

УДК 553.632[550.837]

**Ю.И. Степанов, А.М. Мухаметшин**

**ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ПРЕДЕЛАХ ШАХТНОГО ПОЛЯ БКПРУ-4  
НА ОСНОВЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ**

*Рассмотрены результаты исследования тектонического строения на шахтном поле БКПРУ-4 комплексом геофизических методов. При этом методы электроразведки на основе вертикального электрического зондирования явились основой полученных результатов и были подтверждены другими методами.*

*Ключевые слова: вертикальное электрическое зондирование, профилирование, буровые работы, тектонические нарушения, водозащитная толща, глубинное строение, сбросы, трещиноватость.*

---

**И**звестно, что уже в конце двадцатых и начале тридцатых годов XX столетия многие, в том числе Дахнов, Семенов и другие ученые начали использовать методы электроразведки для решения различного рода геологоразведочных задач. При этом использовалось в основном электропрофилирование как наиболее экономичная модификация, даже при разносах питающих электродов до 7,5 км [1].

Но при этом для повышения достоверности или уточнения получаемых результатов всегда использовались относительно более дорогие вертикальные электрические зондирования, благодаря чему методы электроразведки и в настоящее время получают достойное применение.

Приводимые в данной статье результаты получены в пределах шахтного поля БКПРУ-4, причем использовались как материалы более ранних (Беляев, 1989), так и других электроразведочных работ (Степанов, 2009), высокоточной гравиразведки (Бычков

и др., 2009) и сейсморазведки (Санфиоров, 2009). Как известно, целью всех этих геофизических исследований, дополненных геологоразведочными и буровыми работами, являлось изучение особенностей геологического строения данного участка и выявление его тектонических элементов. С целью достижения максимальной достоверности в дополнение к буровым работам электроразведочные исследования на данной площади были выполнены по методике вертикального электрического зондирования с эффективной глубиной исследования до АВ/6. При этом использовалась современная аппаратура, изготовленная и сертифицированная в ФГУНПП «Геологоразведка».

Представление и обработка полевых данных электроразведочных исследований, их качественная и количественная интерпретация выполнены с помощью пакета прикладных программ IPI-1D, широко применяемого в РФ и странах СНГ при обработке данных электроразведки на постоянном токе [2].

Данное программное обеспечение включает подготовку исходных данных, устранение перекрытий при регистрации наблюдений на нескольких приемных линиях, визуализацию серий кривых по профилю, построение качественных разрезов кажущихся сопротивлений, количественную интерпретацию в интерактивном и автоматическом режимах, построение геоэлектрических разрезов. Эти разрезы строились в дополнение к измеренным кривым ВЭЗ для представления данных по конкретному профилю, на котором выполнено было несколько зондирований. Разрезы кажущихся сопротивлений представляют изолинии кажущегося сопротивления, построенные в координатах  $(x, r)$ , где:

- координата  $x$  – расстояние по профилю от его начала до точки зондирования, которое откладывается в линейном масштабе по горизонтальной оси;

- координата  $r$  – действующий разнос установки  $AB/2$ . Данная величина откладывается в логарифмическом масштабе по вертикальной оси, сверху вниз. Как известно, использование здесь логарифмического масштаба позволяет упростить форму кривой зондирования. Кроме того, в этом случае значения кажущегося сопротивления и форма кривой ВЭЗ определяются отношениями параметров разреза: удельного электрического сопротивления и мощности слоя.

Наблюденные на данном участке кривые зондирования визуально отражают трех-семи-слойные разрезы с высокоомным опорным горизонтом. Сопротивления изменяются в широком диапазоне: от первых единиц до тысячи и более Ом·м.

Сопоставление результатов количественной интерпретации парамет-

рических ВЭЗ, расположенных вблизи скважин, с данными бурения (рис. 1), показало, что в результатах интерпретации находят отображение практически все основные комплексы пород, включая четвертичные отложения, ПЦТ, ТКТ, СМТ+ ПП и покровные каменные соли (ПКС). Граница кровли опорного электрического горизонта в зависимости от мощности соляных прослоев и их физического состояния может относиться как к кровле переходной пачки (ПП), так и к кровле покровной каменной соли (ПКС). Условно опорный электрический горизонт мы отождествляем с кровлей нерасчлененной толщи ПП+ПКС. Первые один-два геоэлектрических слоя характеризуют четвертичные породы, включающие отложения глин, суглинков, песков. Залегающие ниже верхнепермские отложения ПЦТ, представленные песчаником с прослоями глин, аргиллита и алевролита, заметно изменчивы по составу и мощности. К отложениям ПЦТ приурочены второй – четвертый геоэлектрический горизонт.

Для оценки достоверности интерпретации результатов нами проведено сопоставление геологического разреза, составленного по линии скважин 665, 275, 666, 557, 677, 456 и материалов ВЭЗ по проходящему профилю (рис. 2). На геологическом разрезе выделены два сброса [3]. Первый на севере у скважины 275, второй южнее между скважинами 557, 677. Результаты электроразведки представлены разрезом кажущихся сопротивлений на котором проведены изолинии кажущихся сопротивлений в зависимости от эффективной глубины исследований методом ВЭЗ, рассчитанной из соотношения  $Z_{эф} = AB/6$ . На данном разрезе по наибольшему изменению градиента КС уверенно фиксируются резкое

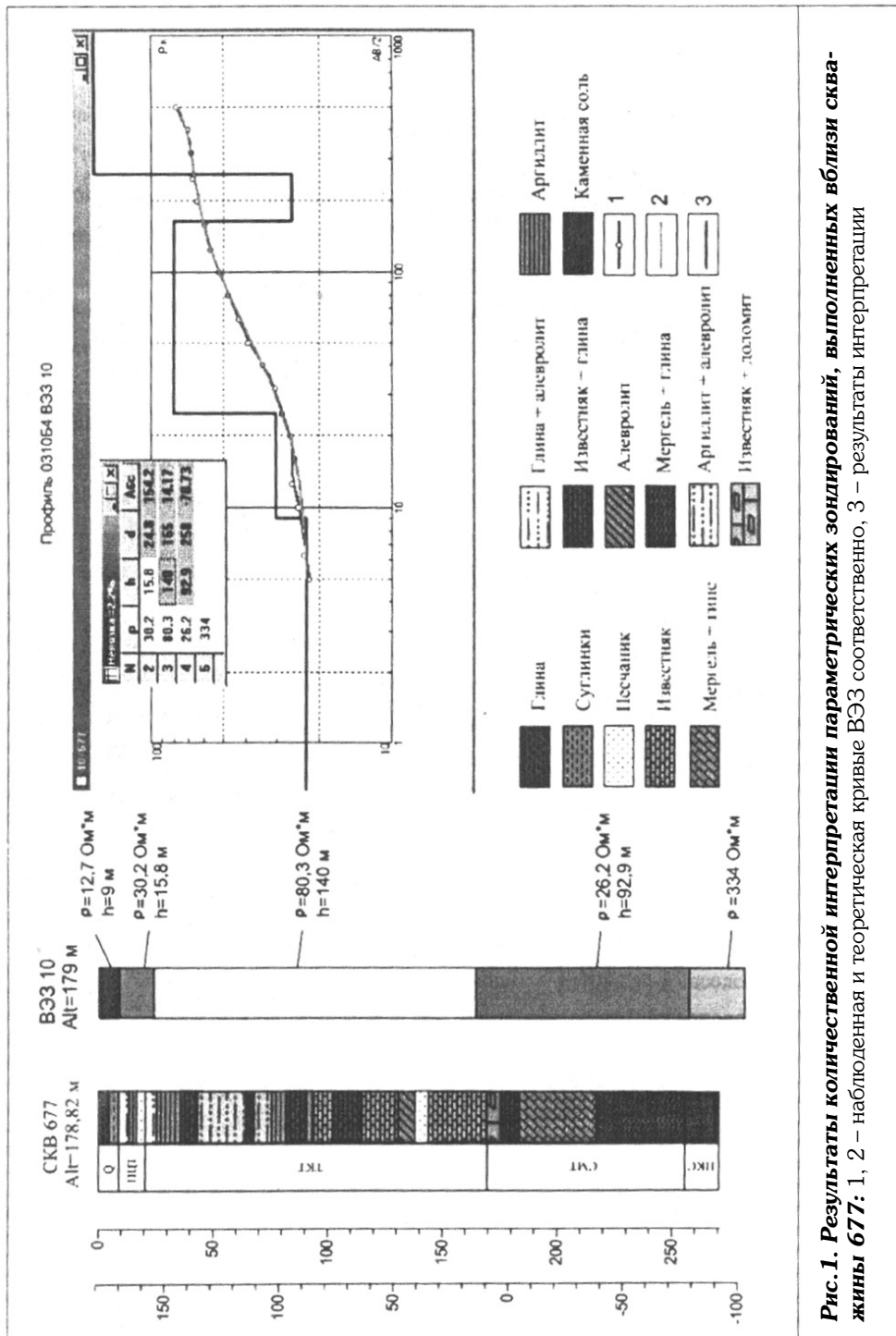
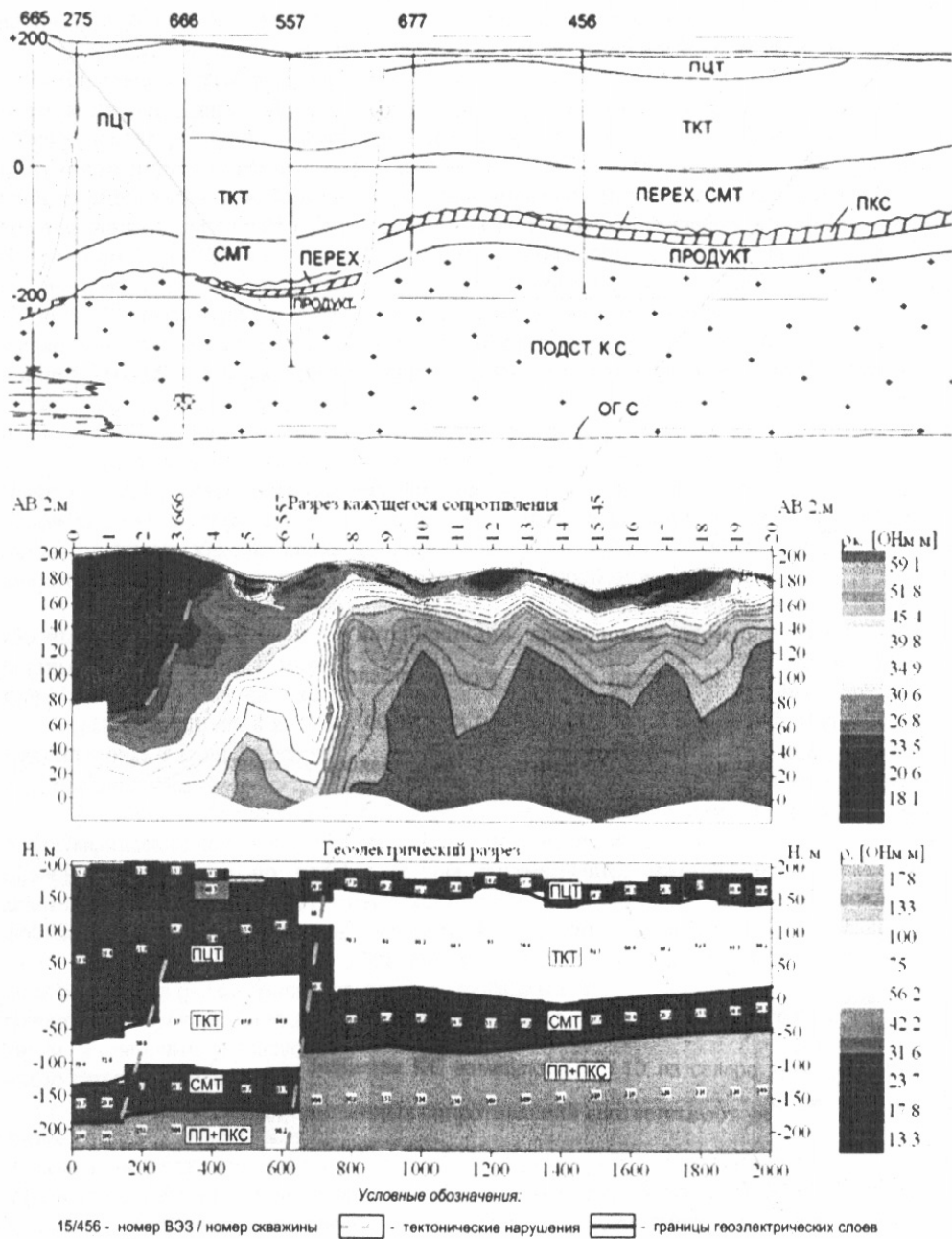
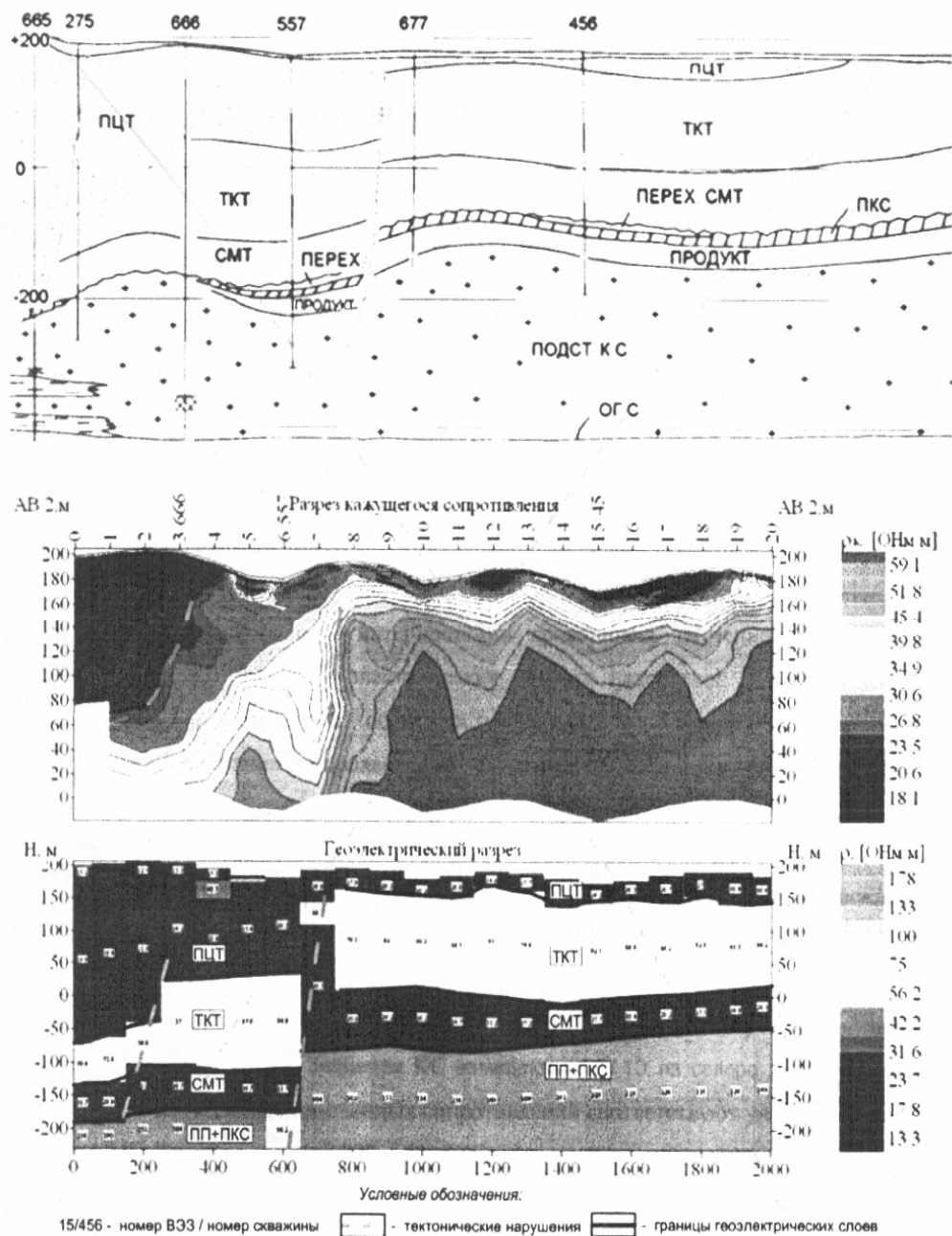


Рис. 1. Результаты количественной интерпретации параметрических зондирований, выполненных вблизи скважины 677: 1, 2 – наблюдаемая и теоретическая кривые ВЭЗ соответственно, 3 – результаты интерпретации



**Рис. 2. Разрезы по профилю 3: геологический; кажущихся сопротивлений; геоэлектрический**

увеличение мощности ПЦТ между пикетами 3 и 4 и несогласное залегание



**Рис. 2. Разрезы по профилю 3: геологический; кажущихся сопротивлений; геoeлектрический**

пород как надсоляной так и соляной      Местоположение этих элементов, ран-  
 пачки пород между пикетами 7 и 8.      нее отождествленных как сбросы,

совпадает с геологическим разрезом по скважинам. Ниже приведен геоэлектрический разрез, построенный по результатам послойной интерпретации отдельных кривых ВЭЗ с учетом данных параметрических ВЭЗ, проведенных вблизи скважин. На данном разрезе отражены основные элементы надсолевых отложений, по которым определяется мощность и УЭС отдельных слоев, местоположение и амплитуда сбросов. Однако, как было отмечено нами неоднократно ранее количественная интерпретация, несмотря на применение высокотехнологичных программ обработки (ZOND или IPI-1D) для решения поставленной задачи – выделения аномальных зон, как в латеральном, так и горизонтальном направлениях во многом носит субъективный характер. При обработке точек ВЭЗ при отсутствии опорных скважин или их редкой сети выбор адекватного решения во многом определяется опытом интерпретатора. И на наш взгляд, для такой сложной в геологическом и гидродинамическом отношении территории как ВКМС определения аномальных зон следует проводить по результатам качественной интерпретации.

При изучении особенностей строения надсолевых отложений изучаемого участка были проанализированы и обобщены все электроразведочные работы, проведенные ранее в пределах Быгельско-Троицкого участка.

Кроме результатов электроразведочных работ были использованы данные высокоточной гравиразведки [3] и сейсморазведки [4].

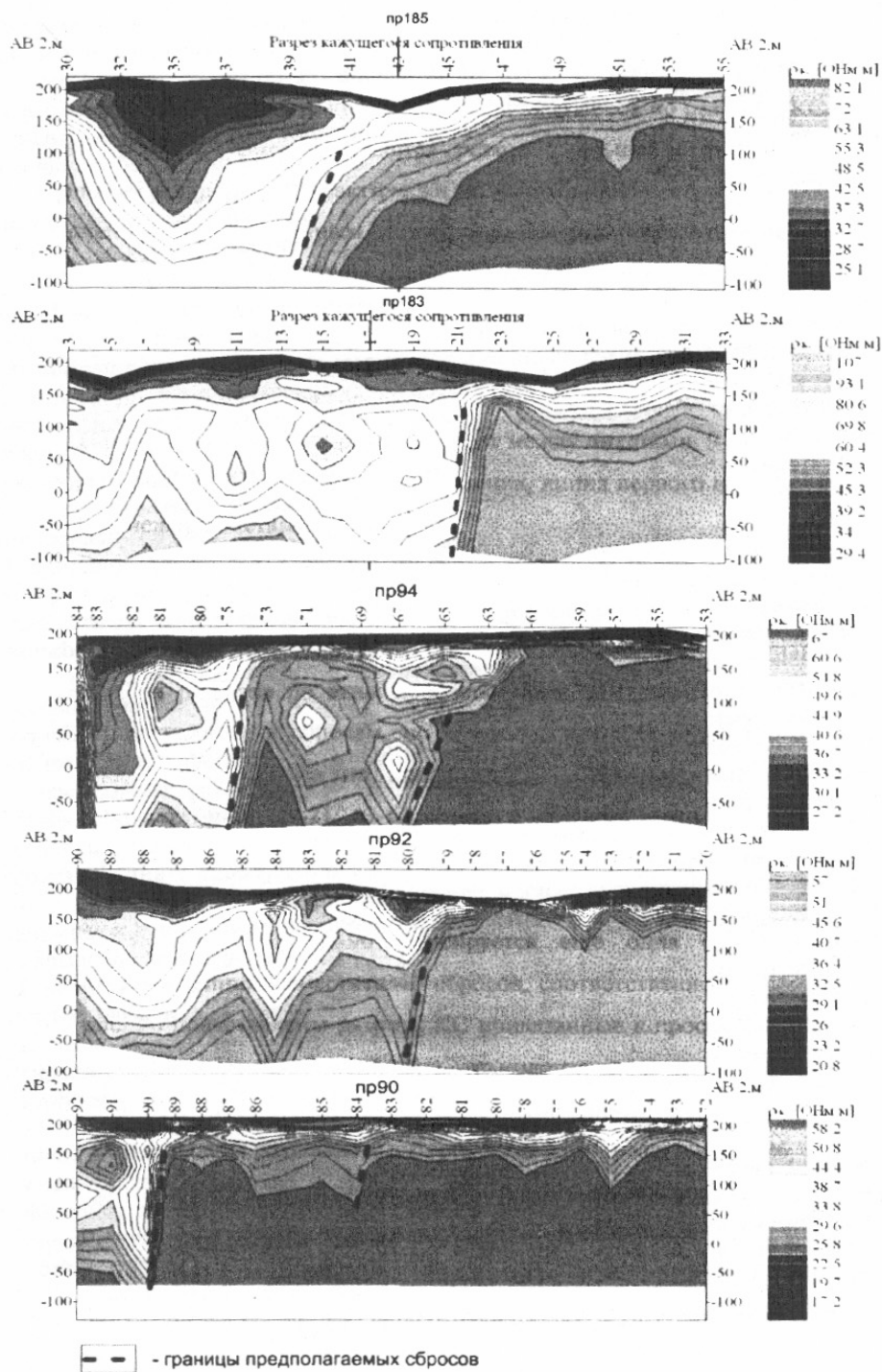
Качественная интерпретация данных электроразведочных работ, включающая в себя анализ кривых ВЭЗ, разрезов и карт КС основана на зависимости кажущихся сопротивлений с

истинными удельными электрическими сопротивлениями и связи эффективной глубины проникновения тока (зондирования) с разностями питающей линии (Матвеев, 1980).

Карты КС позволили качественно оценить закономерности изменения электрических свойств среды на различных разносах от 40 до 500 м. Установлено, что для небольших разносов питающей линии  $AB/2 = 40$  метров, характеризующих верхнюю часть разреза и приуроченную преимущественно к пестроцветным отложениям по значениям КС участок исследований относительно однородный. Значения КС изменяются от 10 на севере до 35 Ом·м в юго-центральной части. Зоны повышенных сопротивлений соответствуют участкам отсутствия в разрезе ПЦТ. Так в скважинах 277, 678, 524 после четвертичных отложений в разрезе идут отложения ТКТ, которые характеризуются более высокими сопротивлениями по сравнению с ПЦТ (из анализа параметрических ВЭЗ). На конфигурацию изолиний КС оказывают влияние морфологические особенности рельефа дневной поверхности.

По мере увеличения разносов питающей линии (эффективной глубины исследования) значения КС повышаются, поскольку на значения КС оказывают влияние нижележащие породы терригенно-карбонатной и соляномергельной толщи. На больших разносах питающей линии контрастность сопротивлений увеличивается. Так, более контрастно выделена область пониженных сопротивлений меридионального направления на северном окончании участка, которая связана с южной границей Дуринского прогиба. С увеличением глубины нивелируются аномалии, связанные с морфологией рельефа. Излом изолиний КС выделенный в юго-

восточном направлении от ПК 90  
ПР 90 к ПК 82-84 ПР 92 оказался



**Рис. 3. Разрезы кажущихся сопротивлений с нанесенными линиями предполагаемых сбросов по профилям 185, 183, 94, 92, 90**

обусловлен смещением в этом же направлении линии сброса. На разнотах АВ/2 = 320 и 500 м участок разделяется по сопротивлениям на северную часть – область пониженных сопротивлений и южную – повышенных сопротивлений. По сгущению изолиний был установлен контур южной части Дуринского прогиба, который был выделен ранее.

Южнее Дуринского прогиба четко выделяются две области повышенных сопротивлений в центральной и восточной части участка исследований, которые разделены дугообразной низкоомной зоной. Область повышенных сопротивлений в центральной части совпадает с северным окончанием Легчимской структуры, выделенной сейсморастведкой и подготовленной к бурению.

Для выявления особенностей строения геологического разреза по отдельным профилям нами использованы разрезы кажущегося сопротивления, которые представляют собой изолинии КС, построенные в зависимости от разносов питающей линии откладываемых в логарифмическом масштабе по вертикальной оси, направленной сверху вниз (рис. 3).

На примере профиля ВЭЗ № 3 и геологического разреза по скважинам 665, 275, 666, 557, 456, 678 (рис. 2) нами проведено сопоставление данных бурения и электрорастведки. На этом примере определены признаки наличия сбросов по разрезам КС. В пределах одного профиля таким признаком является резкое уменьшение кажущихся сопротивлений в латеральном направлении практически по всему разрезу, исключая самую верхнюю часть, приуроченную к четвертичным отложе-

ниям. При анализе других разрезов КС, на которых также были отмечены линии сместителей сбросов, установлено, что южное крыло сброса приподнятое, северное опущенное.

Все установленные на данном участке в процессе интерпретации и последующего анализа материалов элементы тектонического строения были вынесены на сводный план с представлением результатов исследований по гравирастведке [3] и сейсморастведке. Отсюда вытекают следующие выводы.

Результаты анализа данных электрорастведки и бурения позволили определить:

- южную границу Дуринского прогиба;
- четыре линии, приуроченные к сбросам в надсоляной толще;
- горизонтальное смещение сброса в меридиональном направлении.

Совместный анализ результатов интерпретации электрорастведки, гравирастведки и сейсморастведки на исследованном участке шахтного поля БКПРУ-4, показали хорошую сходимость результатов интерпретации по выделению элементов тектоники. Некоторые отличия объясняются масштабом съемки или иным истолкованием результатов. Например, Южнолегчимский сброс выделенный по гравирастведке по линии скважин 678-681 совпадает в плане с южным бортом Дуринского прогиба, выделенным по данным ВЭЗ. При последующей разработке на этом участке особое внимание следует обратить на выделенные по представленным результатам сбросы.

Таким образом, доказано, что достоверность выделяемых электротометрией тектонических элементов на площадке исследований находится на достаточно высоком уровне.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вешев А.В.* Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Изд-во «Недра», Л., 1965, 478 с.
2. *Бобачев А.А., Модин И.П., Перваго Е.В., Шевнин В.А.* Инструкция пакета программ IPI-1D, МГУ, 2006.
3. *Бычков С.Г., Щербинина Г.П., Простолюпов Г.В.* Проведение высокоточной наземной гравиметрической съемки масштаба 1:10000. ГИ УрО РАН, Пермь, 2009. – 122 с.
4. *Санфиоров И.А.* Сейсморазведочные работы по профилям 20 км на восточной части Быгельско-Троицкого участка ВКМ. ГИ УрО РАН, Пермь, 2009. – 19 с.

ГИАБ

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Степанов Юрий Иванович* – кандидат технических наук, зав. лабораторией электрометрии, Горный институт УрО РАН, arc@mi-perm.ru  
*Мухаметшин Анатолий Матвеевич* – доктор геолого-минералогических наук, профессор, гл. научный сотрудник ГИ УрО РАН.



---

## РУКОПИСИ, ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

### К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(842/10-11 от 08.07.11) 6 с.

*Власов Роман Евгеньевич*, кафедра «Технологии, механизации и организации открытых горных работ» Московского государственного горного университета,  
e-mail: revlasov(5)gmail.com

*В связи с истощением минерально-сырьевой базы и ухудшением горно-геологических условий на суше, проявляется всё больший интерес к минеральным ресурсам Мирового океана. Между тем, существует ряд нерешенных теоретических и практических задач. Так, например, нет классификации морских месторождений, отражающих горно-геологические условия с технологических позиций.*

*Рассмотрен вопрос о возможной классификации морских месторождений, определяющей тип добычного оборудования и способ транспортирования.*

*Ключевые слова: классификация, морские, месторождения, драга, земснаряд, глубоководные, шельфовые.*

### *Vlasov R.E.* ON THE ISSUE OF SEA DEPOSITS CLASSIFICATION

*With exhaustion of source of raw materials and worsening of geological conditions, growing interest to material source of Ocean. In the meantime, exists a number of pending theoretical and applied questions. For example, there is no classification of sea deposits, which can reflect geological conditions with technological positions.*

*In this article consider a question about probable classification of sea deposits, determining a type of winning equipment and transport.*

*Key words: classification, marine, deposits, dredge, dredger deepwater, offshore.*