

Санкт-Петербургский государственный университет

**ДОРОХОВА Екатерина Витальевна**

**Выпускная квалификационная работа**

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКЕ КОЛЧЕДАНЫХ МЕДНО-  
ЦИНКОВЫХ РУД УРАЛА НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА УТКИНСКИЙ  
(КРАСНОУРАЛЬСКИЙ РАЙОН СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Основная образовательная программа магистратуры

«Геология»

Профиль «Геофизика»

Научный руководитель: к. геол.-мин. н.  
доцент КАШКЕВИЧ Марина Петровна

Рецензент: генеральный директор ООО  
«Полевая геофизика» ИВАНОВ Андрей Ильич

Санкт-Петербург

2018

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1. Характеристика колчеданных месторождений.....	5
1.1. Классификация колчеданных месторождений Урала .....	5
1.2. Модель формирования месторождений Уральского типа. ....	14
Глава 2. Петрофизические особенности колчеданных руд .....	18
Глава 3. Геофизические методы при изучении колчеданных месторождений .....	25
3.1. Краткое геолого-геофизическое описание месторождений Яман-Касы, медно-колчеданного месторождения на Южном Урале и Приорское.....	25
Глава 4. Геофизические работы при поиске колчеданных медно-цинковых руд на участке Уткинский .....	31
4.1. Геолого-географическое описание участка работ .....	31
4.2. Последовательность применения геофизических методов при поисках рудных залежей на участке Уткинский.....	33
Глава 5. Результаты работ .....	35
Заключение.....	48
Список литературы.....	49

## **Введение**

Медь – это металл, который используется человеком ещё с глубокой древности. По уровню потребления она занимает третье место. Её свойства весьма разнообразны: она обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью, хорошей обрабатываемостью под давлением, а также способностью образовывать востребованные промышленные сплавы с цинком, алюминием, никелем, железом и др.[1]

Основным источником меди являются колчеданные месторождения.

Колчеданными месторождениями называются залежи сернистых (сульфидных) соединений металлов в недрах Земли, имеющие промышленное значение. К данным месторождениям приурочены руды, которые сложены преимущественно сульфидами железа. Руды этих месторождений являются важным сырьевым источником меди, цинка, свинца, серы, барита, золота, серебра, редких и рассеянных элементов[12].

Колчеданные месторождения, распространенные на всех континентах, формировались с позднего архея и до настоящего времени.

Представления о генезисе этих месторождений менялись по мере их изучения. Изначально существовала гидротермальная теория рудообразования колчеданных месторождений, согласно которой данные месторождения рассмотрены как гидротермально-метасоматические образования, связанные с орогенными гранитоидными интрузиями и посторогенными малыми интрузиями. Некоторые исследователи связывали образование колчеданных месторождений с гипотезой рудных магм, т.е. как следствие инъекции сульфидного расплава.

Большой вклад в познание геологии сульфидных колчеданных месторождений и их генезиса внёс Александр Николаевич Заварицкий – профессор кафедры рудных месторождений и петрографии Ленинградского горного института, а также автор работы в трёх томах о горе Магнитной, принесшей ему мировую известность [4]. В 1936 году А.Н. Заварицкий выдвинул гипотезу, согласно которой вулканические очаги являются источником рудоносных гидротермальных растворов. Концепция связи колчеданных месторождений с вулканизмом и гидротермально-осадочного генезиса колчеданных руд получила дальнейшее развитие в работах Б.И.Вейц (1953г.), Т.Ватанабе (1956г.), К.Офтедаля(1958г.), В.И.Смирнова (1959г.) и др. [27]

По литературным данным, в мире известно более 1300 месторождений различных типов, в которых заключено около 1,5 млрд. т меди. Россия обладает около 15% разведанных запасов, занимая 9-е место в мире. Основные запасы меди размещены на Урале, в Западной Сибири, Прибайкалье [1].

Крупные месторождения медно-колчеданных руд являются основой минерально-сырьевой базы металлургической промышленности России, поставляя в первую очередь медь и цинк, а также такие металлы как свинец, золото, серебро и т.д. В связи с всё более возрастающими потребностями промышленной отрасли России особенно остро стоит вопрос поисков новых крупных месторождений и увеличение запасов известных.

На одном из колчеданных месторождений Южного Урала летом проводились геофизические исследования с целью поиска колчеданных медно-цинковых руд, в которых автор принимал участие. Целью данной работы является выбор оптимального комплекса геофизических методов на разных стадиях поисков колчеданных медно-цинковых руд и оценка его эффективности.

Перед автором стояли следующие задачи:

- 1) Поиск и обобщение имеющейся информации о колчеданных месторождениях: изучение классификации колчеданных месторождений по генезису, типам, формациям и т.д.; изучение модели формирования колчеданных месторождений, роли гидротермальных процессов при их образовании;
- 2) С учетом петрофизических особенностей колчеданных руд формирование физической модели, характерной для Уральского типа месторождений. Определение набора методов, которыми могут быть найдены данные руды;
- 3) Сравнение геофизических полей на различных колчеданных месторождениях;
- 4) Изучение геологии исследуемого участка и описание методики геофизических работ, выполненных на нём;
- 5) Интерпретация полученных результатов.

При решении поставленных задач автором изучен, проработан и использован большой объём различных научных статей, публикаций и книг.

## Глава 1. Характеристика колчеданных месторождений

### 1.1 Классификация колчеданных месторождений Урала

Существуют различные классификации колчеданных месторождений.

*По генезису* выделяются:

-) Вулканогенные гидротермально-осадочные. Представлены в виде согласных пластовых залежей массивных руд (Урал, Большой Кавказ, Рудный Алтай). В основании рудных залежей преобладают серно-колчеданные руды, переходящие выше в пирит-халькопиритовые, а затем в галенит-сфалеритовые. Руды образованы в результате отложения сульфидного вещества из поствулканических растворов на дне моря [29];

-) Вулканогенные гидротермально-метасоматические. Образуют зоны прожилково-вкрапленных руд среди туфов, лав и субвулканических пород. Рудные тела образованы в результате замещения вулканогенных пород под воздействием паров и газов (Малый Кавказ). Данный тип месторождений встречается редко [29];

-) Комбинированные вулканогенные гидротермально-метасоматически-осадочные. В контурах рудных тел объединены гидротермально-осадочные и гидротермально-метасоматические руды (Гайское месторождение) [29]

Также выделяют *типы и формации* колчеданных месторождений:

-) *Кипрский тип (серно-медно-колчеданная кобальтоносная рудная формация)*. Месторождения данного типа сложены пиритовыми рудами с небольшой примесью кварца. Месторождения Кипрского типа образованы в спрединговых обстановках. Они пространственно и генетически связаны с недифференцированным базальтовым вулканизмом [30]. Примерами месторождений являются Брокен-Хилл (Австралия), месторождения Скуриотиса (Кипр), Оутокумпу (Финляндия), Лёккен (Норвегия) и др. [31];

-) *Уральский тип (медно-цинково-колчеданная рудная формация)*. Месторождения данного типа образованы в островодужных вулканических поясах. В данных структурах широко развиты контрастная (риолит-базальтовая), характерная для ранних стадий эволюции энсиматических островных дуг, и непрерывная (базальт-андезит-дацит-риолитовая) вулканогенные формации. Для месторождений, локализованных в породах контрастной формации (Юбилейное, Сибайское, Учалинское), характерны низкие содержания примесей сурьмы и серебра или полное их отсутствие. Для месторождений, локализованных в породах непрерывной формации (Гайское, Молодёжное), фиксируются повышенные содержания сурьмы, золота и

серебра [13]. Данный тип месторождений содержит либо медно-колчеданные, либо медно-цинково-колчеданные руды [32].

Ведущим по распространению и масштабности объектов является *Уральский медно-цинково-колчеданный тип*. Эти месторождения сформированы в островодужных структурах, заложенных на океанической коре. Их подразделяют на два подтипа: первый связан с вулканитами контрастной риолит-базальтовой формации, а второй - с продуктами кислого вулканизма в породах непрерывной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации. Сходство этих подтипов заключается в том, что: колчеданные залежи вместе с продуктами кислого вулканизма тяготеют к верхним частям разреза рудоносных формаций; рудные тела локализованы на двух-трёх литолого-стратиграфических уровнях; общий вертикальный диапазон распространения рудных тел от 100 м до 400 м и сопоставим с мощностью кислых вулканитов. Различия связаны с тем, что во-первых, в рудах, связанных с контрастной формацией по сравнению с непрерывной, содержания Cu и Zn более низкие, и практически отсутствует Pb. Во-вторых, среди попутных компонентов отсутствуют сурьма и серебро. А в-третьих, месторождения в породах непрерывной формации проявляют обогащённость на верхних уровнях рудных тел Zn, Pb, Sb, As, Au, Ag [1].

Большая часть месторождений данного типа распространена на Урале. Это и делает Урал одной из крупнейших колчеданоносных провинций мира (табл.1) [11];

*Таблица 1. Доля ( %) Урала в мировом балансе колчеданных руд [11]*

Основные показатели	В объектах Кипрского типа	В объектах Уральского типа	В объектах Рудноалтайского (Куроко) типа	В объектах Филлизчайского типа	В целом
Руда	15,9	57,9	1,6	1,5	20,9
Медь	6,1	48,8	2,1	0,3	24,6
Цинк	3,6	51,4	1,2	0,8	9,2
Свинец	-	67,3	0,6	0,2	1,4

-) *Рудноалтайский (Куроко) тип (медно-цинково-колчеданная свинецсодержащая рудная формация)*. Месторождения данного типа приурочены к зрелым энсиалическим островным дугам и локализованы в пределах подвижных поясов[31]. Месторождения пространственно и генетически связаны непрерывными риолит-андезит-базальтовыми формациями. Данный тип развит на Рудном Алтае

(Зыряновское, Тишинское), в Прибайкалье (Холодненское), Забайкалье (Озерное), в Японии (Куроко) и др. [34];

-) *Филизчайский тип (Бесши) (свинцово-цинково-колчеданная рудная формация)*. Месторождения данного типа сформированы в пределах внешних (невулканических) островных дуг на удалении от центров спредингово вулканизма. Они локализованы в терригенных флишоидных толщах складчатых поясов. Тип Бесши представлен медно-цинково-колчеданными рудами, связанными с недифференцированной базальтовой субформацией [35].

Объекты первых двух типов сформированы в структурах, образованных на коре океанического типа и при решающей роли ювенильного материала. Образование месторождений рудноалтайского (куроко) и филизчайского типов связывают со значительным участием континентальной коры, существовавшей в период рудообразования.

К такому разделению колчеданных месторождений по типам и формациям, независимо от их возраста и географического положения, склоняется большинство исследователей.

На Урале присутствуют все четыре типа колчеданных месторождений, различающихся по формациям, способам формирования и минеральному составу.

Среди колчеданосных структур Урала выделяются палеовулканические пояса, отдельные их блоки и зоны, которые по особенностям строения в той или иной мере сопоставимы с выделяемыми Г. А. Твалчрелидзе геотектоническими типами геосинклиналей. Это дало основание для выделения на Урале соответствующих типов колчеданосных районов и месторождений, различающихся химическим и минеральным составом руд, а также их ролью в запасах и прогнозных ресурсах (табл. 2-4) [11].

Таблица 2. Распределение колчеданных месторождений Урала по рудноформационным типам и возрастам [11]

Возраст (уровень)	Тип			
	Кипрский (серно-медно-колчеданная кобальтоносная формация)	Уральский (медно-цинково-колчеданная рудная формация)	Рудноалтайский (Куроко) (медно-цинково-колчеданная свинецсодержащая рудная формация)	Филизчайский (свинцово-цинковоколчеданная рудная формация)
C <sub>1</sub>			Каракум, Кнальколь, Баксайс и др.	
D <sub>2</sub> (карамалыташский)		Сафьяновское, Касаргинское, Дегтярское, Учалинское, Сибайское, Гайское, Подольское, Осеннее, Летнее и др.	Александринское, Джусинское, Барсучий Лог, Сабановское и др.	Амурское
S <sub>2</sub> -D <sub>1</sub> (баймак-бурибаевский)		Юбилейное, Бурибаевское, Зюзельское, Калатинская группа	Баймакская, Красноборско- Горельская группа, Мелентьевское	
O <sub>3</sub> -S <sub>1</sub> (шемурско-медногорский)		Ново-Шемурское, Красноуральская группа, Блявинское, им.Ш Интернационала, Комсомольское, Яман-Касы и др.	Валенторское, Галкинское, Северо- Калугинское, Павдинская группа	

<b>Возраст (уровень)</b>	<b>Тип</b>			
	<b>Кипрский (серно-медно-колчеданная кобальтоносная формация)</b>	<b>Уральский (медно-цинково-колчеданная рудная формация)</b>	<b>Рудноалтайский (Куроко) (медно-цинково-колчеданная свинецсодержащая рудная формация)</b>	<b>Филизчайский (свинцово-цинковоколчеданная рудная формация)</b>
O <sub>1-2</sub>	Ишкининское, Ивановское, Дергамышское, Арамильское, Ключевское, Медногорское и др.			Нижне-Талотинское

Кипрский, Уральский, Куроко и Бесши типы отличаются не только рудными формациями, но и палеотектоническими позициями, вмещающими формациями, содержаниями меди, цинка, свинца, а также золота и серебра. Эти отличия представлены в таблице 3.

Таблица 3. Типы колчеданоносных районов Урала [11]

Типы районов	Кипрский	Уральский	Рудноалтайский (Кууроко)	Филизчайский
Палеотектоническая позиция	Внутри- и окраинно-континентальные рифтовые зоны	Первичногеосинкли-нальные палеовулканические пояса и зоны	Вторичногеосинкли-нальные палеовулканические пояса и зоны	Флишевые прогибы во фронтальных и фланговых частях палеовулканических поясов (глубоководные окраинно-континентальные прогибы)
Продуктивные формации вулканогенных (вулканогенно-осадочных) пород	Базальтовая	Базальт-риолитовая, базальт-андезит-дацит-риолитовая	Базальт-риолитовая, базальт-андезит-дацит-риолитовая	Теригенно-флишеидная (теригенно-вулканомиктовая)
Преобладающий состав промышленных руд	Медные, серно-медные	Медные, медно-цинковые, цинковые	Медно-свинцово-цинковые, золото-барит-полиметаллические	Цинковые, свинцово-цинковые с баритом
Соотношения содержаний Cu, Zn, Pb (%), Au, Ag (г/т)	Cu-1,06; Zn-0,25; Pb-0; Co-0,04; Ni-0,1-0,4; Au-0,58; Ag-4,53; присутствует Pt до 1-2 г/т	Cu-1,36; Zn-1,45; Pb-0,08; Au-1,05; Ag-16,3	Cu-2,63; Zn-3,54; Pb-0,75; Au-2,78; Ag-31,4	Cu-0,09; Zn-3,25; Pb-0,4; Au-0,2; Ag-12,4
Соотношения содержаний Cu, Zn, Pb, Au, Ag	Zn:Cu=0,24 Pb:Cu=0 Ag:Au=7,8	Zn:Cu=1,1 Pb:Cu=0,06 Ag:Au=15,5	Zn:Cu=1,35 Pb:Cu=0,3 Ag:Au=11,3	Zn:Cu=36,1 Pb:Cu=4,4 Ag:Au=62

Типы районов	Кипрский	Уральский	Рудноалтайский (Куроко)	Филизчайский
Соотношение (%) в запасах: руды/ Cu+Zn+Pb	$\frac{1,8}{0,8}$	$\frac{94,9}{93,6}$	$\frac{1,4}{3,2}$	$\frac{1,9}{2,4}$
Соотношение (%) в прогнозных ресурсах Cu+Zn+Pb	1,4	86,5	6,1	6,0
Примеры, рудных районов, месторождений и рудопроявлений	Ишкининское, Ивановское, Дергамышское, Медногорское и др.	Гайский, Подольский, Красноуральск ий, Дегтярский, Учалинский, Сафьяновский, Верхнеуральск ий, Блявинское, Комсомольское и др.	Валенторское, Галлкинское, Баймакский, Павдинский, Джусинский и др.	Амурское, Правобережно е, Центральное, Водораздельн ое и др.

Что касается минерального состава, то, если рассматривать главные минералы, он довольно схож. В каждом из них главным минералом является пирит. Однако есть и отличия. Например, если сравнивать Кипрский и Уральский типы, то видно, что в Уральском типе также главными являются халькопирит и сфалерит. Чего нет в Кипрском типе (табл.4)

Таблица 4. Минеральный состав руд колчеданных месторождений [11]

Минералы	Тип			
	Кипрский	Уральский	Рудноалтайский (Кууроко)	Филизчайский
Главные	Пирротин, пирит	Пирит, халькопирит, сфалерит	Пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, барит	Сфалерит, галенит, пирит, барит
Широко распространенные	Магнетит, халькопирит	Борнит (иногда главный)	Блеклые руды, самородное золото	
Второстепенные	Пентландит, кобальтин	Магнетит, гематит, пирротин, галенит	Пирротин, магнетит, борнит, халькозин, энаргит	Халькопирит
Редко встречающиеся	Кубанит, валлериит, никелин, бравоит, миллерит	Блеклые руды, ковеллин, халькозин, арсенопирит, марказит, самородное золото	Арсенопирит, магнетит, пирротин, халькозин	Пирротин, магнетит, блеклые руды, марказит
Очень редко встречающиеся	Арсенопирит, платиноиды	Энаргит, валлериит, ильменит, теллуру-висмутит, маккиनावит, ильваит, рутил, кубанит, халькозин и др.	Ковеллин, самородное серебро, валлериит, рутил, арсенопирит, молибденит	

Наиболее крупные месторождения, относящиеся к Уральскому типу, расположены на Урале и содержат более 70% общих разведанных запасов медно-колчеданных руд. Эти известные крупные месторождения находятся в основном на границах Западно-Магнитогорского палеовулканического пояса и в северной части Восточно-Магнитогорского пояса (рис.1).

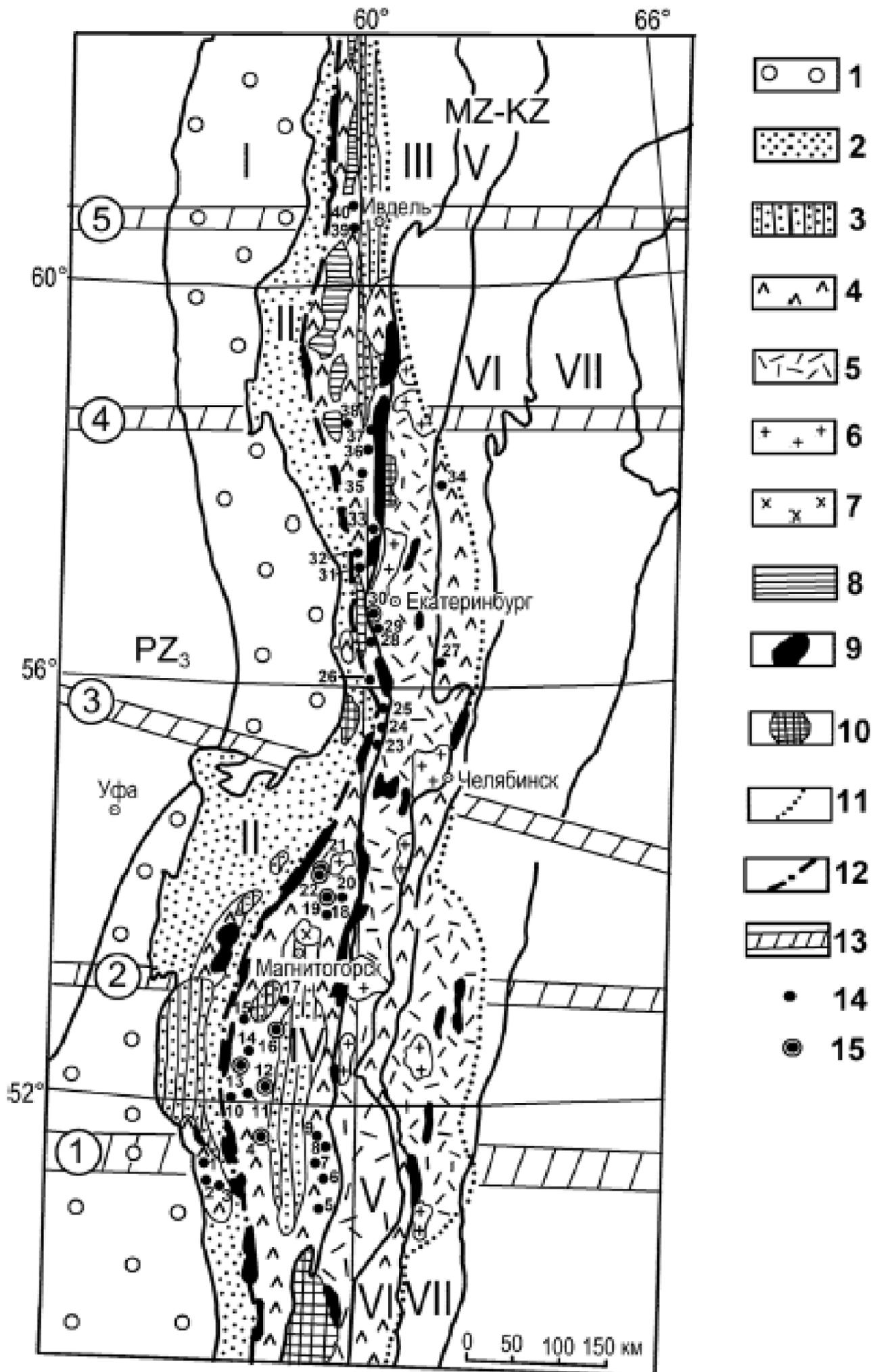


Рисунок 1. Схема расположения на Урале медно-колчеданных месторождений и зон поперечных разломов [19]

I – Предуральский прогиб, II – Центрально-Уральское поднятие, III – Тагильский прогиб, IV – Магнитогорский прогиб, V – Восточно-Уральское поднятие, VI – Восточно-Уральский прогиб, VII – Зауральское поднятие. 1 – средне-позднепалеозойские осадочные породы; 2 – позднепротерозойские отложения; 3 – среднепалеозойские осадочные породы; 4 – ранне-среднепалеозойские островодужные вулканы: базальтовая, риолит-базальтовая и базальт-андезитобазальтовая формация; 5 – средне- и позднепалеозойские вулканы; 6 – гранитоиды; 7 – диориты; 8 – дунит-пироксенит-габбровые комплексы; 9 – ультрамафиты; 10 – щелочно-ультраосновные массивы; 11 – восточная граница обнажений палеозойских пород; 12 – Главный Уральский разлом; 13 – зоны поперечных разломов (цифры в кружках): 1 – Гайско-Сакмарская, 2 – Магнитогорская (Агаповская), 3 – Каратауская, 4 – Красноуральско-Уткинская, 5 – Ивдельско-Вишерская; 14-15 – медноколчеданные месторождения: 14 – рядовые, 15 – крупные: 1 – Блявинское, 2 – Комсомольское, 3 – Яман-Касы, 4 – Гайское, 5 – Весеннее, 6 – Осеннее, 7 – Западно-Ащевутакское, 8 – Барсучий Лог, 9 – Джусинское, 10 – Бурибайское, 11 – Маканское, 12 – Подольское, 13 – Юбилейное, 14 – Вишиевское, 15 – Тубинское, 16 – Сибайское, 17 – Бакр-Узякское, 18 – Чебачье, 19 – Узельгинское, 20 – Молодёжное, 21 – Учалинское, 22 – Ново-Учалинское, 24 – Ворошиловское, 25 – Дзержинское, 26 – Маукское, 27 – Султановское, 28 – Чусовское, 29 – Зюзельское, 30 – Дегтярское, 31 – Карпушинское, 32 – Левихинское, 33 – Им. III интернационала, 34 – Сафьяновское, 35 – Красногвардейское, 36 – Чернушинское, 37 – Калугинское, 38 – Кабанское, 39 – Ново-Шемурское, 40 – Тарньерское.

## 1.2 Модель формирования месторождений Уральского типа.

Среди мировых типов колчеданных месторождений Уральский тип занимает центральное место между Кипрским и Куроко типами. Среди колчеданных месторождений на Уральский тип приходится 44% объектов. В них заключено 43,8% запасов руды, 61,2% - меди, 19,5% - цинка, 2,7% - свинца и 25,2% - суммы металлов [11]. Характерным для месторождений данного типа являются медно-цинково-колчеданный состав руд, их массивное сложение, а также залегание среди вулканогенных пород риолит-базальтовой формации. В основном преобладает линзообразная форма рудных тел, согласных с напластованием вмещающих пород. Рудные тела колчеданных месторождений Уральского типа на 80-95% сложены пиритом, халькопиритом и сфалеритом. По соотношению меди и цинка, месторождения Уральского типа делятся на медно-колчеданные ( $Cu > Zn$ ) и медно-цинково-колчеданные ( $Cu < Zn$ ) [22].

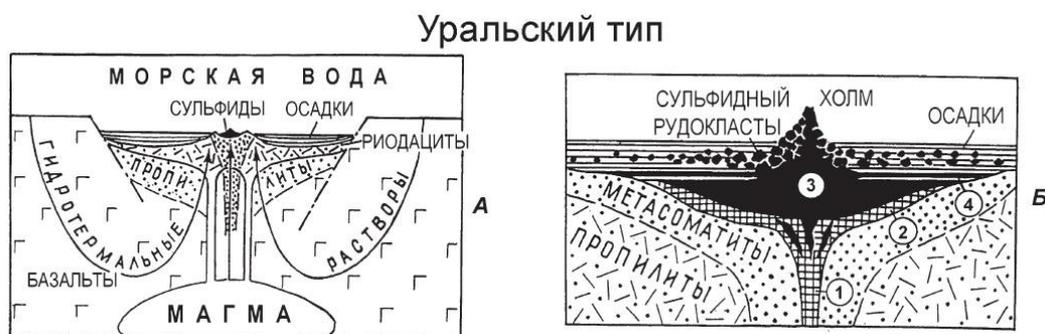


Рисунок 2. Принципиальная модель рудогенерирующей вулканической постройки (А) и медно-цинковоколчеданной залежи (Б) Уральского типа [22]

Модель колчеданных месторождений Уральского типа создана доктором геолого-минералогических наук Игорем Борисовичем Серавкиным. Он написал более 260 научных работ, одной из которых является работа о данной модели, о формировании месторождений данного типа [33].

В своей работе [22] Серавкин И.Б. говорит о том, что рудообразование, связанное с обстановкой завершения базальтового вулканизма (рис. 2А), начиналось с пропилитизации вмещающих пород, а также формирования гидротермально-осадочных пиритовых залежей. На более поздних стадиях начиналось захоронение рудных залежей под вулканитами и осадками, а рудообразование продолжалось метасоматическим способом. Происходило отложение минералов меди, цинка и других элементов на пиритовую основу. В более зрелых рудно-магматических системах, включающих большие объёмы кислых расплавов, рудообразование связано с формированием контрастных и непрерывных комплексов. При рудообразовании

важная роль отводилась кислым экструзивным куполам и субмаринным кальдерам. Последние, при своём формировании, способствуют активной циркуляции морских вод по различным трещинам, которые, попадая в зоны магматических очагов, приводят к образованию рудогенерирующих конвективных гидротермальных ячеек. На рис.2 А видно, что модель представляет собой постройку кальдерного типа с центральным палеовулканом и магматическим очагом под ним. Этот очаг является энергетическим источником, который приводит в движение гидротермальную конвективную систему. На флангах постройки вдоль кальдерных разломов морская вода поступала в область магматического очага, нагревалась, а затем поднималась к морскому дну, на уровне которого происходило рудоотложение. На путях циркуляции растворов, как нисходящих, где морская вода имела низкие температуры, так и восходящих, где температура раствора поднималась до 400 град. гидротермы «выщелачивали» из вмещающих пород петрогенные (K, Ca, Mg), а также рудообразующие и сопутствующие компоненты, которые отлагались в области геохимического барьера. Основным из них было морское дно и накопившиеся в его депрессиях рыхлые осадки [22].

Модель колчеданной рудной залежи (рис. 2 Б) включает три главных элемента: рудопроводящий канал, основную область рудоотложения и сульфидный холм. Рудопроводящими каналами обычно служат зоны тектонического брекчирования. Область рудоотложения в типичном виде представляет собой депрессию, подобную ванне [23]. По И.Б. Серавкину (2001) основная область рудоотложения – дно моря и небольшой слой илистых осадков, а также подстилающие вулканиты (туфы, эффузивы, экструзивные брекчии), которые раздроблены в результате контакта морской воды с лавой, а в дальнейшем разрушены гальмиролизом и процессами гидротермального метаморфизма. В верхней части рудопроводящего канала и в зоне раздробленных вулканитов отложение сульфидов происходило метасоматическим путём. В депрессиях, заполняющихся сульфидными илами и терригенными осадками, процессы седиментогенного и метасоматического отложения сульфидов переплетались между собой. Чередующиеся слои глинистого, алевро-песчанистого и сульфидного материала под воздействием новых порций раствора подвергались метасоматозу. В итоге они полностью (или частично) замещались сульфидами. В верхней зоне рудоотложения преобладали процессы хомогенного осаждения сульфидов, выпадавших из гидротермальных растворов при их смешении с морской водой [22].

Также, параллельно с процессами, перечисленными выше, над рудопроводящими каналами происходило формирование сульфидных холмов, которые

затем разрушались. Их разрушение приводило к образованию горизонтов рудокластов (см. рис. 2 Б).

В своей работе [22] И.Б. Серавкин отмечает, что вектор образования зональности рудных тел, характерной для уральских колчеданных месторождений, направлен не только снизу вверх (от подошвы к кровле), но и по латерали, т.е. от рудопроводящих каналов к флангам. Это объясняется автором как: 1) последовательным накоплением сульфидов Fe, Cu и Zn по мере роста сульфидного тела снизу вверх и в стороны от рудопроводящего канала; 2) так и перераспределением Cu и Zn из-за растворения цветных металлов в нижних частях залежей, а затем их переотложения на более высоких уровнях сульфидных тел. Регулировались эти процессы отложения и переотложения, главным образом, температурным фактором.

Более подробно реконструкция первичных обстановок рудообразования и их трансформация изображены на рисунке 3 [11].

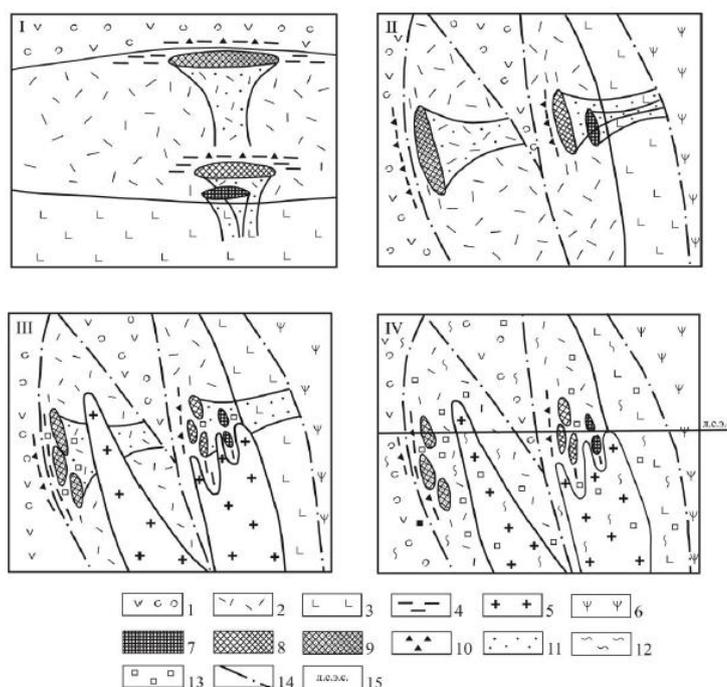


Рисунок 3. Преобразования рудоконтролирующих структур Тагило-

Красноуральского колчеданосного района (по Е.С. Контарю, Л.Е. Либаровой) [11]:

1 – базальт-андезитобазальтовая формация – преимущественно туфы пироксен-плагиофировых базальтов и андезитобазальтов; 2-3 – базальт-андезит-дацит-риолитовая формация: 2 – андезитодациты, дациты, риодациты; 3 – базальты, андезитобазальты; 4 – вулканомиктовые, вулкано-осадочные породы; 5 – плагиограниты; 6 – серпентинизированные ультрамафиты; 7 – серноколчеданные руды нижнего уровня; 8 – медноколчеданные руды среднего уровня; 9 – медно-цинковоколчеданные свинецсодержащие руды верхнего уровня; 10 – рудокласты; 11 – минерализованные гидротермально измененные породы; 12 – рассланцевание; 13 – регенерированное оруденение; 14 – тектонические нарушения; 15 – линия современного эрозионного среза.

I-IV – стадии образования и преобразования рудоконтролирующих структур

Разрез представлен тремя толщами: нижней, средней и верхней. В нижней части преобладают базальты, чередующиеся с андезитодацитами и дацитами. В средней толще развиты, преимущественно, андезитодациты. А в верхней – дациты и андезитодациты, чередующиеся с базальтами и андезитобазальтами. При общем крутом падении на восток разрез наращивается на запад, что свидетельствует о запрокинутом залегании.

Колчеданные руды и связанные с ними месторождения размещены на трёх литолого-стратиграфических уровнях (см. рис. 3) [11].

Нижнему уровню отвечает граница базальтовой и андезитодацитово́й толщ. Здесь находятся месторождения Восточное, Заводское, группа Айвинских и др., образованные, преимущественно, вкрапленными серно-колчеданными рудами с небольшими объёмами медно-колчеданных. Средний уровень приурочен к средней части андезитодацитово́й толщи. На этом уровне расположены такие месторождения, как Северное, Знаменское, Чернушинское, Красногвардейское и др., образованные медно-колчеданными и небольшим количеством медно-цинковых руд. Верхнему уровню принадлежат месторождения (им. III Интернационала, Ольховской, Чадарской групп), залегающие в верхней части андезитодацитово́й толщи под перекрывающими вулканитами базальт-андезитобазальтовой формации. Здесь преобладают свинцово-медно-цинковые руды с высокими содержаниями золота и серебра [11].

## Глава 2. Петрофизические особенности колчеданных руд

Ранее описан минеральный состав руд колчеданных месторождений (см. табл.4).

Колчеданные руды состоят из различных рудных минералов, петрофизические особенности которых представлены в таблице 5.

Таблица 5. Физические свойства рудных минералов колчеданных месторождений

Минералы	Плотность $\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	УЭС $\rho$ , Ом*м	Магнитная восприимчивость $\alpha$ , *10 <sup>-5</sup> ед. СИ
Галенит	7,4-7,6	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-3</sup>	-3,3
Золото	15-17	2,200*10 <sup>-8</sup>	
Магнетит	5-5,1	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-1</sup>	(88-250)*10 <sup>4</sup>
Пирит	4,9-5	10 <sup>-4</sup> – 10 <sup>-1</sup>	
Пирротин	4,7	10 <sup>-5</sup> – 10 <sup>-4</sup>	13-130
Серебро	10,3-11	1,600*10 <sup>-8</sup>	
Сфалерит	3,9-4	10 <sup>-5</sup> – 10 <sup>-7</sup>	6,5
Халькопирит	4,1-4,3	10 <sup>-3</sup> – 10 <sup>-1</sup>	

*Магнитные свойства.* По магнитным свойствам руды большинства месторождений почти немагнитны. Их магнитная восприимчивость достигает значений (1-20)\*10<sup>-5</sup> ед. СИ. Если в рудах присутствует пирротин, то значения  $\alpha$  увеличиваются до (600-1000)\*10<sup>-5</sup> ед. СИ (Южный Урал). Магнитная восприимчивость вмещающих пород зависит от типа пород. Осадочные практически немагнитны [(0-35)\*10<sup>-5</sup> ед. СИ]. Среди метаморфических пород наиболее магнитными являются хлоритовые, амфиболовые, зеленые и другие сланцы. Их магнитная восприимчивость достигает (10-350)\* 10<sup>-5</sup> ед. СИ. Вулканогенные породы, в зависимости от состава, обладают различными значениями магнитной восприимчивости. У кислых пород  $\alpha$  достигает (0-60)\* 10<sup>-5</sup> ед. СИ, у средних – (50-250)\*10<sup>-5</sup> ед. СИ, у основных – (350-3000)\*10<sup>-5</sup> ед. СИ. Однако под воздействием гидротермального метаморфизма породы могут терять свои магнитные свойства. Аналогичная ситуация наблюдается и при метасоматических изменениях (хлоритизации, серицитизации, пиритизации и т.д.) Уменьшение значений магнитной восприимчивости пород обратно пропорционально интенсивности их изменения [16].

*Упругие свойства.* Медно-колчеданные руды характеризуются высокими значениями плотности, которые изменяются в зависимости от текстуры руды: массивные – 3,7-4,8 г/см<sup>3</sup>, прожилково-вкрапленные - 3,0-4,0 г/см<sup>3</sup>, вкрапленные 2,7-3,7 г/см<sup>3</sup>. Что касается плотности вмещающих пород, то она меняется в зависимости от

состава пород. Осадочные породы имеют плотность 2,58-2,68 г/см<sup>3</sup>, метаморфические - 2,65-2,9 г/см<sup>3</sup>. Плотность вулканогенных пород меняется в зависимости от их основности. У кислых разновидностей она достигает 2,52-2,65 г/см<sup>3</sup> и увеличивается до 2,72-2,95 г/см<sup>3</sup> у основных [16].

*Электрические свойства.* Колчеданные руды обладают высокой электропроводностью и поляризуемостью. Удельное электрическое сопротивление у массивных руд достигает до 1 Ом\*м, у прожилково-вкрапленных руд - до 10 Ом\*м, а у вкрапленных руд - до 20-100 Ом\*м. Вмещающие породы имеют сопротивление на один-два порядка выше, чем руды. Осадочные и метаморфические породы обладают сопротивлением от 100 до 6000 Ом\*м, а вулканогенные - от 200 до 3000 Ом\*м. Пониженные значения сопротивления руд позволяют их выделять на фоне вмещающих пород. Поляризуемость руд является очень важным поисковым признаком, так как сульфиды обладают высокими значениями кажущейся поляризуемости. Поляризуемость руд, массивных и вкрапленных, может изменяться от 15 до 40 %. А у прожилково-вкрапленных руд достигать 67%. В отличие от руд, значения поляризуемости вмещающих пород составляют первые проценты. Но при сильных изменениях и сульфидизации может достигать 10-15%, а при наличии густой вкрапленности пирита – до 50% [16].

В таблице 8 представлены физические свойства вмещающих пород и руд, которые отличаются: у вулканогенных пород - в зависимости от состава; у метаморфических пород - в зависимости от состава материнских пород, степени и характера метаморфизма, привноса, выноса или новообразования ферромагнитных минералов. У осадочных пород физические свойства мало различаются, а у субвулканических интрузивных пород они зависят от степени основности. [3].

Таблица 8. Физические свойства вмещающих пород и руд [3]

Порода и руда	$\alpha, *10^{-5}$ ед. СИ	$\sigma, \text{г/см}^3$	$\rho, \text{Ом*м}$	$\eta, \%$
<i>Вулканогенные:</i>				
Кислые	0-60	2,5-2,7	200-2000	
Средние	45-250	2,66-2,76	300-4000	
Основные	375-3150	2,72-2,95	600-6000	
<i>Осадочные:</i>				
Песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки	0-35	2,58-2,74	100-1000; 500-6000	

<i>Метаморфические:</i>				
Сланцы хлорит-серицитовые, серицит-хлоритовые	< 60	2,75	300-2000	
Хлоритовые, амфиболовые и др.	13-375	2,82-2,90	500-2000	
Кварциты	0	2,6	2000- 6000	
<i>Субвулканические интрузивные:</i>				
Андезитовые и диабазовые порфириты	880	2,7-2,76	100-3000	
Измененные неминерализованные вмещающие	1-125	2,6-2,75	15-2400	
Измененные минерализованные вмещающие	1-5000	2,75-3,10	15-2400	
<i>Медно-колчеданные руды:</i>				
Массивные с пирротином	>600	4,1-4,8	<1-10	15-45
Массивные без пирротина	6-20	3,9-4,7	<1-10	15-45
Прожилково-вкрапленные с пирротином	630	4,3	0,01	35
Прожилково-вкрапленные без пирротина	0-12	2,9-4,0	<1	15-40
Вкрапленные с пирротином	1000	3,72	<20-100	15-45
Вкрапленные без пирротина	7-20	2,6-3,7	<5	10-40
<i>Медно-цинковые руды</i>	1-20	3,1-4,1	<10	10-30

Каждый из минералов месторождений Уральского типа обладает своими петрофизическими характеристиками: значениями удельного электрического сопротивления, поляризуемости, магнитной восприимчивости, плотности и т.д. (см. табл. 5). Именно эти петрофизические особенности обуславливают выбор геофизических методов при поиске колчеданных месторождений того или иного типа.

Для поисков колчеданных руд применяют различные методы, но благодаря высоким значениям поляризуемости руд ведущим методом чаще всего является метод вызванной поляризации. В 60х годах этот метод был разработан и внедрён в практику геофизических работ российским геологом, доктором геолого-минералогических наук, профессором, а также одним из основателей современной электроразведки - Владимиром Александровичем Комаровым [37]. Вызванная поляризация, как одно из

проявлений электрохимических свойств горных пород и руд, находится в тесной связи с их составом и структурой. Как известно, горные породы состоят из различных минералов, отличающихся электропроводностью (табл. 7) [10]

Таблица 7. Перечень электропроводящих минералов [10]

Минерал	Химическая формула	Минерал	Химическая формула
Арсенопирит	$\text{FeAsS}$	Медь самородная	$\text{Cu}$
Борнит	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	Молибденит	$\text{MoS}_2$
Галенит	$\text{PbS}$	Пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$
Гаусманит	$\text{Mn}_3\text{O}_4$	Пирит	$\text{FeS}_2$
Графит и уголь (аморфный углерод)*	$\text{C}$	Пирролюзит	$\text{MnO}_2$
Золото	$\text{Au}$	Пирротин	$\text{FeS}$
Ильменит	$\text{FeTiO}_3$	Платина	$\text{Pt}$
Кобальтин	$\text{CoAsS}$	Ртуть	$\text{Hg}$
Ковеллин	$\text{CuS}$	Серебро	$\text{Ag}$
Кубанит	$\text{CuFe}_2\text{S}_3$	Титаномагнетит	$m\text{FeTiO}_3*n\text{Fe}_3\text{O}_4$
Магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Халькозин	$\text{Cu}_2\text{S}$
Марказит	$\text{FeS}_2$	Халькопирит	$\text{CuFeS}_2$
Минералы, некоторые разновидности которых обладают электронной проводимостью **			
Антимонит	$\text{Sb}_2\text{S}_3$	Касситерит	$\text{SnO}_2$
Висмутин	$\text{Bi}_2\text{S}_3$	Манганит	$\text{MnO}(\text{OH})$
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Сфалерит	$\text{ZnS}$

\* Присутствие графита и угля обуславливает высокую поляризационную способность антрацита, шунгита, многих сортов каменного угля, углистых и графитизированных сланцев и т.д. [10]

\*\* Электронная проводимость этих минералов обычно определяется примесью в них микроскопических включений других вышеперечисленных минералов [10].

Метод вызванной поляризации осуществляется с помощью заземлённой питающей линии АВ, через которую пропускают электрический ток. Под действием тока в горной породе возникает первичное поляризующее поле. Это поле, в свою очередь, приводит к возникновению вторичного электрического поля, обусловленного поляризационными процессами. Эти процессы наиболее интенсивны на границе с разным типом проводимости - ионной и электронной. В применяемой импульсной модификации метода вызванной поляризации первичное поле создаётся разнополярными относительно длительными прямоугольными импульсами тока. С помощью заземлённой приёмной линии MN в паузах между импульсами тока измеряется спадающее напряжение вторичного поля, а в момент пропускания тока - напряжение поляризующего поля. Таким образом, в методе вызванной поляризации одновременно происходит измерение поляризуемости и кажущегося удельного электрического сопротивления [17].

Петрофизические особенности колчеданных руд, полученные по результатам бурения, хорошо показаны на примере Северных Мугоджар (рис. 3).

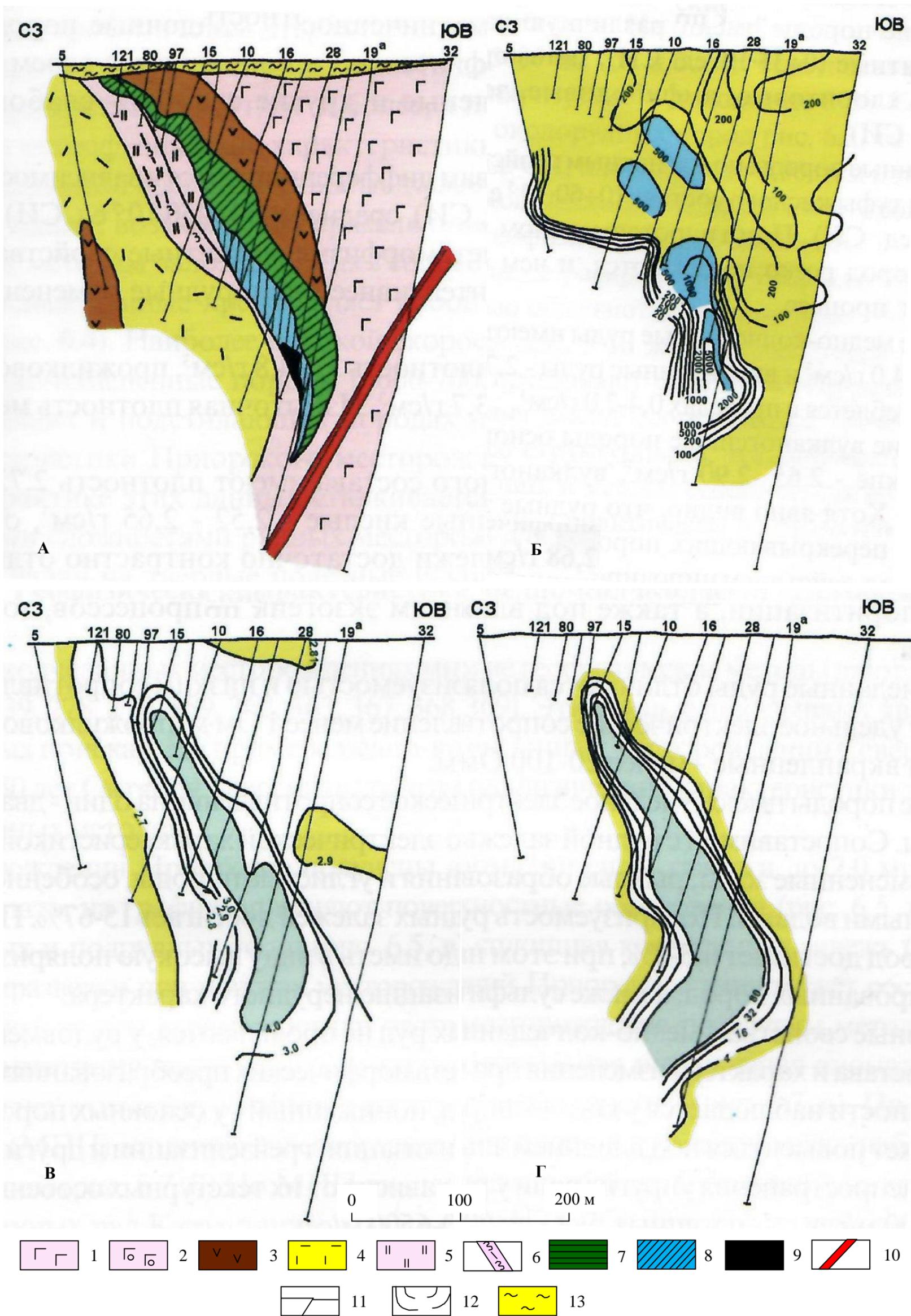


Рисунок 3. Распределение физических свойств пород и руд по ПР VI. Приорское месторождение [14].

А – схематический геологический разрез (по данным Среднеорской экспедиции ЗКТГУ). Распределение физических свойств: Б – магнитной восприимчивости; В – плотности; Г – поляризуемости; 1 – диабазовые порфиры, спилиты; 2 – агломератовые и подушечные лавы базальтов; 3 – андезитобазальты; 4 – кварцевые липаритовые порфиры и липарит-дациты; 5 – кварц-хлоритовые породы; 6 – хлоритовые породы. Промышленные руды: 7 – медноцинковые руды; 8 – медные; 9 – магнетитовые; 10 – разрывные нарушения; 11 – разведочные скважины и их номер; 12 – линии равных значений физических параметров; 13 – рыхлые отложения

Различные составы руд месторождения Северных Мугоджар являются особенностями рудной залежи, которые достаточно чётко отражаются в петрофизических характеристиках разреза. На рисунке 3 видно, что значения магнитной восприимчивости магнетитовых руд достигают 5000 ед. СИ и более. Плотность сплошных колчеданных руд достигает  $4,0 \text{ г/см}^3$ , а поляризуемость доходит до 80%.

Если рассматривать эти же петрофизические характеристики околорудных пород, то они имеют пониженные значения магнитной восприимчивости (500 ед. СИ), плотности ( $2,9 \text{ г/см}^3$ ) и поляризуемости (до 8 %) (рис.4) [14]

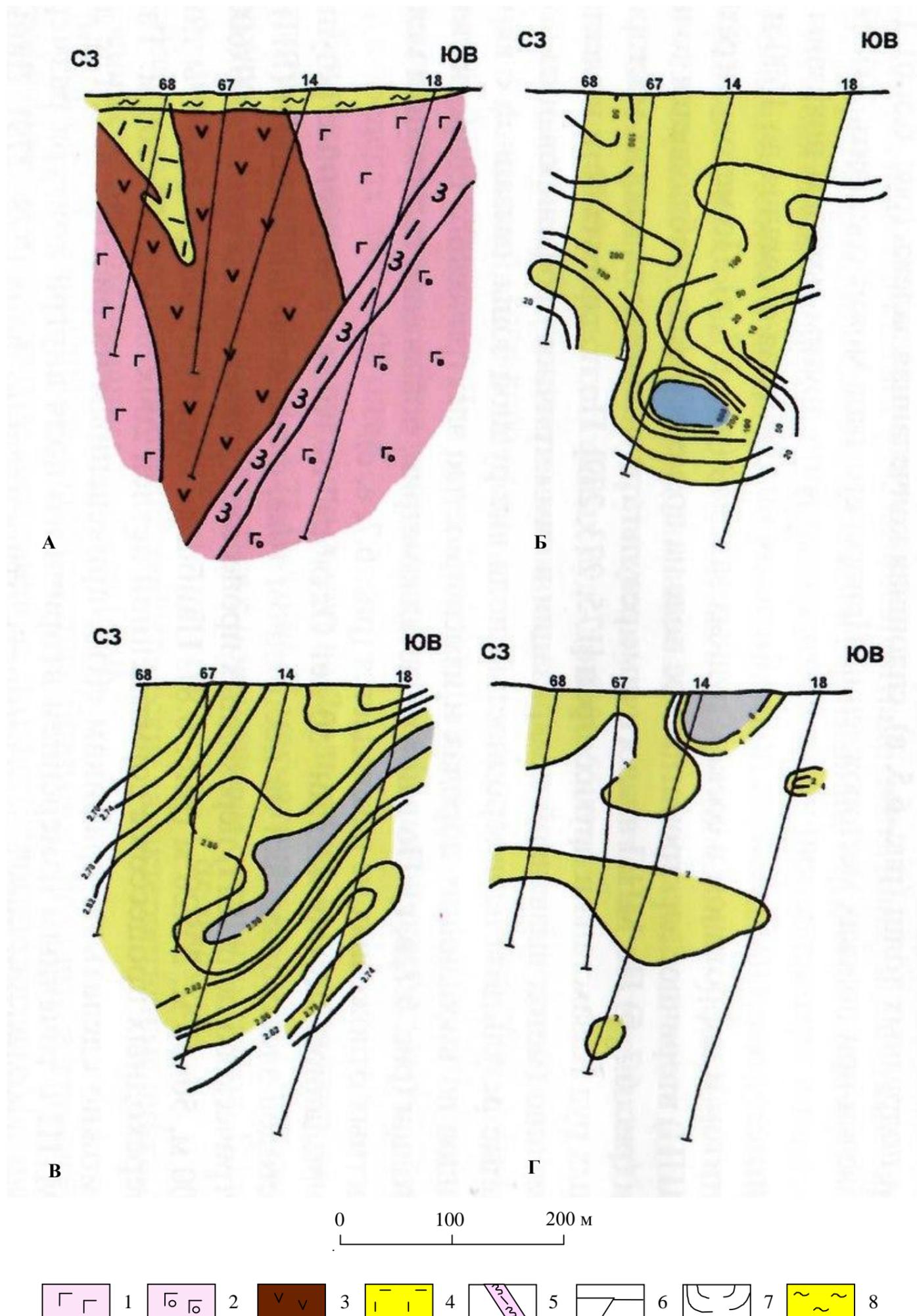


Рисунок 4. Распределение физических свойств пород по ПР XII. Приорское месторождение [14].

А – схематический геологический разрез (по данным Среднеорской экспедиции ЗКТГУ). Распределение физических свойств: Б – магнитной восприимчивости; В – плотности; Г – поляризуемости; 1 – диабазовые порфиры, спилиты; 2 – агломератовые и подушечные лавы базальтов; 3 – андезитобазальты; 4 – кварцевые липаритовые порфиры и липарит-дациты; 5 - хлоритовые породы; 6 – разведочные скважины и их номер; 7 – линии равных значений физических параметров; 8 – рыхлые отложения

### Глава 3. Геофизические методы при изучении колчеданных месторождений

#### 3.1. Краткое геолого-геофизическое описание месторождений Яман-Касы, медно-колчеданного месторождения на Южном Урале и Приорское.

##### Месторождение Яман-Касы

Колчеданное месторождение Яман-Касы расположено в 5 км к юго-западу от г. Медногорск в Оренбургской области [21].

Данное месторождение входит в состав Медногорского рудного района (Южный Урал), который относится к Сакмарской палеовулканической зоне. Рудовмещающей структурой является Блявинская синформа овальной конфигурации поперечником 10 км. Яман-Касинское медно-цинково-колчеданное месторождение является типичным представителем месторождений Уральского типа (рис. 6) [15].

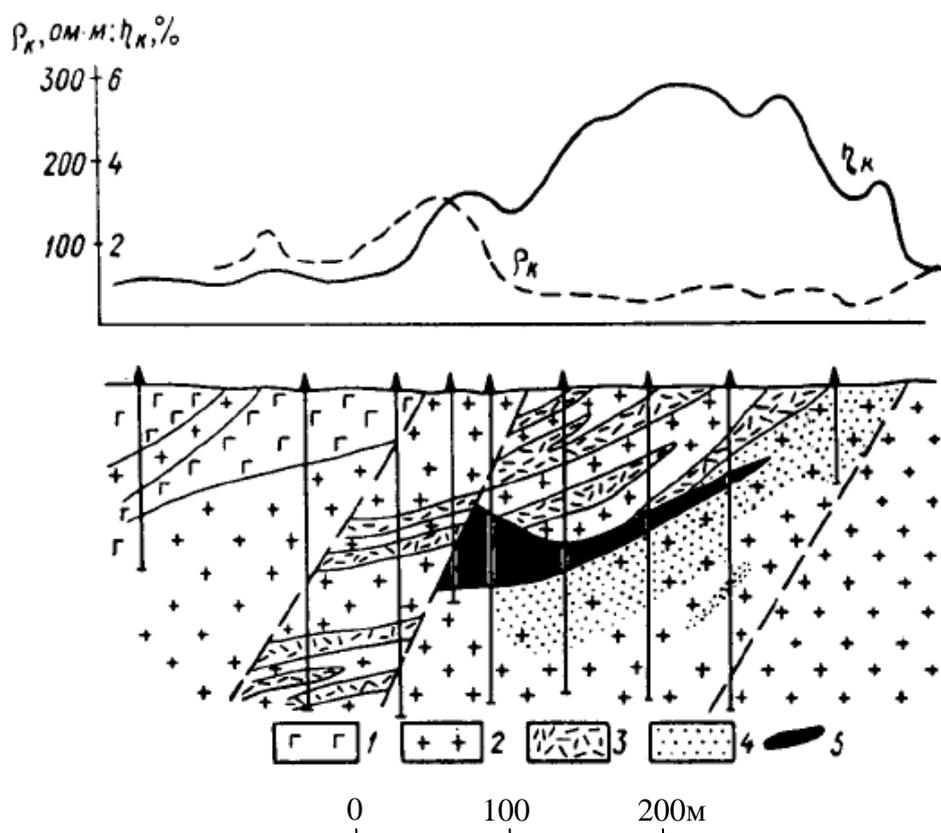


Рисунок 6. Геолого-геофизический разрез меднорудного месторождения Яман-Касы (по Б.А. Игошину) [1]:

1 – диабазы; 2 – риолиты; 3 – туффиты; 4 – вкрапленность сульфидов; 5 – колчеданные руды.

Рудная залежь имеет линзовидную форму и наклонена на запад под углом  $30-60^\circ$  согласно напластованию пород. По распределению мощностей массивных сульфидных руд в залежи выделяются два главных элемента. В северо-западной части залежи находится сооружение с выпуклой кровлей и плоской подошвой, имеющее диаметр 90-

100м и мощность 37м. На южном и восточном флангах рудное тело имеет пластообразную форму со средней мощностью 5-10м. Данное сооружение реконструировано как сульфидный холм [15].

Нижняя часть холма сложена массивными колчеданными рудами, которые фиксируют положение рудовмещающего канала. В ядре холма, в массивной халькопирит-пиритовой руде, содержатся многочисленные жилы сфалерита и барита. В кровле же найдены остатки оруденелой фауны, сходной с организмами, населяющими современные «черные курильщики» [15].

По сравнению со многими месторождениями Уральского типа, рудное тело Яман-Касы имеет небольшие размеры. В нём сосредоточено 2300 тыс. т медно-цинково-колчеданной руды. Средний химический состав этих руд: Cu – 2.56%, Zn – 5.56%, S – 42.27%, Au – 3.3 г/т, Ag – 33.5 г/т. Также руды данного месторождения отличаются аномальными содержаниями теллура, а именно 200-300 г/т. Главными минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит и марказит. В незначительном количестве могут присутствовать галенит, борнит, ковеллин [15].

На данном месторождении проведены геофизические работы различными методами, основным из которых была электроразведка. В результате получены графики кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости. А.Г. Баранников в своей работе [1] отмечает, что над рудной залежью отчётливо зафиксировано повышенное значение кажущейся поляризуемости ( $\eta_k$  до 6%) при нормальном поле в 1% (см. рис.6).

#### Медно-колчеданное месторождение на Южном Урале, Челябинская область

В 1959 году в Челябинской области проведены опытно-производственные работы, по результатам которых на двух участках выявлены интересные аномалии. Затем буровая проверка этих аномалий показала их связь с медно-колчеданным оруденением. Ведущим методом здесь оказался метод вызванной поляризации с установкой срединного градиента (ВП-СГ), с помощью которого детально изучен один из участков. В итоге открыто промышленное медно-колчеданное месторождение на территории района Челябинской области (рис.5) [10].

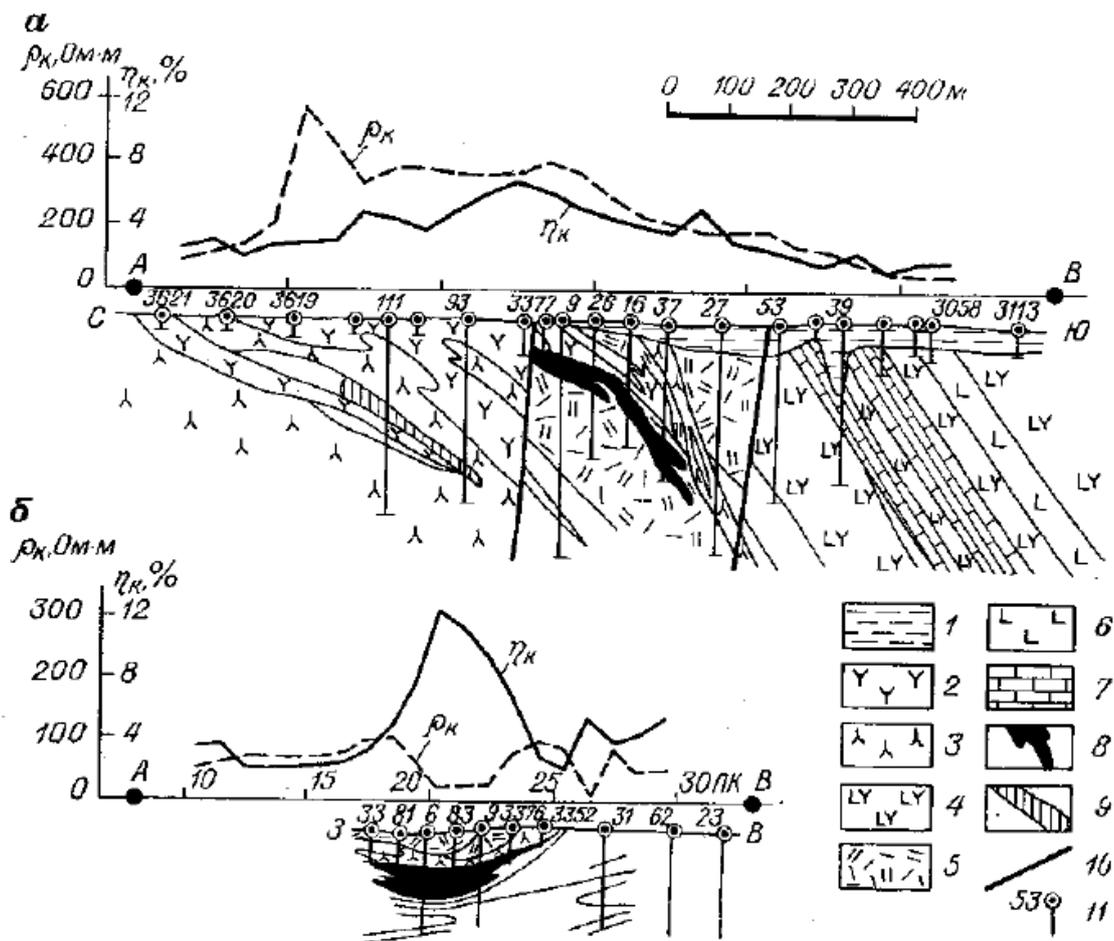


Рисунок 5. Графики  $\eta_k$  и  $\rho_k$  срединного градиента над медноколчеданным месторождением на Южном Урале (по О.М. Шаповалову) [10].

По профилю: а – вкрест простирания рудного тела (AB = 1500 м, MN = 50 м), б – вдоль простирания рудного тела (AB = 1000 м, MN = 20 м).

1 – рыхлые отложения; 2 – дацитовые порфириды; 3 – порфиры нерасчленённые; 4 – андезитодацитовые порфириды; 5 – серицито-хлоритовые породы; 6 – диабазы; 7 – известняки; 8 – вкрапленные и сплошные промышленные руды; 9 – вкрапленные непромышленные руды; 10 – тектонические нарушения; 11 – скважина и её номер.

Это месторождение приурочено к крылу брахиантиклинальной складки, расположенной в пределах восточного борта Магнитогорского синклиория. Рудовмещающими являются кварц-хлоритово-серицитовые породы, образовавшиеся в результате метаморфизма альбитофиров и их туфов. Выше залегают разнообразные вулканогенные породы и известняки. На месторождении имеются несколько рудных тел, локализованных вблизи тектонических нарушений. Руды состоят из пирита, халькопирита, сфалерита и иногда борнита и окружены ореолом пиритовой вкрапленности. По результатам бурения мощность сплошных колчеданных руд составляет 4 метра, вкрапленных - 17 метров, а общая мощность минерализованной зоны достигает 70 метров. Эти соотношения типичны для месторождения и объясняют

высокий эффект метода вызванной поляризации. Баритизация, окварцевание и вкрапленный характер оруденения в верхней части рудной зоны обусловили относительно небольшую аномалию электрической проводимости. Как видно на рисунке 5, интенсивность аномалий зависела от того, как задавали электрическое поле. Если поле задавалось вкрест простирания рудной зоны (рис.5, а), то над ней наблюдались повышенные значения кажущегося сопротивления. Если же поле задавалось по простиранию или вдоль падения рудной зоны (рис.5, б), то наблюдалось существенное понижение значений кажущегося сопротивления, связанное с высокой электрической проводимостью сплошных и прожилковых руд. Одновременно возрастает и кажущаяся поляризуемость [10].

#### *Месторождение Приорское (Северные Мугоджары)*

Месторождение Приорское расположено на территории Северных Мугоджар. Колчеданное оруденение Северных Мугоджар избирательно приурочено к определённой части разреза базальтоидных толщ силуро-девонского возраста. Рудная залежь приурочена к интенсивно-трещиноватым породам андезит-базальтового и андезит-дацитового состава. Рудное тело представляет собой крупную линзу и сложено, в основном, сплошными сфалерит-пиритовыми, халькопирит-пиритовыми и магнетит-пиритовыми рудами (рис. 6) [14].

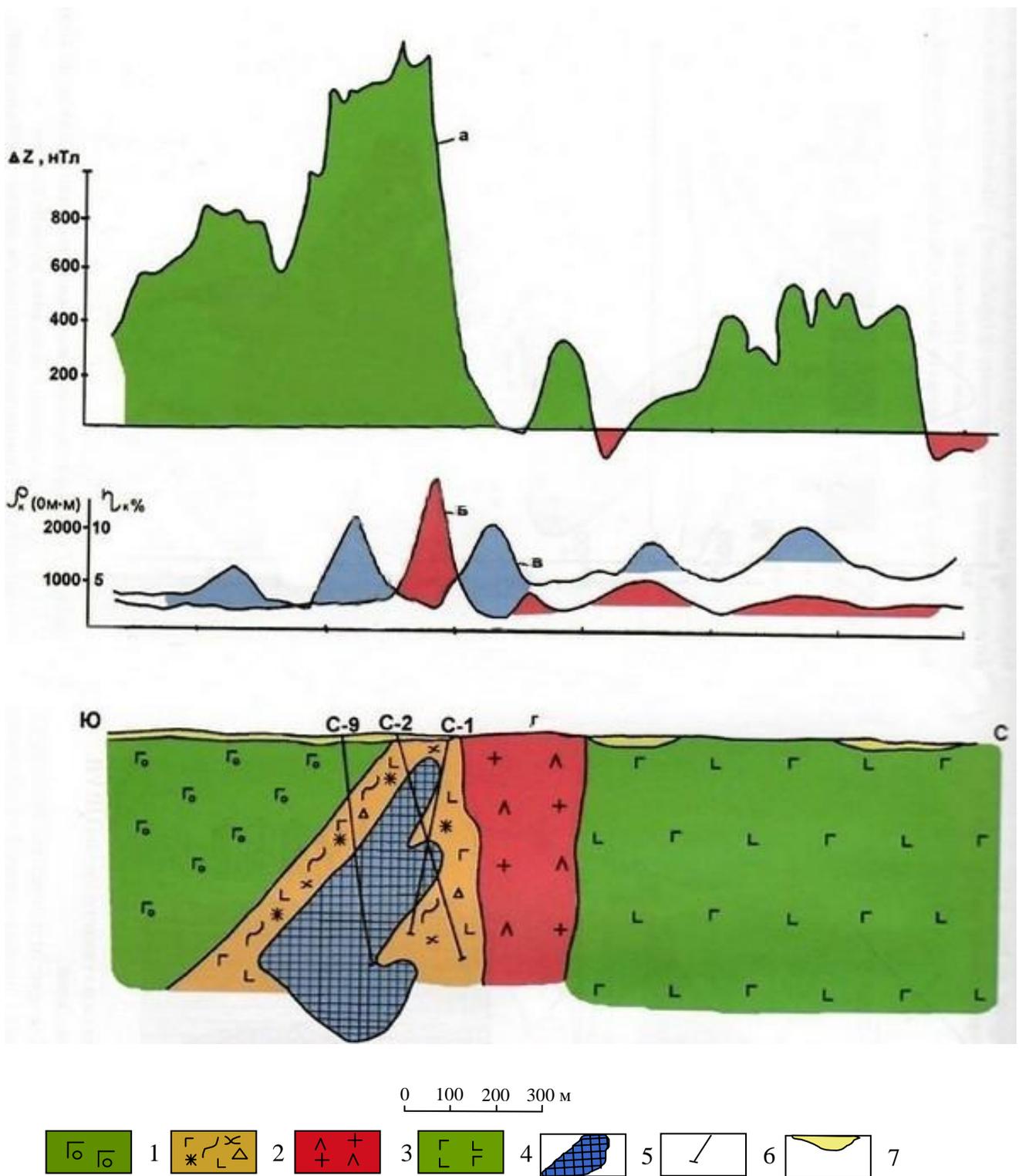


Рисунок 6. Результаты комплексных геофизических работ по ПР АВ. Приорское медно-колчеданное месторождение [14]

*а* – график  $Z$ ; *б* – график  $e(t)/i$ ; *в* – график  $\eta_k$ ; *г* – график  $\rho_k$  по СП; *д*, *е* – содержание цинка и меди по металлогении в процентах; *ж* – схематический геолого-геофизический разрез. 1 – диабазы; 2 – хлоритовые породы; 3 – граниты; 4 – габбро-диабазы; 5 – рудная залежь; 6 – поисковые скважины; 7 – рыхлые отложения.

По результатам работ на Приорском месторождении построены карты графиков магнитного поля, кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости.

По магнитному полю наблюдается положительная интенсивная аномалия до 1600 нТл (см. рис. 6, а). Данная аномалия связана с наличием магнетита и пирротина в составе рудной залежи. По графикам кажущейся поляризуемости и кажущегося сопротивления (см. рис. 6, б, в) видно, что рудное тело выделяется повышенными значениями поляризуемости и низкими значениями сопротивления, а именно до 15% и порядка 5000 Ом\*м соответственно. Это соответствует и подтверждает ранее описанные физические особенности колчеданных руд [14].

## Глава 4. Геофизические работы при поиске колчеданных медно-цинковых руд на участке Уткинский

Совокупность информации, рассмотренной в предыдущих главах, позволила изучить особенности колчеданных руд и выбрать оптимальный комплекс геофизических методов для поисков рудных залежей на участке Уткинский.

### 4.1 Геолого-географическое описание участка работ

Участок Уткинский расположен недалеко от города Красноуральск, Свердловская область.

Участок работ расположен в пределах Красноуральского рудного поля (рис. 7), которое приурочено к Тагило-Красноуральскому колчеданосному району.

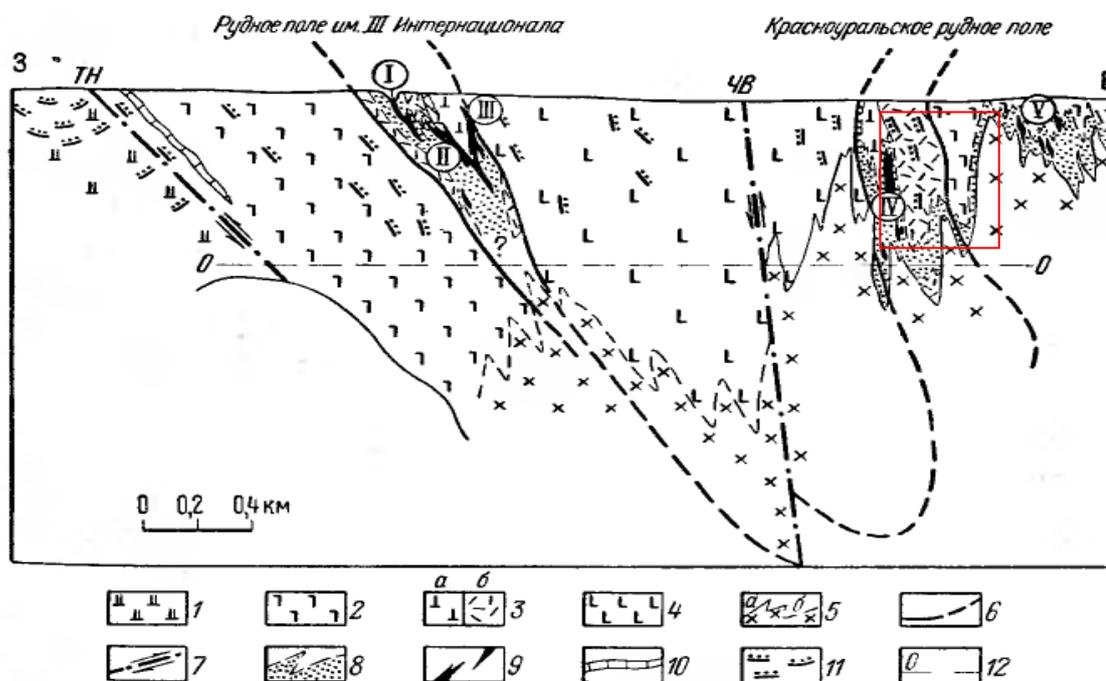


Рисунок 7. Обобщённый разрез Красноуральско – Нижнетагильского колчеданосного района. (По А.Кривцову и О.Мининой, 1975г.) [2]

1 – трахибазальт-трахилпаритовая формация, базальт-андезит-дацит-липаритовая формация; 2 – андезит-базальтовая толща; 3 – андезит-дацитовая толща: а – лавовые фации, б – туфовые фации; 4 – базальт-андезит-базальтовая формация; 5 – плагиограниты и их контакты: а – достоверные, б – предполагаемые; 6 – предположительное положение контактов основных литолого-стратиграфических подразделений до внедрения плагиогранитов; 7 – разрывные нарушения: ЧВ – Чадарский взброс, ТН – Туринский надвиг; 8 – сланцевые зоны с метасоматитами серицитолитовой формации и их границы; 9 – колчеданные месторождения: I – Серная зона, II – зона им. Шмидта, III – зона им. XV годовщины Октября, IV – Красногвардейское, V – Заводское; 10 – известняки; 11 – ориентировка слоистости (точки обращены в сторону кровли); 12 – уровень разбуренности

Тагило-Красноуральский колчеданосный район - один из старейших на Урале. Месторождения этого района интенсивно отрабатывались с начала XX века. Его изучением занимались В.А. Заварицкий, В.И. Шемелин, Т.Н. Шадлун и др. [11].

Район расположен в восточном борту Щучьинского-Тагильского палеовулканического пояса (Восточно-Тагильская структурно-формационная зона) на Среднем Урале. Колчеданосной является базальт-андезит-дацит-риолитовая формация  $O_3-S_1$  (Красноуральская свита) [11].

Разрез представлен тремя толщами: нижней - базальтовой, средней - андезитдацитовая и верхней, где развиты дациты и андезидациты, чередующиеся с базальтами (см. гл. 1.2).

Колчеданные руды и связанные с ними месторождения размещены на трёх литолого-стратиграфических уровнях (см. гл. 1.2), которые отличаются по количеству запасов, а также средним содержанием и соотношением меди, цинка, свинца, золота и серебра (табл. 6)[11].

Таблица 6. Характеристика рудоносных уровней месторождений Тагило-Красноуральского колчеданосного района [11]

Основные показатели	Нижний уровень	Средний уровень	Верхний уровень
Количество запасов, %			
Руда	~4	54,0	42,0
Медь	~2	54,0	44,0
Цинк	0,2	16,8	83,0
Свинец	~1	2,0	97,0
Золото	~0,4	27,6	72,0
Серебро	~0,5	19,1	80,4
Средние содержания и их соотношения			
Медь, %	~0,9	2,25	2,34
Цинк, %	0,15	0,96	6,11
Свинец, %	~0,04	~0,008	0,46
Золото, г/т	0,2	0,97	3,24
Серебро, г/т	3,4	9,2	49,8
Zn:Cu	0,17	0,4	2,6
Pb:Cu	0,04	0,004	0,2
Ag:Cu	17,0	9,5	24,6

Общие запасы Тагило-Красноуральского колчеданоносного района составляли: руда – 63,0 млн т, Cu – 1260,9 тыс. т, Zn – 1704,2 тыс. т, Pb – 119,1 тыс. т, Au – 98,6 т, Ag – 1641,1 т [11].

#### **4.2 Последовательность применения геофизических методов при поисках рудных залежей на участке Уткинский**

В августе 2017 года автором в составе полевого отряда проведены геофизические исследования на участке Уткинский. Для решения рудопоисковых задач на данном участке работ использован комплекс геофизических методов, включающий магниторазведку, электроразведку методом вызванной поляризации с установкой срединного градиента (ВП-СГ) и точечное электрическое зондирование (ТЭЗ) в модификации электротомографии.

Перед началом работ проведено топогеодезическое обеспечение работ. С помощью GPS разбита сеть размером 100x10 м. Пикетирование произведено как с помощью GPS, так и с помощью маркерной ленты.

Геофизические исследования проведены в несколько этапов. На первом этапе работ проведена магниторазведка. Перед началом работ была установлена магнитовариационная станция (МВС), которая вела систематический учёт вариаций магнитного поля с интервалом времени 60 секунд. МВС была установлена в слабоградиентном поле в районе участка работ. Магниторазведка проведена с шагом 10 метров с помощью магнитометра «ММПОС-1». На начальном этапе работ с помощью магниторазведки участок работ разделён на две области: северную - с интенсивными положительными магнитными аномалиями и южную - с пониженными значениями аномалий магнитного поля. Разделены эти две области рекой Утка, проходящей по тектоническому разлому. В данном случае магниторазведка выступила как структурный метод, а не поисковый. В начале и в конце рабочего дня на контрольных пунктах проводились повторные измерения для учёта погрешности измерений.

На следующем этапе работ применён метод вызванной поляризации с установкой срединного градиента (ВП-СГ) по всей площади участка работ. Перед началом измерений была растянута питающая линия АВ и установлены заземления. Длина питающей линии составляла 2500 м, а длина приёмной линии и шаг измерений по профилю – 20 м. Измерения выполнены по двум планшетам с помощью электроразведочной аппаратуры производства компании «Теллур».

На заключительном этапе выбраны наиболее перспективные участки, на которых проведены измерения методом точечного электрического зондирования в

модификации электротомографии. Перед началом измерений также растянута питающая линия АВ, длина которой составляла не менее 5АО – разноса до центра приёмной линии. Шаг питающего электрода А составлял 50 м, а приёмной линии – 20 м. Работы проведены с использованием той же аппаратуры, что и в методе ВП-СГ. Полученные результаты позволили изучить рудные объекты в плане и на глубину.

## Глава 5. Результаты работ

По результатам работ в программных пакетах «Geosoft» и «Surfer» построены карты графиков и изолиний  $\Delta T_a$ ,  $\rho_k$ ,  $\eta_k$  (рис. 8-10). Для подчеркивания особенностей геофизических полей, связанных со структурными элементами, тектоническими нарушениями и т.д., дополнительно рассчитаны такие трансформанты, как высокочастотная  $\Delta T_a$ , общая производная параметра  $\rho_k$ , общая производная параметра  $\eta_k$ , медиана параметра  $\eta_k$  (рис. 11-13). Эти данные легли в основу структурно-интерпретационной схемы (рис. 14). По данным электротомографии построены геоэлектрические разрезы (рис.15-17) и трёхмерная модель строения рудной зоны (рис.18).

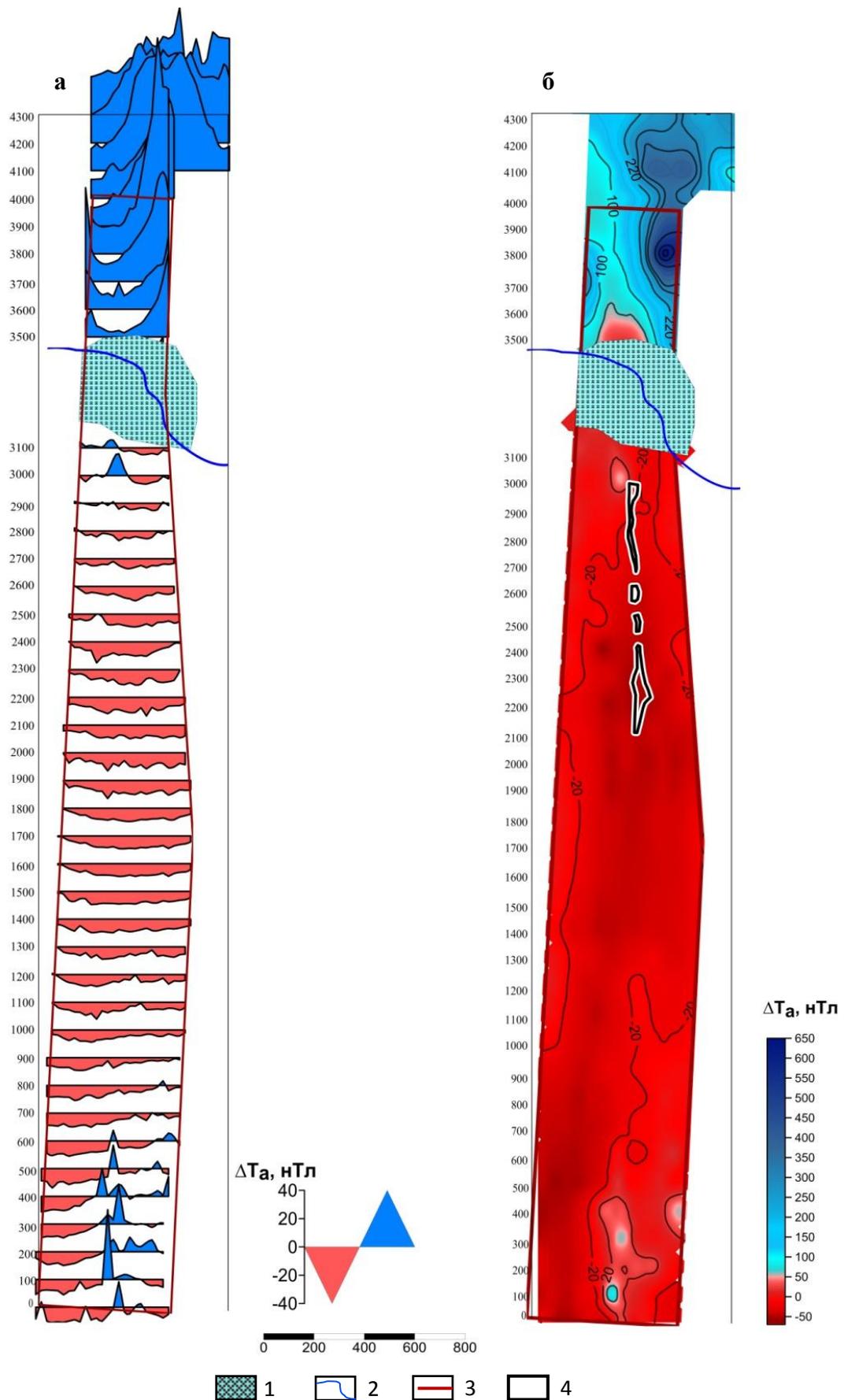


Рисунок 8. Карты графиков (а) и изолиний (б) аномального магнитного поля.

1 – болото; 2 – река Утка; 3 – граница участка; 4 - граница известных рудных тел по результатам предшественников

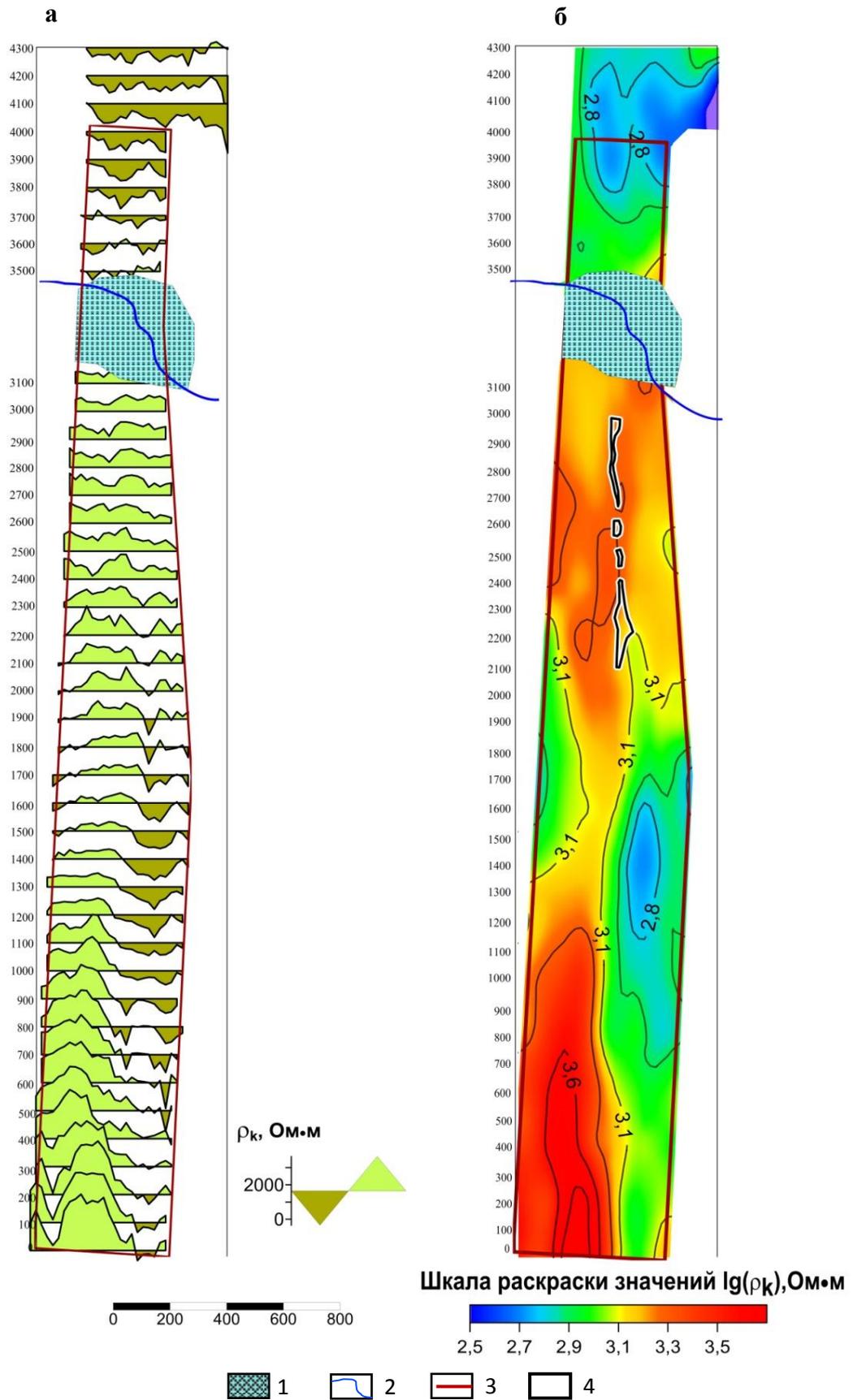


Рисунок 9. Карты графиков (а) и изолиний (б) кажущегося сопротивления.

1 – болото; 2 – река Утка; 3 – граница участка; 4 – граница известных рудных тел по результатам предшественников

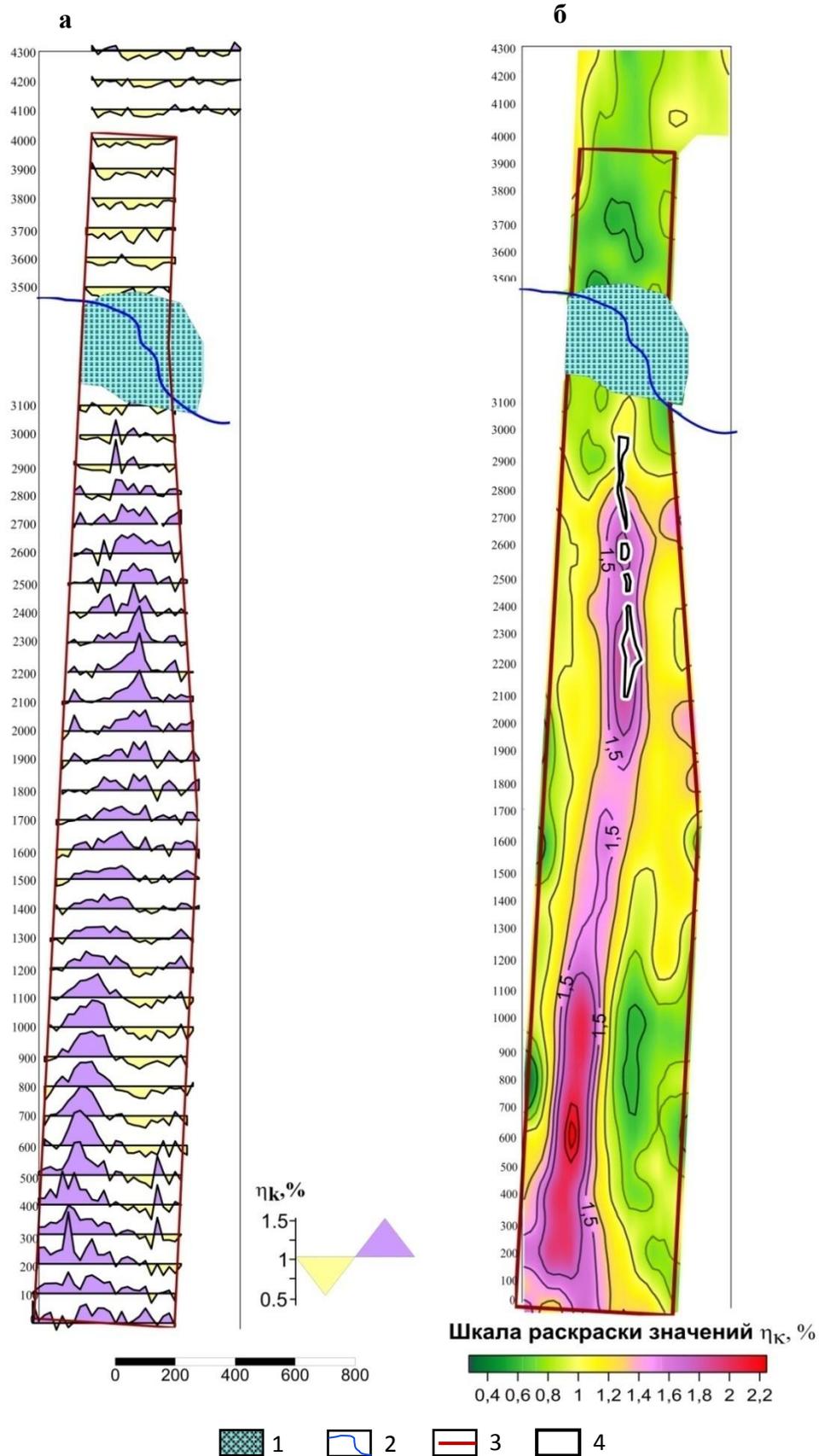


Рисунок 10. Карты графиков (а) и изолиний (б) кажущейся поляризуемости.

1 – болото; 2 – река Утка; 3 – граница участка; 4 – граница известных рудных тел по результатам предшественников

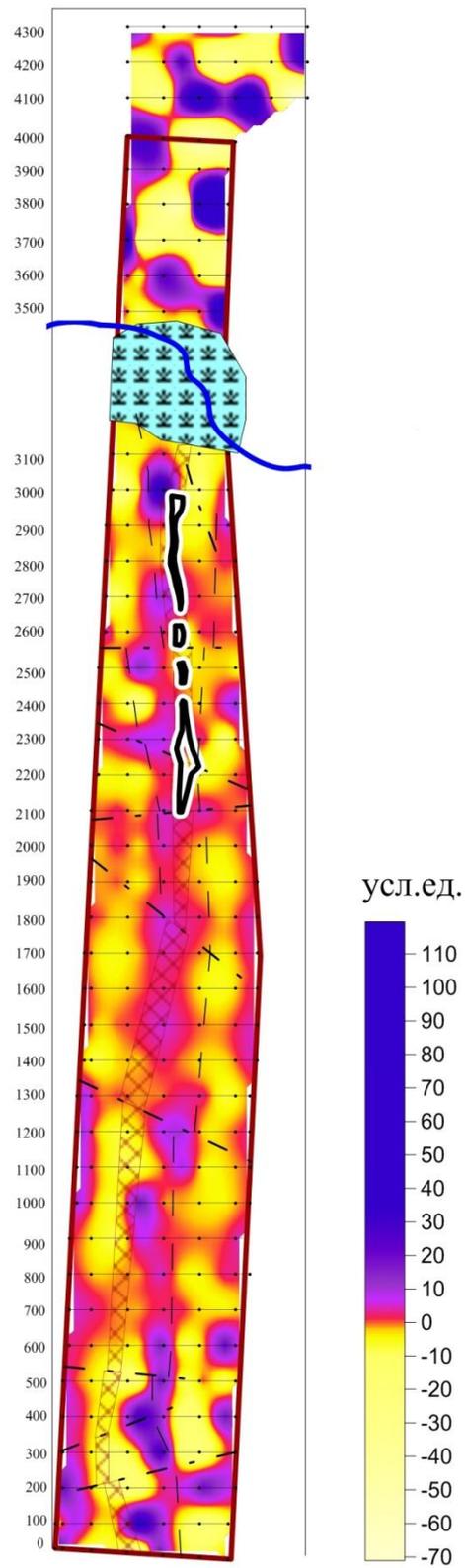


Рисунок 11. Высоочастотная составляющая  $\Delta T_a$

1 – болото; 2 – река Утка; 3 – граница участка; 4 - граница известных рудных тел по результатам предшественников; 5 – контуры поляризующихся тел; 6 – предполагаемые разрывные нарушения; 7 - предполагаемые региональные разрывные нарушения

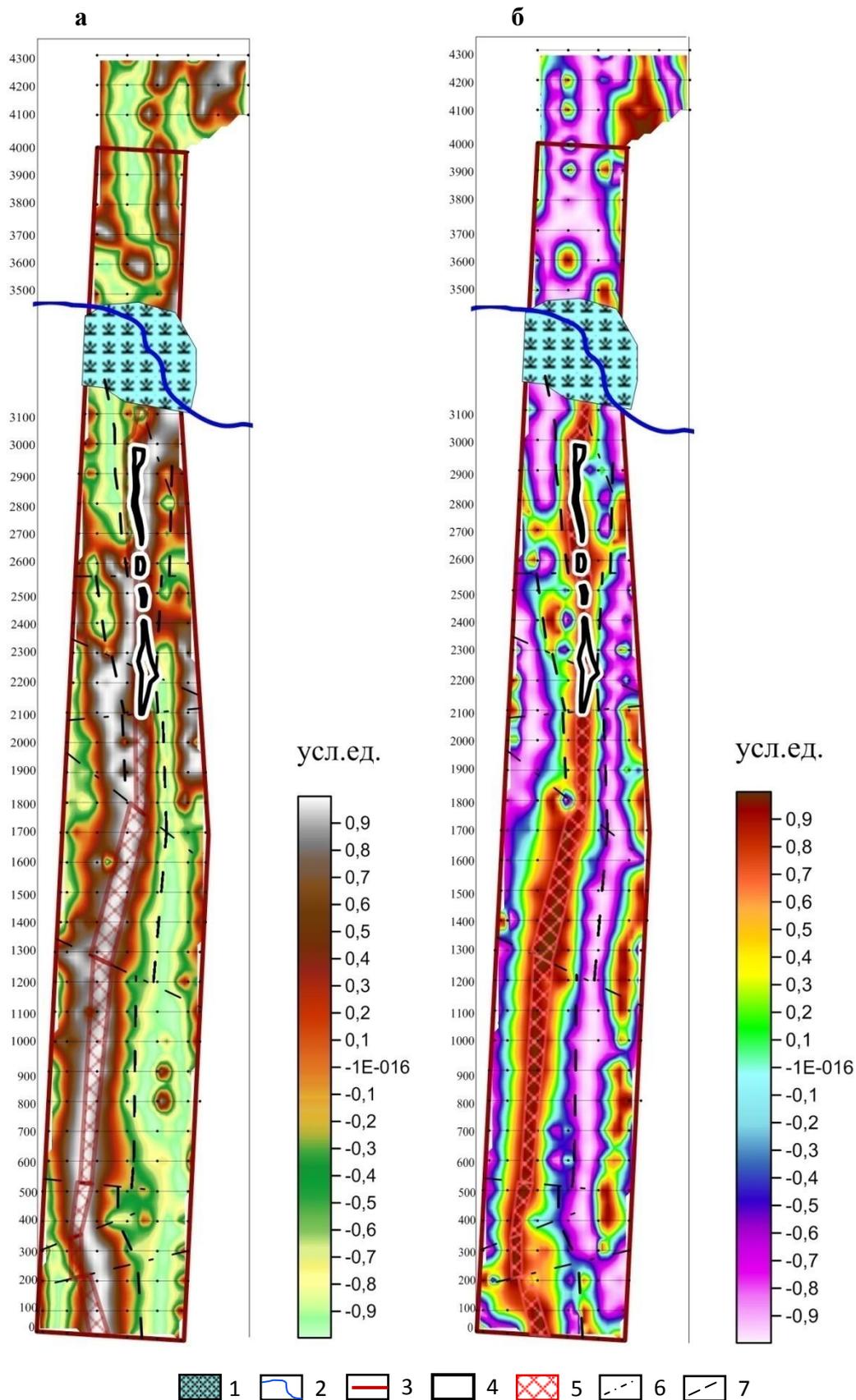


Рисунок 12. Общая производная параметра  $\rho_k$  (а) и  $\eta_k$  (б)

1 – болото; 2 – река Утка; 3 – граница участка; 4 – граница известных рудных тел по результатам предшественников; 5 – контуры поляризующихся тел; 6 – предполагаемые разрывные нарушения; 7 – предполагаемые региональные разрывные нарушения

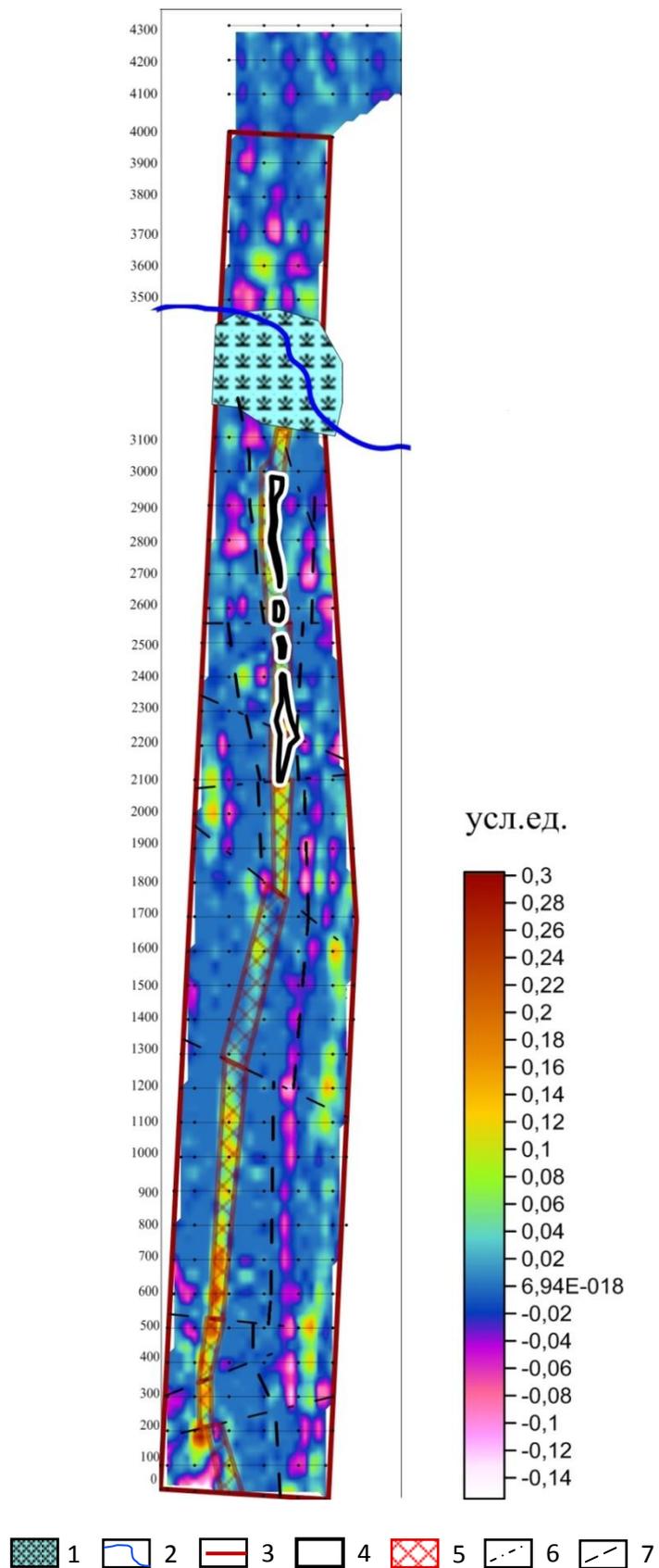
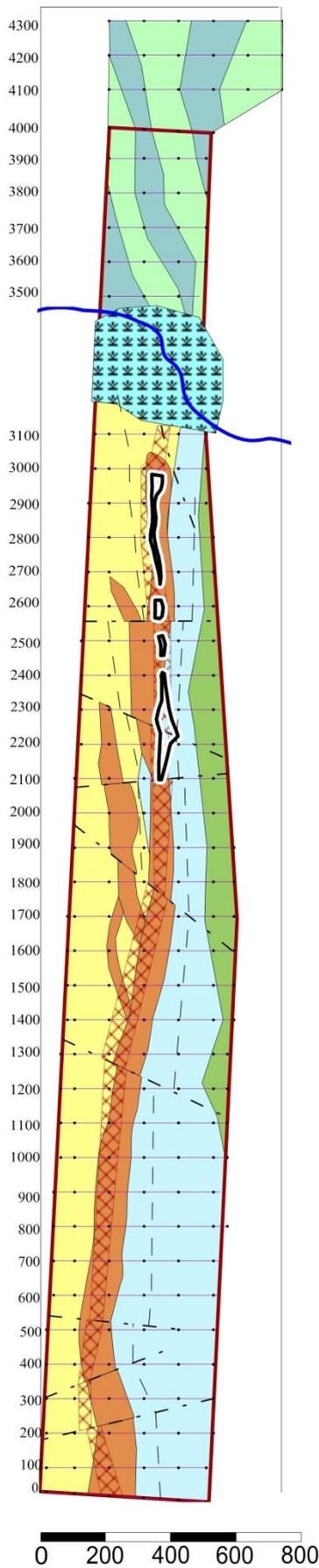


Рисунок 13. Медиана параметра  $\eta_k$

1 – болото; 2 – река Утка; 3 – граница участка; 4 - граница известных рудных тел по результатам предшественников; 5 – контуры поляризующихся тел; 6 – предполагаемые разрывные нарушения; 7 - предполагаемые региональные разрывные нарушения



### Условные обозначения

- Линия профиля
- Граница участка
- Река Утка
- Болото
- Границы известных рудных тел по результатам предшественников
- - - Предполагаемые разрывные нарушения
- - - Предполагаемые региональные разрывные нарушения
- Контуры поляризующихся тел
- Контуры объектов, выделенных по максимальным значениям общих производных  $\rho_k$  и  $\eta_k$ , характеризующихся высокими значениями  $\rho_k$  (2800 Ом\*м) и низкими значениями  $\Delta T_a$
- Контуры объектов, выделенных по положительным значениям общих производных  $\rho_k$  и  $\eta_k$ , характеризующихся повышенными значениями  $\rho_k$  (2000-2500 Ом\*м) и низкими значениями  $\Delta T_a$
- Контуры объектов, выделенных по средним значениям общих производных  $\rho_k$  и  $\eta_k$ , характеризующихся средними значениями  $\rho_k$  (1000-1500 Ом\*м) и средними значениями  $\Delta T_a$
- Контуры объектов, выделенных по минимальным значениям общих производных  $\rho_k$  и  $\eta_k$ , характеризующихся низкими значениями  $\rho_k$  (800 Ом\*м) и низкими значениями  $\Delta T_a$
- Контуры объектов, выделенных по минимальным значениям общей производной  $\rho_k$ , характеризующихся низкими значениями  $\rho_k$  (700 Ом\*м) и высокими значениями  $\Delta T_a$
- Контуры объектов, выделенных по максимальным значениям общей производной  $\rho_k$ , характеризующихся низкими значениями  $\rho_k$  (700 Ом\*м) и высокими значениями  $\Delta T_a$

Рисунок 14. Структурно-интерпретационная схема по результатам комплексных геофизических работ

На основании карт графиков и изолиний исходных геофизических полей, а также их трансформант построена структурно-интерпретационная схема (рис.17). Общее районирование участка Уткинский проведено по параметру сопротивления. Рудные процессы выделены, главным образом, по поляризуемости.

По структурно-интерпретационной схеме видно, что участок Уткинский разделён на два блока - северный и южный. Граница раздела проходит по реке Утка.

Северный блок представлен сильномагнитными неполяризуемыми породами пониженного сопротивления. Через южный блок протягивается высокоомная зона субмеридианального направления, ограниченная с запада породами, обладающими средними значениями сопротивления, а с востока - низкоомными.

Контурные рудных тел, изученных предшественниками, совпадают с зонами повышенных значений поляризуемости и сопротивления. Высокоомная зона картирует магматические объекты, образовавшиеся в пострудный период. А повышенная поляризуемость связана с рудными образованиями. Следует отметить, что проекции известных рудных тел попадают в выделенную зону повышенной поляризуемости.

По линейным зонам нарушения корреляции аномалий геофизических полей и их трансформант построены карта разрывных нарушений. Выделены две системы, имеющих субширотное и северо-западное направления.

На основе результатов площадных электроразведочных работ выявлена перспективная рудоносная структура, на отдельном участке которой проведены точечные электрические зондирования в модификации электротомографии для определения геометрических параметров и положения в пространстве потенциально рудоносных объектов. По результатам ТЭЗ-ВП построены геоэлектрические разрезы по трём профилям - 1200, 1400 и 1600 (рис. 15-17), которые послужили основой для создания трёхмерной модели строения рудной зоны (рис. 18).

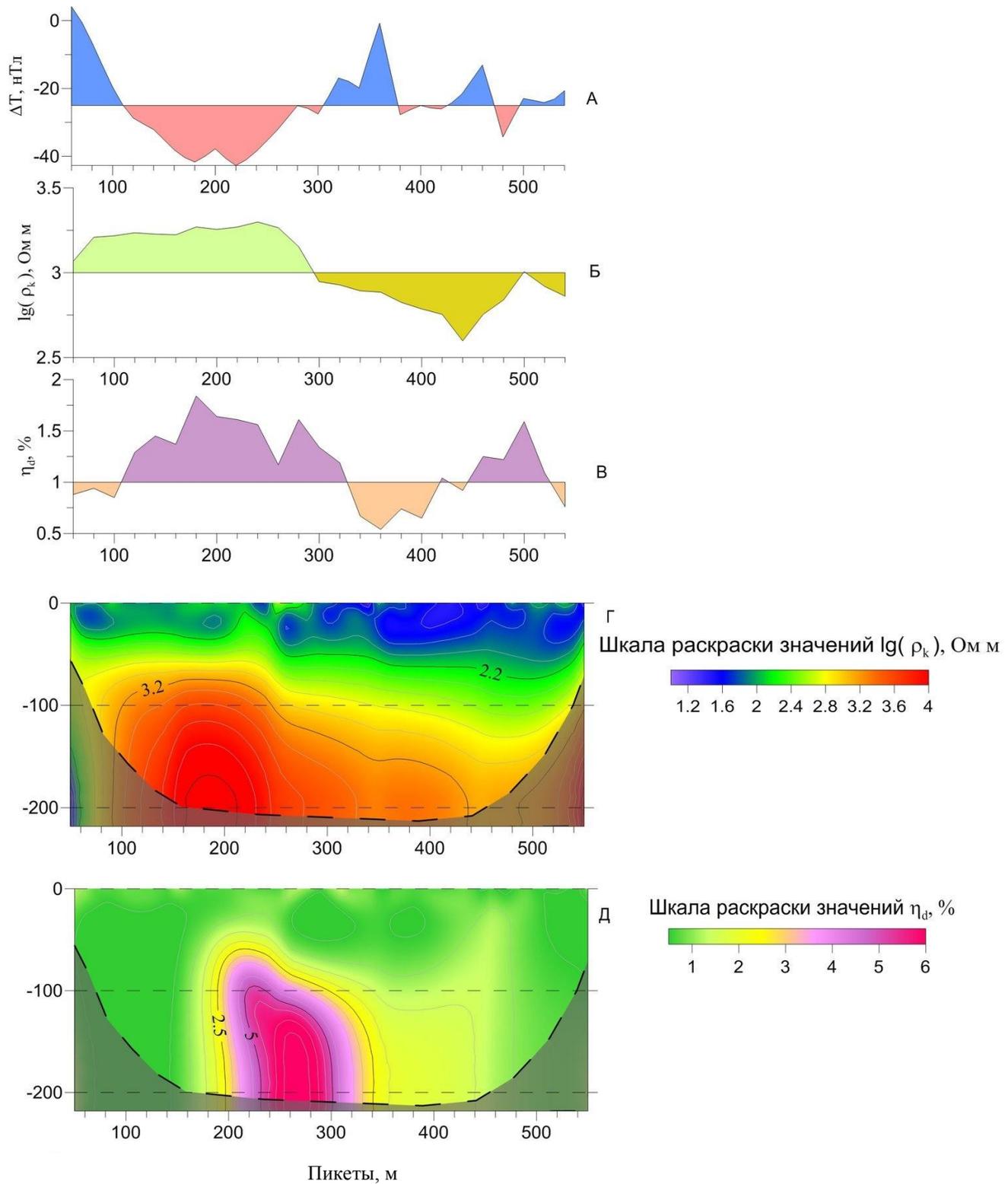


Рисунок 15. Результаты геофизических работ по профилю 1200

*А – график аномального магнитного поля; Б – график кажущегося сопротивления; В – график кажущейся поляризуемости; Г – геоэлектрический разрез по сопротивлению; Д - геоэлектрический разрез по поляризуемости*

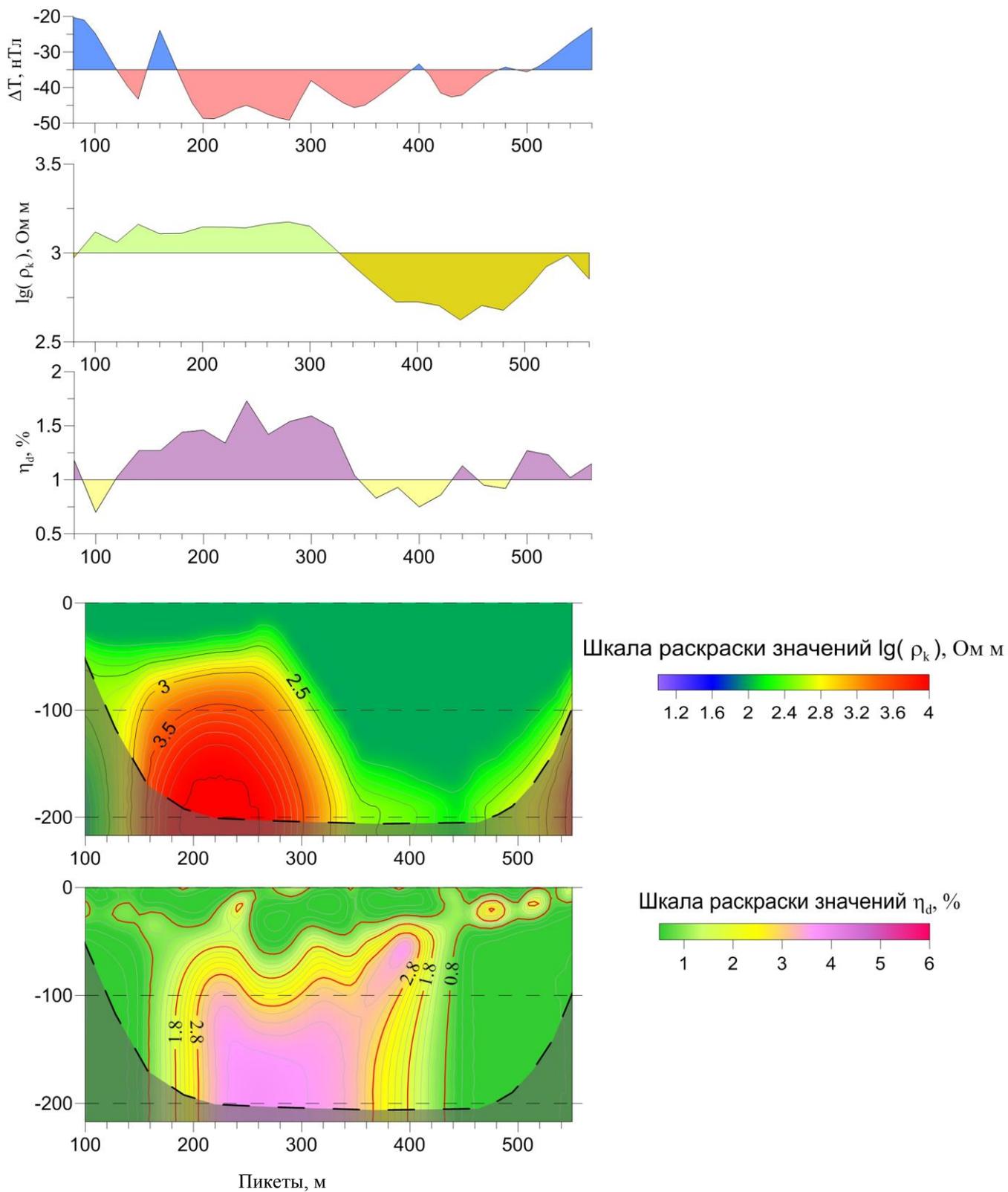


Рисунок 16. Результаты геофизических работ по профилю 1400

А – график аномального магнитного поля; Б – график кажущегося сопротивления; В – график кажущейся поляризуемости; Г – геоэлектрический разрез по сопротивлению; Д - геоэлектрический разрез по поляризуемости

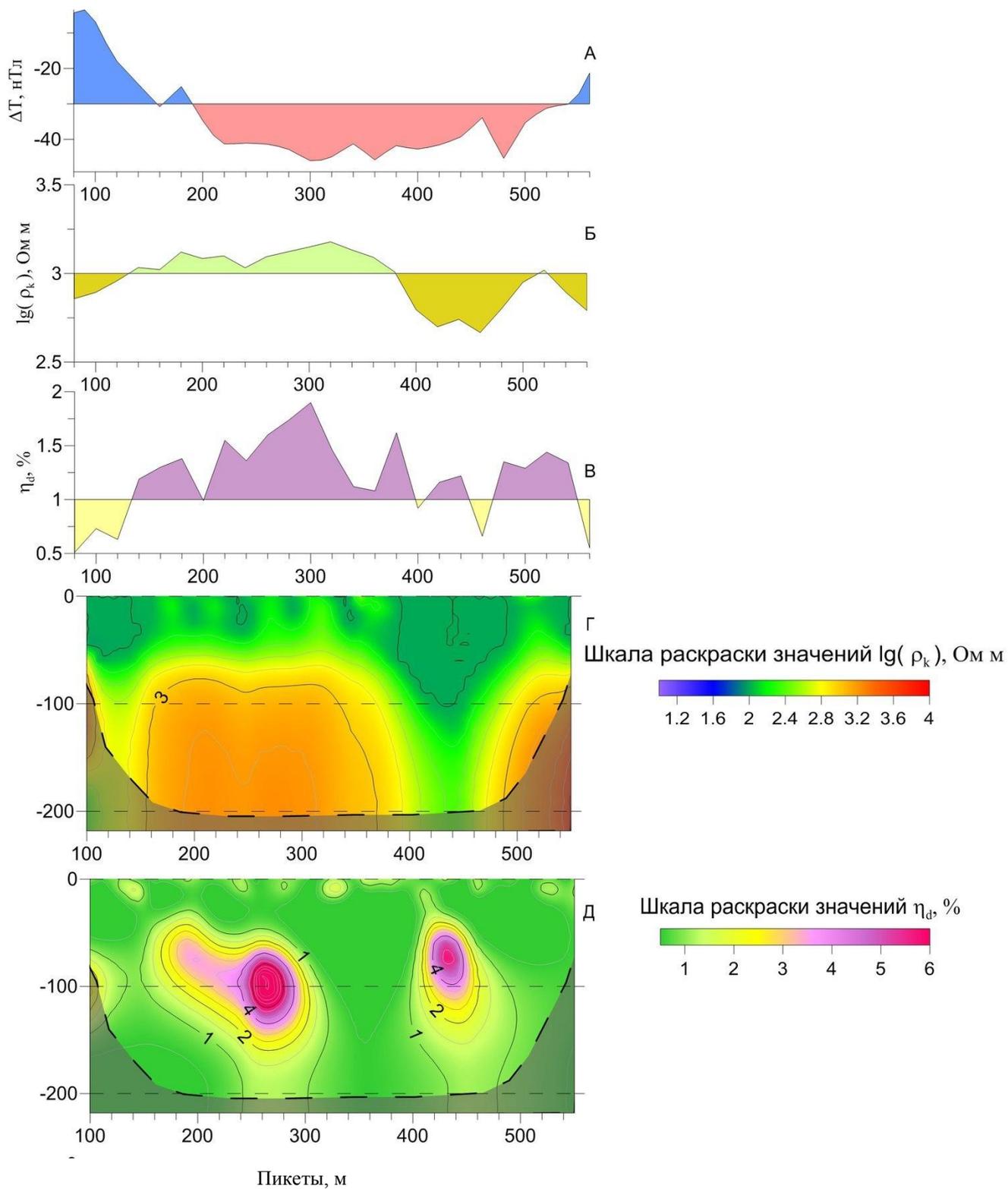


Рисунок 17. Результаты геофизических работ по профилю 1600

*А – график аномального магнитного поля; Б – график кажущегося сопротивления; В – график кажущейся поляризуемости; Г – геоэлектрический разрез по сопротивлению; Д - геоэлектрический разрез по поляризуемости*

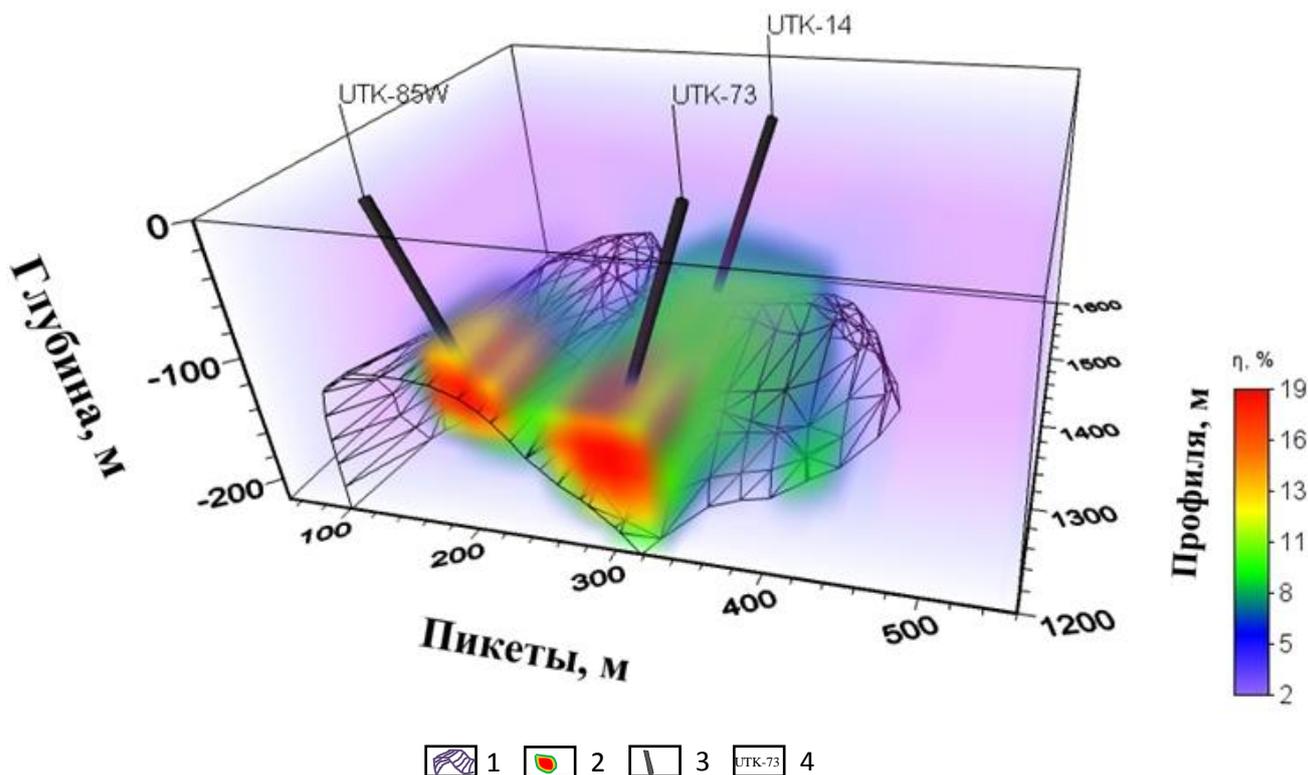


Рисунок 18. Трёхмерная модель строения рудной зоны

1 – каркас по сопротивлению; 2 – поляризующиеся объекты; 3 - скважины; 4 – название скважин

Строение рудных зон полностью соответствует реконструкции рудообразования, описанной в главе 1.2.

По результатам ТЭЗ-ВП определены глубинные параметры рудных тел: глубина залегания верхней кромки составляет около 65-70 метров, а нижней – около 150 метров.

По полученным данным были заложены заверочные буровые профиля. На настоящий момент пробурено три скважины, вскрывшие рудную зону на рассчитанной глубине. Результаты бурения подтвердили высокую эффективность предложенного комплекса геофизических методов и методики работ.

## **Заключение**

В данной работе рассмотрена общая информация о колчеданных месторождениях: их классификация, модель формирования, петрофизические особенности рудных минералов и вмещающих пород. С учётом петрофизических особенностей колчеданных руд, а также сравнения геофизических полей над месторождениями подобного генезиса выбран оптимальный комплекс геофизических методов при поисках рудных залежей на участке Уткинский.

На первом этапе работ проведена магниторазведка в масштабе 1:10000. На втором этапе на всей площади участка Уткинский проведена электроразведка ВП-СГ. На основе результатов площадных электроразведочных работ выявлена перспективная рудоносная структура, на отдельном участке которой проведены точечные электрические зондирования в модификации электротомографии для определения геометрических параметров и положения в пространстве потенциально рудоносных объектов.

По результатам работ построены карты графиков и изолиний аномального магнитного поля, кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости. Для подчеркивания особенностей поля, связанных со структурными элементами, тектоническими нарушениями и т.д., построены трансформанты геофизических полей. На основании комплексного анализа исходных геофизических полей и трансформант построена структурно-интерпретационная схема. По результатам ТЭЗ-ВП построены геоэлектрические разрезы по трём профилям, которые послужили основой для создания трёхмерной модели строения рудной зоны.

При поисках колчеданных месторождений в настоящее время используют различные геофизические методы: гравиразведку, электроразведку, магниторазведку, сейсморазведку. Проведённый анализ известных месторождений показал, что электроразведка (ВП), единственная, является методом прямых поисков.

Геофизические работы на участке Уткинский и последующие буровые работы подтвердили высокую эффективность предложенного комплекса геофизических методов (магниторазведка, электроразведка методом ВП-СГ и ТЭЗ-ВП).

## Список литературы

1. *Баранников А.Г.* Поиски и разведка ведущих геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых: учебное пособие/ А.Г.Баранников; Урал.гос.горный ун-т. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. - 183 с.
2. *Бородаевская М.Б., Горжевский Д.И., Кривцов А.И. и др.* Колчеданные месторождения мира. Под ред. акад. В.И. Смирнова. М., Недра, 1979, 284 с
3. *Бродовой В.В., Никитин А.А.* Комплексирование методов разведочной геофизики: Справочник геофизика. - М.: Недра, 1984. - 384 с.
4. *Вестник Российской академии наук*, 2009, том 79, №4, с. 320-325
5. *Викентьев И.В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд - М.: Научный мир, 2004. - 344 с.
6. *Виноградов А.М.* Геополя и колчеданы Южного Урала. - Екатеринбург: УрО РАН, 2004. - 187 с.
7. *Дортман Н.Б.* Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Книга первая. П 29 Горные породы и полезные ископаемые. - М.: Недра, 1992. - 391 с.: ил.
8. *Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю.* Минералы золота и серебра в рудных фациях золото-колчеданно-полиметаллических месторождениях Баймакского рудного района, Южный Урал. 2011. - 20 с.
9. Колчеданные месторождения - геология, поиски, добыча и переработка руд. Материалы Всероссийской научной конференции (V Чтения памяти С.Н. Иванова). Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2013. - 200 с.
10. *Комаров В.А.* Электроразведка методом вызванной поляризации - Л.: «Недра», 1980. - 190 с.
11. *Контарь Е.С.* Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. - 199 с.
12. *Контарь Е.С.* Урал в мировом балансе колчеданных руд. 5 чтения памяти Иванова С.Н.
13. *Кузнецова Т.* Минеральные типы руд месторождений колчеданного семейства. Москва, 9 с.
14. *Кунаев М.С., Садыков Д.Ш.* Анализ геофизических характеристик ряда месторождений полезных ископаемых Казахстана. - Алматы, 2007 г., 384 с.
15. *Масленникова С.П. и др.* Геохимическая зональность палеогидротермальных труб медно-цинково-колчеданного месторождения Яман-Касы (Южный Урал) по данным плазменного масс-спектрометрического лазерного анализа (LA-ICP-MS) сульфидов. Уральский минералогический сборник, 2002г., №12

16. *Никитский В.Е., Бродовой В.В.* Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач. - М.:Недра, 1987, - 471 с.
17. *Парада Г.С., Тарасов А.В.* Применение метода вызванной поляризации при поисках золота в черносланцевых толщах Муштинского рудного поля (Северный Кавказ). - 2017, 16 с.
18. *Прокин В.А.* Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале - М.: «Недра», 1977. - 176 с.
19. *Прокин В.А., Серавкин И.Б., Виноградов А.М.* Геологические условия размещения и перспективы выявления крупных медно-колчеданных месторождений на Урале. 2011. - 10 с.
20. *Редозубов А.А.* Специальный курс электроразведки: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. - 416 с.
21. *Сафина Н.П., Масленников В.В.* Строение и состав сульфидных циклитов Яман-Касинского колчеданного месторождения (Южный Урал). Уральский минералогический сборник, 2009г., №16
22. *Серавкин И.Б.* Проблемы и некоторые результаты изучения колчеданных месторождений Южного Урала. 2001, 19 с.
23. *Серавкин И.Б., Знаменский С.Е.* Эндогенная металлогения Южного Урала и общая оценка перспектив его оренбургской части на колчеданное, медно-порфировое и золотое оруденение. Геологический сборник №6, 2007. - 24 с.
24. *Хмелевской В.К.* Основы геофизических методов: учебник для вузов. Перм. ун-т - Пермь, 2010. - 400 с.
25. *Шевырев Л.Т., Савко А.Д.* Рудные месторождения России и мира. Справочник и учебное пособие, - Воронеж: Воронежский государственный университет, 2012. – 284 с.

**Электронные ресурсы:**

26. <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1169115>
27. [https://studopedia.ru/1\\_66422\\_lektsiya--kolchedannye-mestorozhdeniya.html](https://studopedia.ru/1_66422_lektsiya--kolchedannye-mestorozhdeniya.html)
28. <https://geodevice.ru/main/magnetometers/mmpos1/>
29. [https://studopedia.su/15\\_68627\\_kolchedannye-mestorozhdeniya-obshchaya-harakteristika-genezis-mirovie-tipi-mestorozhdeniy-fiziko-himicheskie-usloviya-obrazovaniya-poleznie-iskopaemie-primeri-mestorozhdeniy.html](https://studopedia.su/15_68627_kolchedannye-mestorozhdeniya-obshchaya-harakteristika-genezis-mirovie-tipi-mestorozhdeniy-fiziko-himicheskie-usloviya-obrazovaniya-poleznie-iskopaemie-primeri-mestorozhdeniy.html)
30. <https://studopedia.org/5-43190.html>
31. <http://knowledge.su/k/kolchedannye-mestorozhdeniya>
32. <https://sites.google.com/site/952mpi/b10-vulkanogennye-gidrotermalnye-medno-kolcedannyyh>

33. <http://башкирская-энциклопедия.рф/index.php/2-statya/6847-seravkin-igor-borisovich>
34. <https://studfiles.net/preview/1810273/page:11/>
35. <https://bigenc.ru/geology/text/2620973>
36. <http://leksii.com/1-1371.html>
37. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B2,%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80\\_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87\\_\(%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B2,%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87_(%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3))