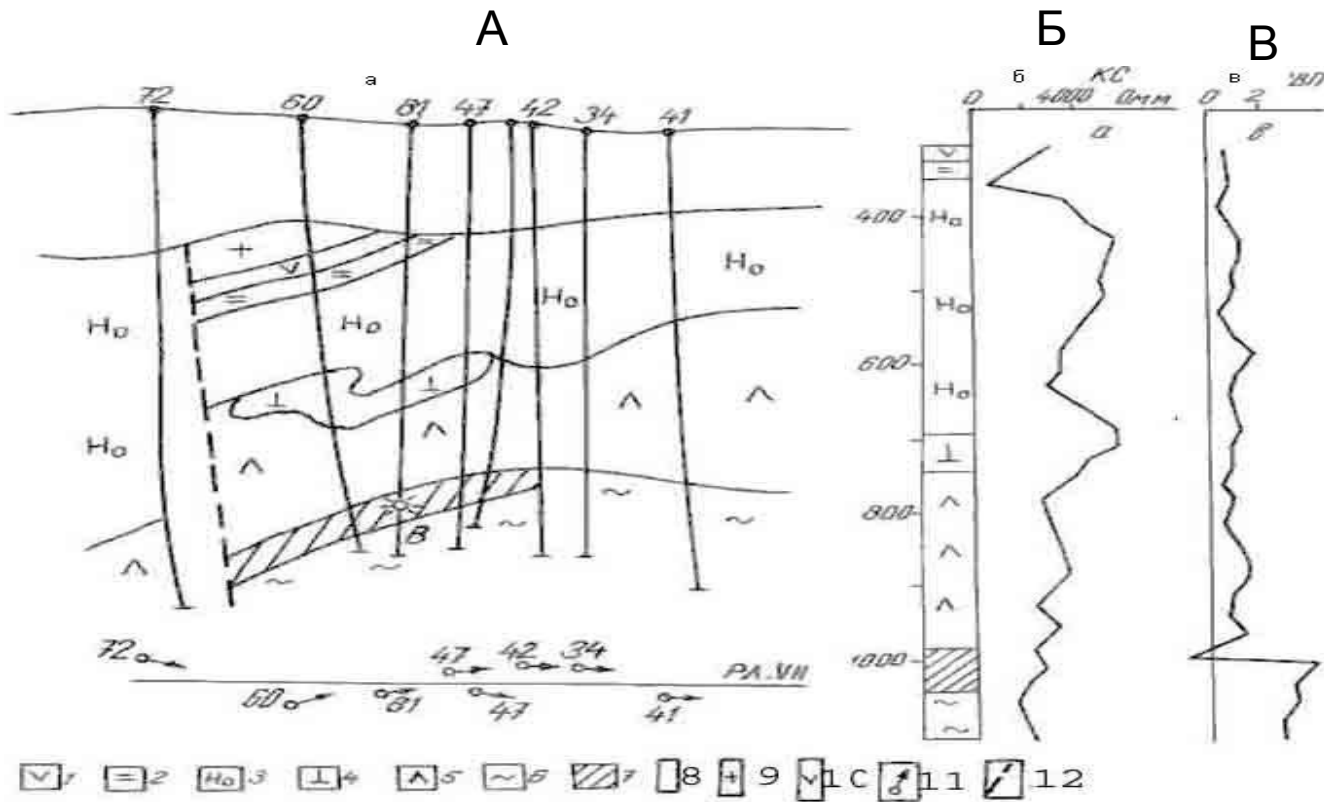
В тоже время, существенное отличие получено по скважине 81 по вызванной поляризации. Это явилось основанием для постановки работ методом импульсного заряда с измерением переходных характеристик ВП. В результате выполненных работ, на информативном времени ВП получены характерные аномалии и подобрана адекватная измеренному полю геоэлектрическая модель месторождения. По установленной нами (по данным изучения рудного керна) корреляционной зависимости между поляризуемостью и суммарным содержанием меди и свинца выполнена оценка прогнозная ресурсов месторождения. Полученный нами контур месторождения и его прогнозные ресурсы (106 тонн меди и свинца) примерно соответствуют данным разведки, завершённой в 1993 году.

Удельное сопротивление (Ом м) и поляризуемость (%) руд промышленных кондиций керна скважины 81 Обручевского полиметаллического месторождения

Глубина, м	Описание образца	Cu, Pb, Zn %	Ом*м	η %
972,5	Полиметаллическая руда в хлоритолите	0,45 ;1,7; 1,87	1843	3,2
988	Медно-цинковая руда в хлоритолите	1,5; 0,04; 5,9	2184	18,5
1013	Метасоматит кварцевый с пиритом и халькопиритом	1,3;0,05;0 ,25	2209	13,8

Среднее значение η % по рудному интервалу скважины 81 составляет величину около 12%, в то время как вмещающие породы имеют η % порядка 1%.

Геологический разрез (А), каротаж КС(Б) и каротаж ВП(В) по скважине 81 Обручевского полиметаллического месторождения

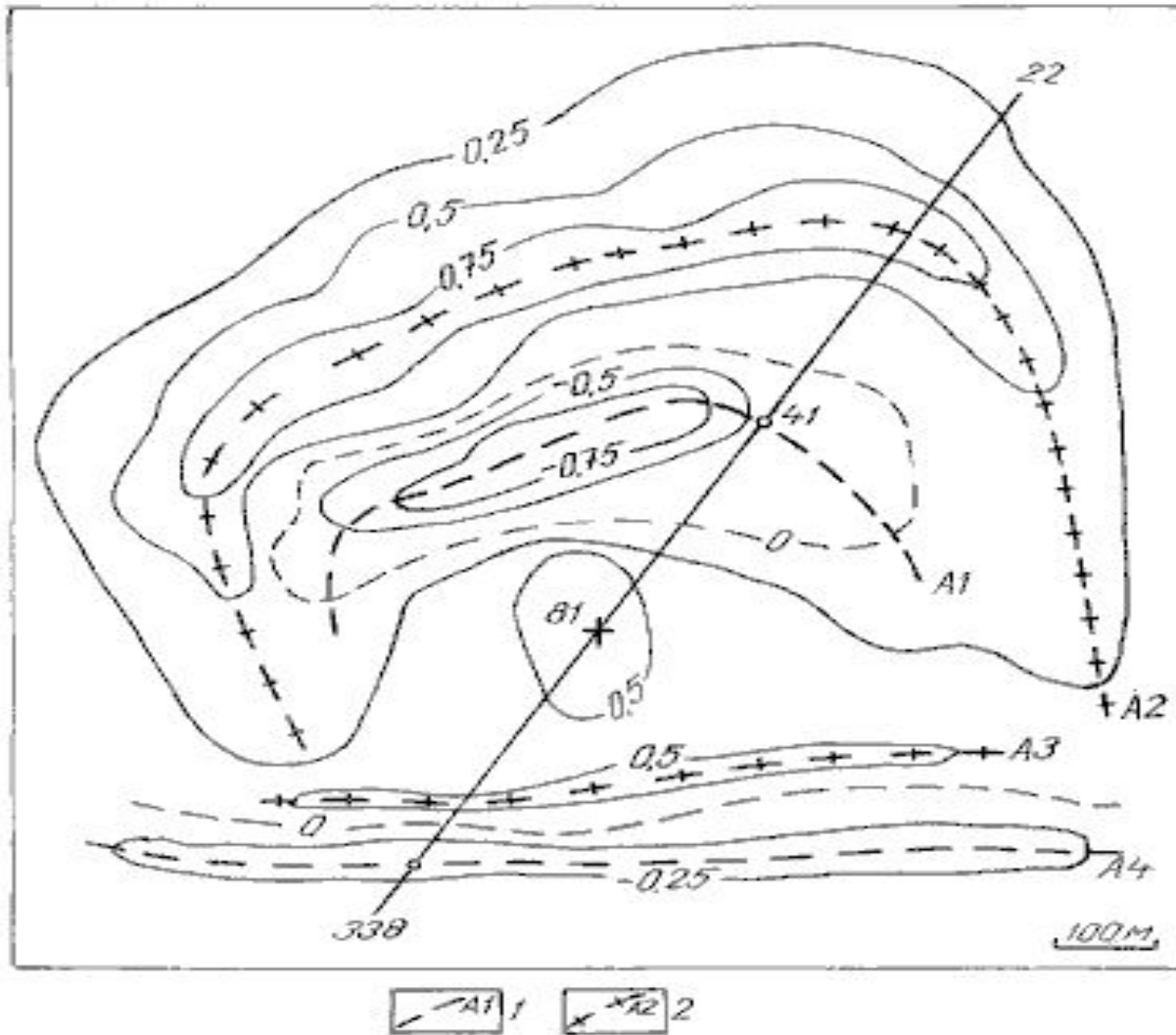


- 1 - диабазы; 2 - алевролиты;
- 3 - липариты; 4 - туфогенно-осадочные породы; 5-андезитовые порфириты;
- 6 - метасоматиты; 7 – полиметаллические руды;
- 8 - четвертичные и валунно-галечные отложения;
- 9 – граниты; 10-диабазы; 11 – положение разведочных скважин; 12 – тектонические нарушения.

Корреляционные зависимости суммарного содержания меди и свинца от величины вызванной поляризации на временах спада 1 и 19 мс.

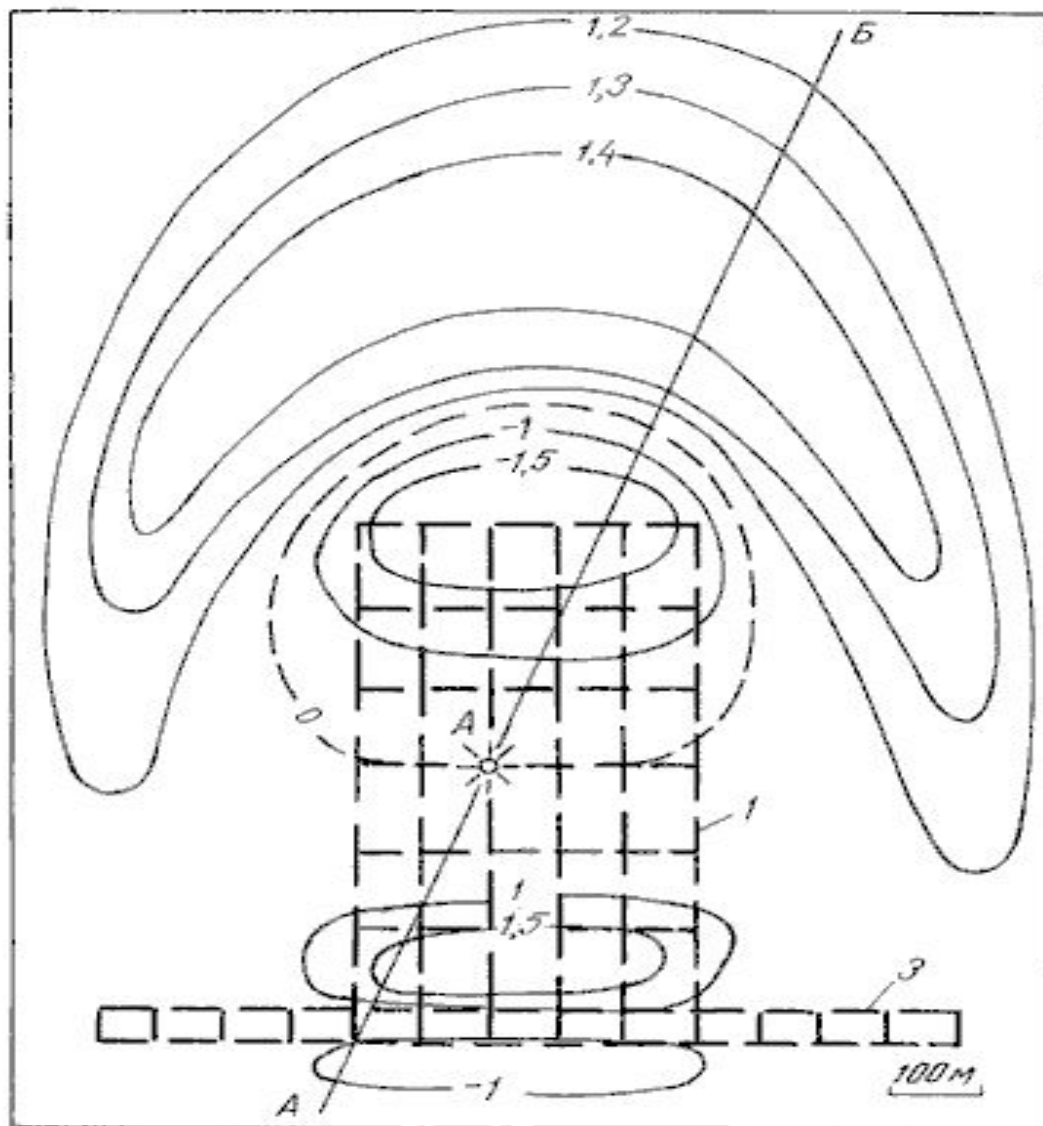
Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
1. $(\text{Cu}+\text{Pb}) \% = 0,057x (\eta_k 1 \text{ мс} \%) + 0,63$	0,674
2. $(\text{Cu}+\text{Pb}) \% = 0,14x (\eta_k 19 \text{ мс} \%) + 0,15$	0,886

План изолиний Евп (Нз=1060 м в скв. 81). Обручевское полиметаллическое месторождение



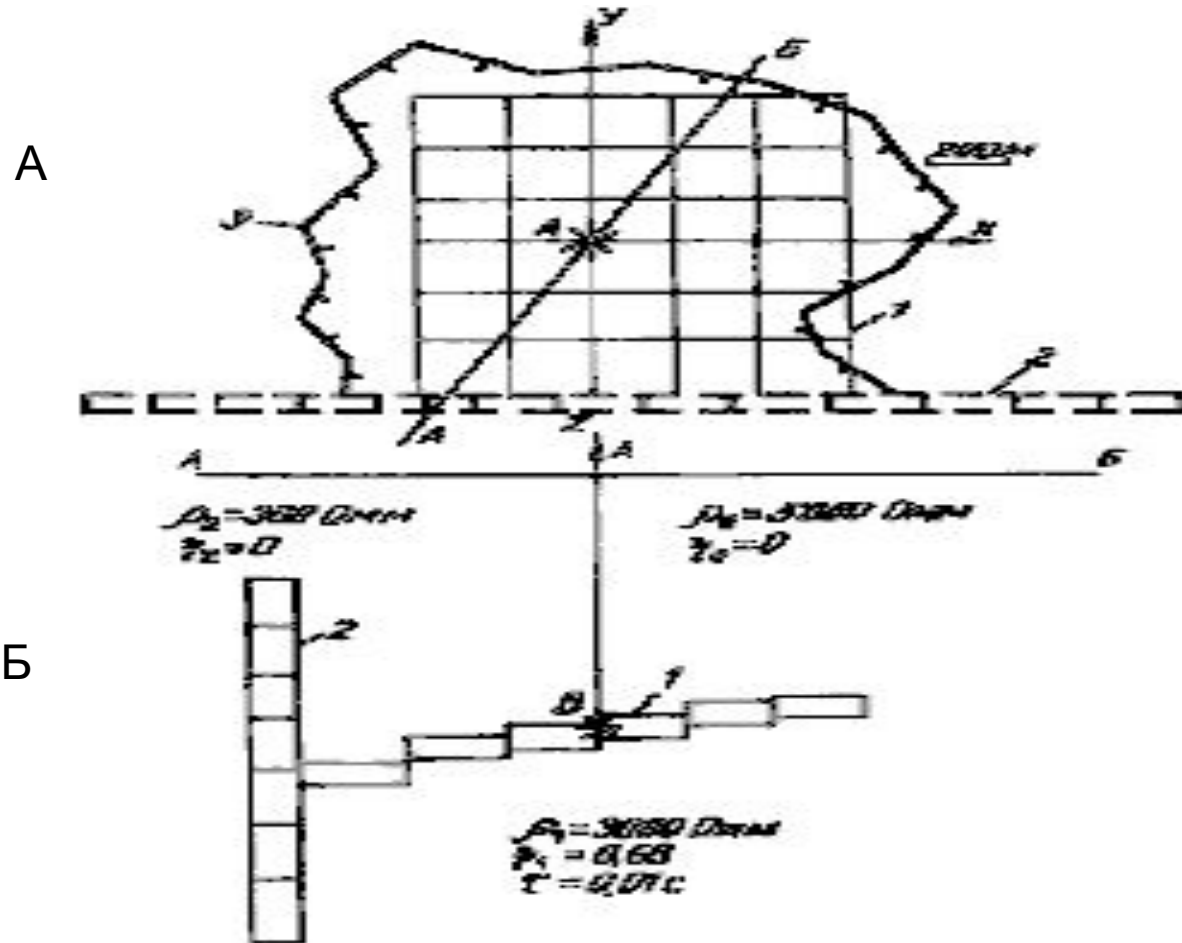
- A1,A2 - оси отрицательных; A3,A4 – оси положительных аномалий

План изолиний $E_{гвп}$ ($H_3=1060$ м в скв. 81) вычисленное для модели. Обручевское полиметаллическое месторождение



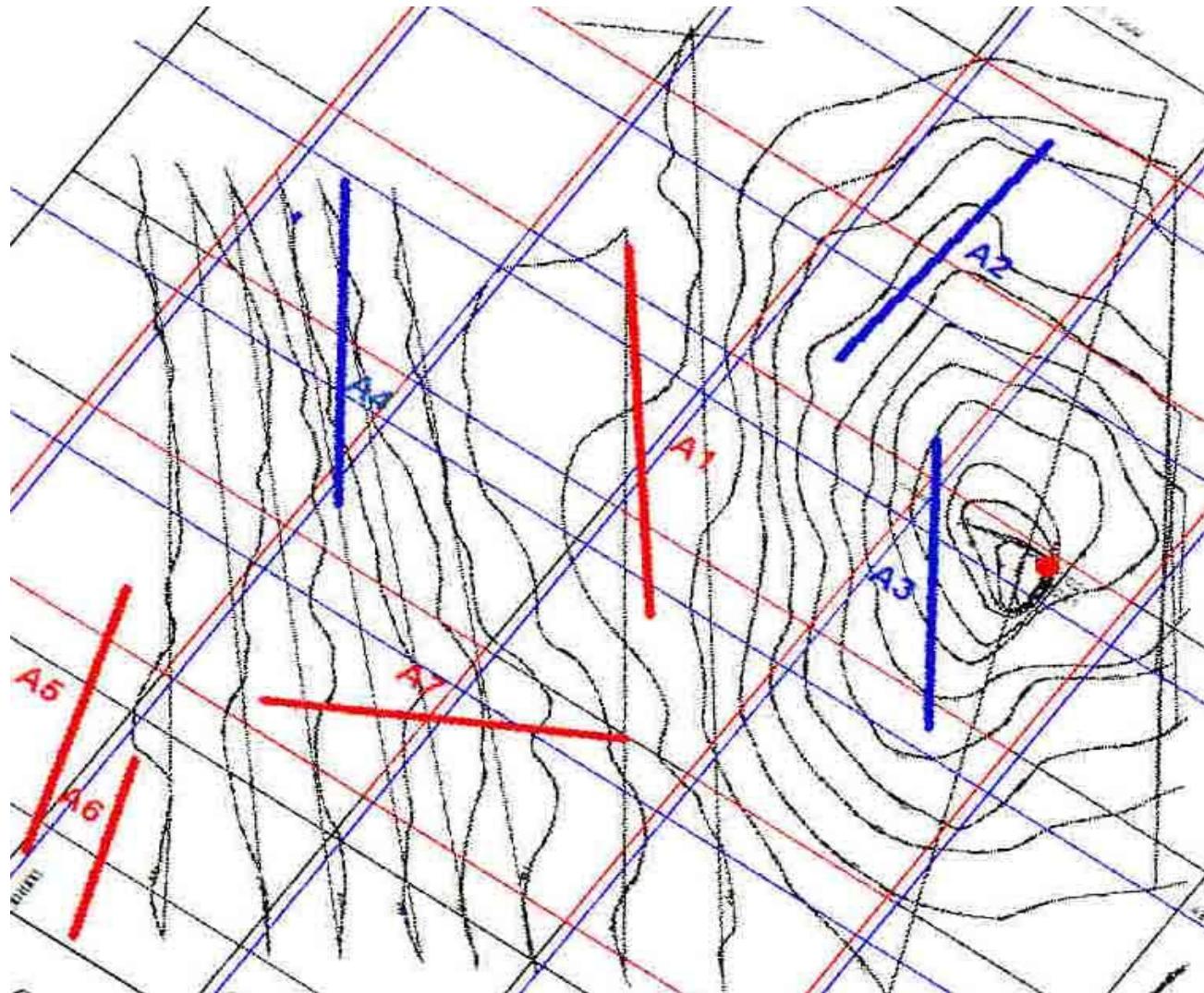
Проекция модели на дневную поверхность (А) и разрез по линии А-Б (Б).

Обручевское полиметаллическое месторождение.



Поисковый участок в Восточном Казахстане

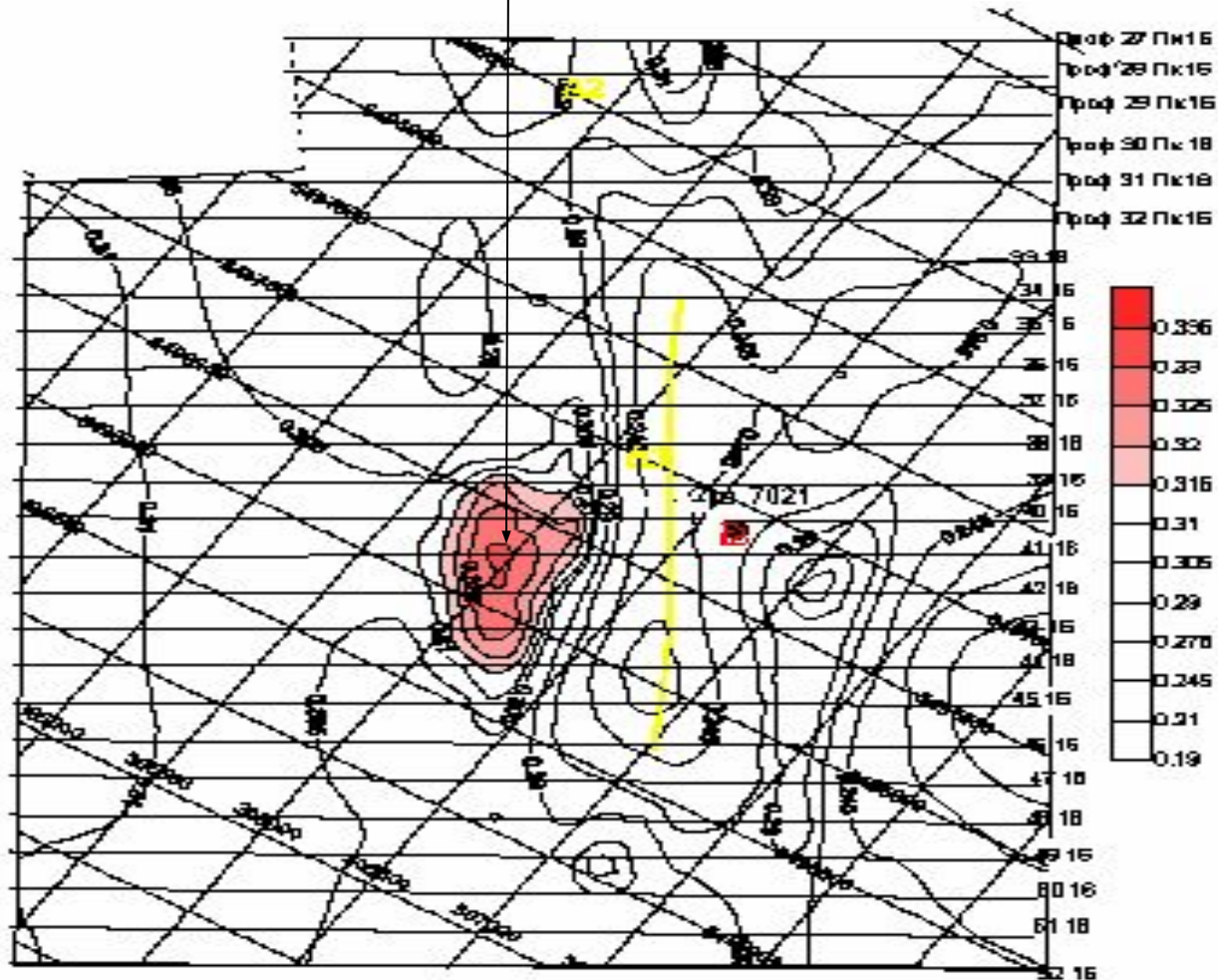
План изолиний потенциала
метода заряда (по Сморокову Ю., 2007)



Поисковый участок в Восточном Казахстане

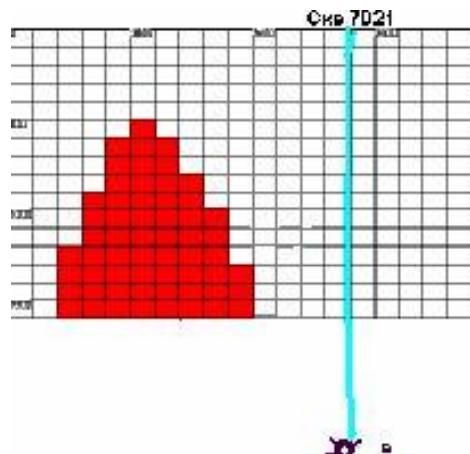
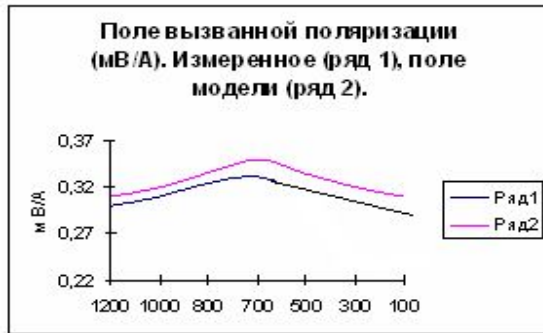
- На этой площади получена одна существенная по размерам (1000 на 600 метров) и интенсивности аномалия ВП В результате математического моделирования подобрана адекватная измеренному полю модель объекта и выполнена оценка его прогнозных ресурсов по суммарному содержанию меди и свинца (порядка 2×10^6 тонн).

План изолиний потенциала вызванной поляризации (по Голикову Ю.2007)

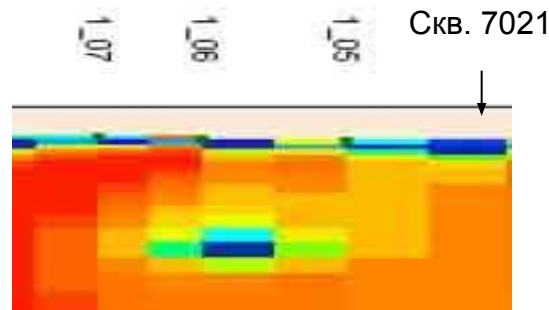


Подбор модели для полученной аномалии ВП (А), разрез по данным АМТЗ (Б, по А.Г. Яковлеву, 2007) и аксонометрическая проекция полученной модели (В).

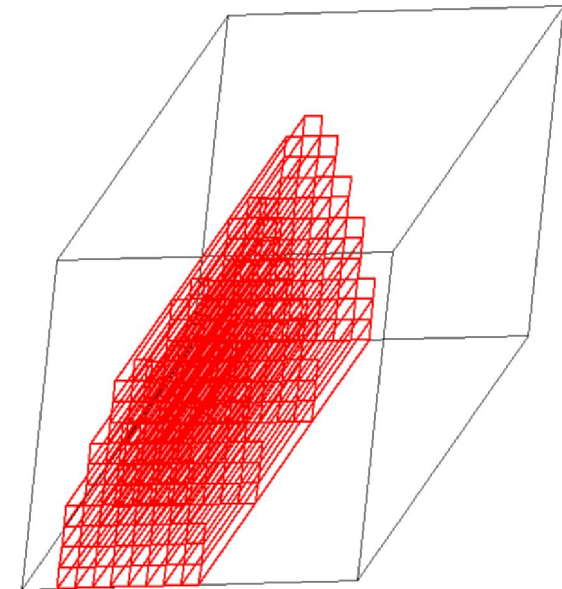
А



Б



В



Список основных объектов работ

Тип месторождения	Название	Местоположение
Кимберлитовые трубки	Файштейновская трубка	Якутия п. Айхал
Серебряное рудопроявление	Перевальное	Магаданская обл. п. Дукат
Золото - сульфидное	Петропавловское	ХМАО г. Лабытнанги
	Кумтор	Киргизия п. Барскаун
Медно - колчеданное	Узельгинское, Озерное, Чебачье	Челябинская Обл.
	Александринское	
	Левобережное	Оренбургская Обл.
Полиметаллическое	Обручевское	Восточный Казахстан
Медно - порфировое рудопроявление	Хайрузовское	

Контактное лицо:
профессор, д.г-м.н. Голиков Юрий
Владимирович
Т/ф: (343) 217-82-74, 217-82-76,
217-82-71 Моб.: 8-950-635-41-40,
e-mail: geo@enad.ru