

Рис. 3. Распределение коэффициентов скоростной анизотропии в приповерхностной толще пород

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / под ред. Н.М. Джиноридзе. – СПб; Соликамск, 2000. – 400 с.
2. Кашубин С.Н. Сейсмическая анизотропия и эксперименты по ее изучению на Урале и Восточно-Европейской платформе. – Екатеринбург: УрО РАН. 2001. – 182 с.
3. Кузнецов В.М., Жуков А.П., Шнеерсон М.Б. Введение в сейсмическую анизотропию: теория и практика. – М.: Технологии сейсморазведки, 2006. – 159 с.: ил.

УДК 550.837

DOI:10.7242/echo.2020.1.14

## ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВОСТОЧНО-ТАЛИЦКОМ УЧАСТКЕ ВКМКС

М.С. Лучников

*Горный институт УрО РАН, г.Пермь*

**Аннотация.** На примере Восточно-Талицкого участка Верхнекамского месторождения солей показана возможность электроразведки методом вертикального электрического зондирования для изучения и прогнозирования негативных инженерно-геологических явлений надсолевых отложений с целью повышения безопасности горных работ при эксплуатации месторождения. По результатам качественной и количественной интерпретации ВЭЗ выявлена зона пониженных электрических сопротивлений, приуроченной по глубине к отложениям терригенно-карбонатной и соляно-мергельной толщ. Она может быть связана с наличием зон повышенной трещиноватости, по которым происходит активный водообмен, либо с литологическими особенностями пород слагающих разрез.

**Ключевые слова:** электроразведка, удельное электрическое сопротивление, активный водообмен, безопасность горных работ.

### Введение

Метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) входит в состав комплексных исследований, направленных на обеспечение безопасности ведения горных работ и решения ряда геологических задач на всех стадиях освоения Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) [1]. На сегодняшний день электрические зондирования остаются одним из самых применяемых электроразведочных методов. На основе ВЭЗ разработаны и другие современные технологии – например, электротомография, базирующиеся на тех же принципах, что и для «классических» электрических зондирований. Целесообразность

проведения электроразведочных работ методом ВЭЗ обусловлена различием удельного сопротивления слагающих пород, а также их субгоризонтальным залеганием.

Породы, слагающие надсолевой комплекс, обладают удельным сопротивлением от единиц до тысяч Ом·м. Четвертичные отложения, зачастую представленные глинами и суглинками, являются низкоомными.

Одной из основных задач метода ВЭЗ является изучение особенностей геологического строения надсоляных отложений (наличие тектонических нарушений, зон повышенной разуплотненности, по которым происходит активный водообмен, замещение пород и др.). Задача решается на основе результатов качественной и количественной интерпретации данных ВЭЗ, включающих построение схем и разрезов кажущихся сопротивлений, а также геоэлектрических разрезов, построенных с учетом сопоставления данных бурения и количественной интерпретации на параметрических точках зондирования.

Наиболее разведанные площади ВКМКС были покрыты геофизической съемкой масштаба 1:50 000 и детальнее еще в конце прошлого века. Менее изученными остаются крайние северо-восточные и восточные участки месторождения, где геофизическая изученность соответствует масштабу 1:200 000 [3]. Одним из таких участков является Восточно-Талицкий (рис.1). Степень его изученности оценивается как низкая. Электроразведочные работы методом ВЭЗ масштаба 1:50 000, выполненные в 1989 г. партией Пермской ГРЭ, незначительно охватывают участок исследования на западе и юго-западе.

### Результаты электроразведочных работ методов ВЭЗ

В 2019 г. были проведены дополнительные исследования методом вертикального электрического зондирования по пяти профилям, общая протяженность которых составила 16,4 км (рис.2). Минимальный разнос питающей линии АВ составлял 5 метров. Расстояние между питающими электродами и центром измерительной установки последовательно увеличивалось с прогрессией 1,25 до максимального разноса 1000 м. Эффективная глубина зондирования, рассчитанная из соотношения  $Z_{эф} = АВ/6$ , составит при этом около 200 метров.



Рис. 1. Схема Верхнекамского месторождения солей и Восточно-Талицкий участок

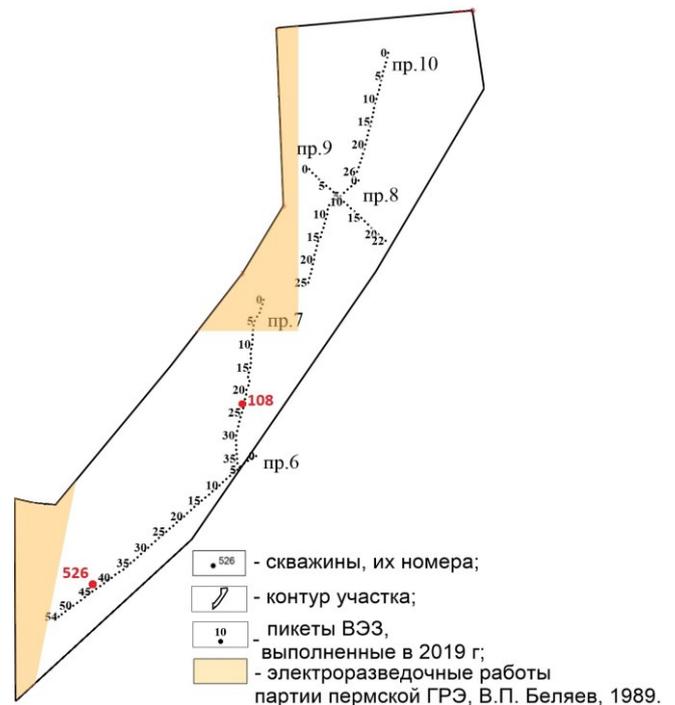


Рис. 2. Схема изученности участка и расположение профилей ВЭЗ в 2019 г.



метров. Залегающие ниже породы, преимущественно представлены известняком и отмечаются повышенными сопротивлениями (около 160 Ом·м). Мощность также составляет около 45 метров.

Четвертый геоэлектрический горизонт приурочен к соляно-мергельной толще, которая относительно слабо проявляется на кривых зондирования, что затрудняет литологическую привязку нижней его границы. Породы СМТ представлены в основном мергелями и глиной, с прослоями гипса. Сопротивления пород толщи около 92 Ом·м. Мощность составляет порядка 100 м.

Опорный геоэлектрический горизонт, отождествляется с кровлей нерасчлененной толщи ПП+ПКС. По данным параметрических зондирований он обладает сопротивлением около 350 Ом·м.

Программа IPI, которая используется для интерпретации, в каждой точке наблюдений автоматически решает прямую задачу от полученной при подборе модели и строит разрез кажущихся сопротивлений. Результат интерпретации профиля ВЭЗ (т.е. набор результирующих моделей) изображается в виде геоэлектрического разреза. Для количественной интерпретации были построены разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы по пяти исследуемым профилям. На рис. 4 представлены разрезы по профилю 7, с параметрическим зондированием на ПК 23.

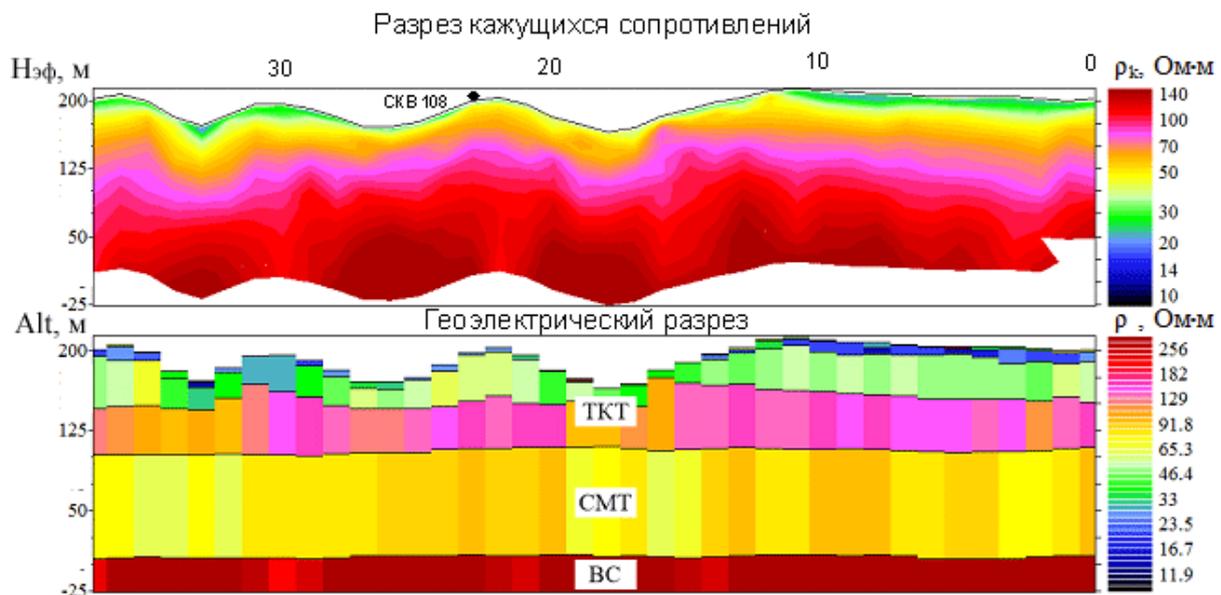


Рис. 4. Разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по профилю 7

По результатам количественной интерпретации в пределах всех профилей выделяются 5-6 геоэлектрических слоев. Наибольшая мощность четвертичных отложений (до 20 м) отмечается в центральной части профиля 6 (пикеты 20-28) и на профиле 8 (пикеты 14-16).

Мощность ТКТ варьирует в широких пределах от 60 м на возвышенностях (профиль 8, ПК 1-8) до полного отсутствия в пониженных участках рельефа (профиль 9, ПК 0-6). ТКТ разделяется на две литозоны: нижнюю - плитняковую (мергельно-доломито-известняковую) и верхнюю - известково-терригенную. Плитняковая зона средней мощностью 65-70 м сложена известняками, доломитами и тонкослоистыми мергелями. Известково-терригенная литозона мощностью 52-64 м представлена аргиллитами, алевролитами, мелкозернистыми песчаниками и известняками. Общая мощность ТКТ колеблется от 90 до 170 м. По данным бурения (скв.108, 526) верхняя часть толщи представ-

лена терригенными породами и имеет относительно невысокие значения удельного электрического сопротивления (УЭС). Диапазон изменения этих значений составляет 35 – 65 Ом·м. Судя по величине значений УЭС, данный слой является водонасыщенным. Нижняя часть ТКТ представлена преимущественно карбонатными породами. Мощность слоя изменяется в пределах 60 – 40 м. Наименьшие мощности прослеживаются в пределах профилей 8 и 9. Наибольшие отмечаются в южной части профиля 6. Удельные сопротивления изменяются в интервале 90 – 160 Ом·м.

СМТ в пределах участка исследований относительно выдержана по мощности, значения которой изменяются в диапазоне от 90 – 95 м (профили 8,9,10) и до 100 – 105 м на профиле 6. Диапазон изменения значений УЭС составляют 50 – 90 Ом·м.

Нерасчлененная толща ПП+ПКС характеризуется высокими значениями УЭС. На большей части исследуемых профилей они составляют 400-450 Ом·м. В пределах профилей 8, 9 и 10 прослеживаются интервалы пониженных значений УЭС в пределах толщи (около 100 Ом·м).

Таким образом, в пределах исследуемых профилей можно выделить несколько интервалов пониженных сопротивлений: профиль 8 ПК 2 – 4 (соляно-мергельная толща – верхняя соль); профиль 9 ПК 0 – 6 (терригенно-карбонатная толща – верхняя соль), 15 – 16 (соляно-мергельная толща), 19 – 22 (соляно-мергельная толща – верхняя соль) и профиль 10 ПК 13 – 17 (терригенно-карбонатная толща – верхняя соль). Понижение сопротивления может быть вызвано повышенной трещиноватостью и, как следствие, влагонасыщенностью пород, либо литологическими особенностями пород слагающих разрез (например, изменение глинистости).

Для представления характера пространственного изменения электрических свойств надсолевой толщи, позволяющего прослеживать те или иные особенности разреза с увеличением разносов питающей линии, построены схемы КС в месте пересечения профилей 8 и 9 (рис.5). Схемы КС позволяют качественно оценить закономерности изменения электрических свойств среды с увеличением глубины.

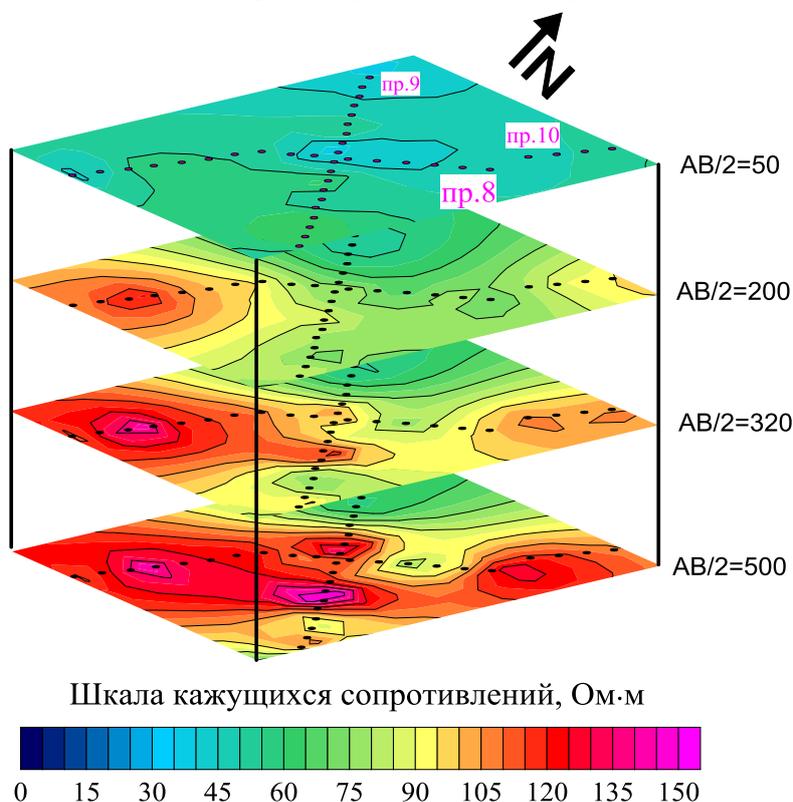


Рис. 5. Горизонтальные сечения поля кажущихся сопротивлений

Анализ сечений кажущихся сопротивлений на выборочных разносах АВ показал, что значения КС исследуемой территории меняются в пределах от 30 до 150 Ом·м. На малых разносах ( $AB/2=50$  м.), соответствующих эффективной глубине 15 – 20 м, сечение КС характеризует электрические свойства пород в верхней части ТКТ. Сквозная область высоких значений (135-150 Ом·м) в юго-восточной части наблюдается с разноса  $AB/2=200$  метров и на последнем разносе прослеживается по горизонтали вдоль всего 8 профиля, что согласуется с глубиной залегания опорного геоэлектрического горизонта (кровли переходной пачки и покровной каменной соли). В северо-западной части рассматриваемого фрагмента наблюдается область пониженного сопротивления, которая распространяется на все глубины. Она может быть связана с наличием зон повышенной трещиноватости, по которым происходит активный водообмен, либо с литологическими особенностями пород слагающих разрез.

### **Выводы**

Результаты электроразведки методом ВЭЗ позволили повысить степень изученности Восточно-Талицкого участка и выделить в северной части зоны пониженных электрических сопротивлений (30-80 Ом·м), приуроченной по глубине к отложениям терригенно-карбонатной и соляно-мергельной толщ, а также верхней соли.

*Работа выполнена в рамках Программы ФНИ, проект № 0422-2019-0146-С-02  
(Регистрационный номер темы НИОКТР: АААА-А18-118040690028-5).*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / под ред. Н.М. Джиноридзе. – СПб; Соликамск, 2000. – 400 с.
2. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований / ГИ УрО РАН. – М.: Науч. мир, 2007. – 247 с.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей / ГИ УрО РАН; [отв. ред. В.И. Раевский]. – Пермь: [Соликам. тип.], 2001. – 429 с.: ил.
4. Степанов Ю.И. О необходимости учета влияния техногенных факторов при истолковании результатов ВЭЗ в условиях ВКМС // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 11 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2013. – С. 213-215.

УДК 550.8.05

DOI:10.7242/echo.2020.1.15

### **ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ МАЛОГЛУБИНЫМ И ШАХТНЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ**

М.В. Тарантин

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Лучевое приближение сейсмики предполагает изменение амплитуд отраженных и проходящих волн в слоистой среде в соответствии с углами их распространения относительно границ. Это вступает в противоречие с принятыми при определении скоростей допущениями о постоянстве искомым на сейсмограммах сигналов. Рассмотрено влияние этих противоречий на суммарный сигнал при некоторых вариантах обработки для случая небольших глубин исследования, когда глубины ожидаемых отражений существенно меньше длины используемой расстановки.

**Ключевые слова:** сейсмическая разведка, скоростной анализ, отраженные волны, поперечные волны, моделирование.