

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Аронов В.И. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. – М.: Недра, 1990. – 301 с.
2. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – 8-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000. – 622 с.: ил.
3. Воздушная навигация: справочник / [Белкин А.М. и др.]. – М.: Транспорт, 1988. – 303 с.
4. Блох Ю.И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий: учеб. пособие. – 2009. – 232 с. – Текст электронный. – URL: <http://sigma3d.com/index.php/publications/books> (Дата обращения 14.02.2022 г.).
5. Долгаль А.С. Оценка влияния формы поверхности измерений в методе истокообразной аппроксимации геопотенциальных полей // Горное эхо. – 2020. – № 2 (79). – С. 49-57. – DOI: 10.7242/echo.2020.2.10.
6. Долгаль А.С., Костицын В.И., Пугин А.В., Хохлова В.В. Выбор модели Земли для трансформации аномалий силы тяжести в процессе региональных исследований // Геофизика. – 2022. – № 5. – С. 6-12.
7. Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н., Пугин А.В. Алгоритмы аппроксимации геопотенциальных полей истокообразными функциями // Геофизика. – 2016. – № 5. – С. 4-10.
8. Долгаль А.С., Пугин А.В., Новикова П.Н. История метода истокообразных аппроксимаций геопотенциальных полей // Физика Земли. – 2022. – № 2. – С. 3-26. – DOI: 10.31857/S0002333722020028.
9. Кауфман А.А., Хансен Р. Принципы метода гравиметрии: Пер. с англ. В.А. Ефремова, Т.А. Тимакиной. – Тверь: Междунар. Ассоц. «АИС», 2011. – 376 с.
10. Математический форум Math Help Planet. – Текст электронный. – URL: <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=iteratsionnyi-metod-shultsa-nakhozheniya-obratnoi-matritsy> (Дата обращения 2.02.2023 г.)
11. Рогалев А.Н., Доронин С.В. Использование критериев обусловленности при численных расчетах напряженного состояния силовых конструкций // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 2 (30). – С. 91-99.
12. Страхов В.Н., Керимов И.А., Степанова И.Э. Разработка теории и компьютерной технологии построения линейных аналитических аппроксимаций гравитационных и магнитных полей. – М.: ИФЗ РАН, 2009. – 254 с.: ил.
13. Фадеев Д.К. Об обусловленности матриц // Труды математического института АН СССР. – 1959. – Т. 53. – С. 387-391.
14. Цей Р., Шумафов М.М. Число обусловленности матрицы как показатель устойчивости при решении прикладных задач // Труды ФОРА. – 2011. – № 16. – С. 61–67.
15. Hager W.W. Condition estimates // SIAM Journal on scientific and statistical computing. – 1984. – V. 5, № 2. – P. 311-316.

УДК 550.837

DOI:10.7242/echo.2023.1.12

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ГОРИЗОНТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ  
В НАДСОЛЕВОЙ ТОЛЩЕ ПОРОД МЕТОДОМ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
С ЦЕЛЬЮ ЗАКАЧКИ ИЗБЫТОЧНЫХ РАССОЛОВ**

Е.С. Зубрикова, М.С. Лучников  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация.** В работе представлены результаты электроразведочных работ, направленные на поиск и локализацию горизонтов-коллекторов, с целью закачки избыточных рассолов. Для выделения разуплотненных участков пониженных удельных сопротивлений проведен расчет суммарной продольной проводимости.

**Ключевые слова:** электроразведка, избыточные рассолы, горизонт-коллектор, удельное электрическое сопротивление, суммарная продольная проводимость.

Избыточные рассолы калийных предприятий являются жидкими отходами, получаемыми при производстве калийных удобрений. Классически проблема утилизации жидких отходов во всем мире решается строительством шламонакопителей. С ростом производства и накоплением отходов таких сооружений требуется все больше. Накопление избыточных рассолов в шламохранилищах исчисляется миллионами кубических метров в год. Для того чтобы сократить количество шламохранилищ и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду современные компании прорабатывают возможность безопасно размещать и утилизировать избыточные рассолы в подземных горизонтах. Для локализации горизонтов-коллекторов в пределах горного отвода был проведен геофизический комплекс работ.

На участке работ (рис. 1) ранее был выполнен ряд геолого-геофизических исследований, включающий как наземные сейсморазведочные и электроразведочные исследования, солеразведочное бурение с проведенным комплексом ГИС, так и структурно-тектонический анализ состояния водозащитной толщи.

Участок работ расположен в восточной краевой полосе южной части Верхнекамского месторождения. С запада и с севера от исследуемого участка расположены Дурыманский и Быгельско-Троицкий участки детальной разведки, на востоке – граница месторождения, с юга – Сибирское месторождение нефти [2]. Разведка данного участка началась с 1968 года [3]. На данный момент в пределах исследуемого участка пройдено 63 скважины, из них 42 – разведочных, 11 структурных, 7 гидрогеологических и 4 скважины под задачи картирования и съемку поверхности.

Электроразведочные работы на исследуемой площади выполнены методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) [1]. В качестве рабочей применялась симметричная четырехэлектродная установка Шлюмберже, в которой расстояние между питающими электродами и центром измерительной установки последовательно увеличивалось с прогрессией 1,25. Максимальный разнос питающей линии (АВ) составлял 1000 м. Шаг по профилю составлял 40 м.

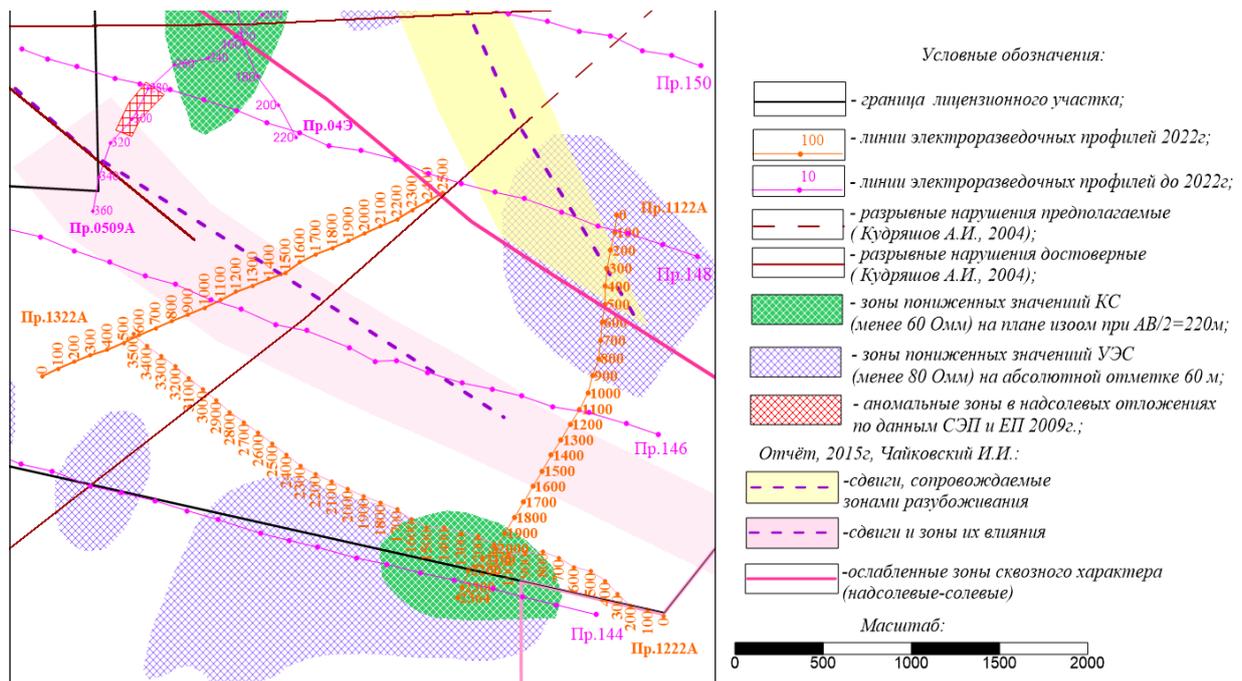


Рис. 1. Схема расположения электроразведочных профилей

Сопоставление результатов количественной интерпретации параметрических ВЭЗ, расположенных вблизи скважин, с данными бурения указывает, что в результатах интерпретации находят отображение практически все основные комплексы пород, включая четвертичные отложения, ПЦТ, ТКТ, СМТ, ПП+ПКС. Граница кровли опорного электрического горизонта относится как к кровле переходной пачки (ПП), так и к кровле покровной каменной соли (ПКС). Условно опорный электрический горизонт отождествляется с кровлей нерасчлененной толщи ПП+ПКС.

Для качественной характеристики электрических свойств надсоляного комплекса и опорного электрического горизонта, отождествляемого с кровлей нерасчлененной пачки ПП+ПКС, построены соответствующие схемы изоом кажущихся сопротивлений для полуразносов питающей линии 220 и 400 метров, представленных на рисунке 2.

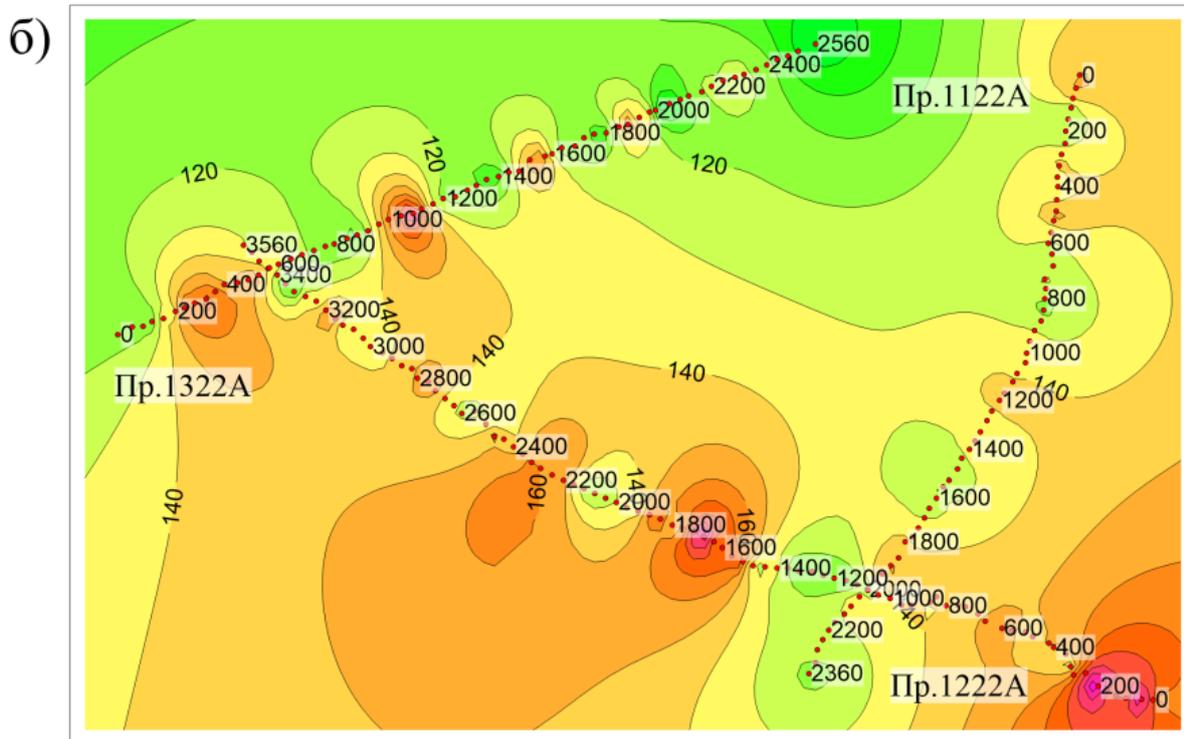
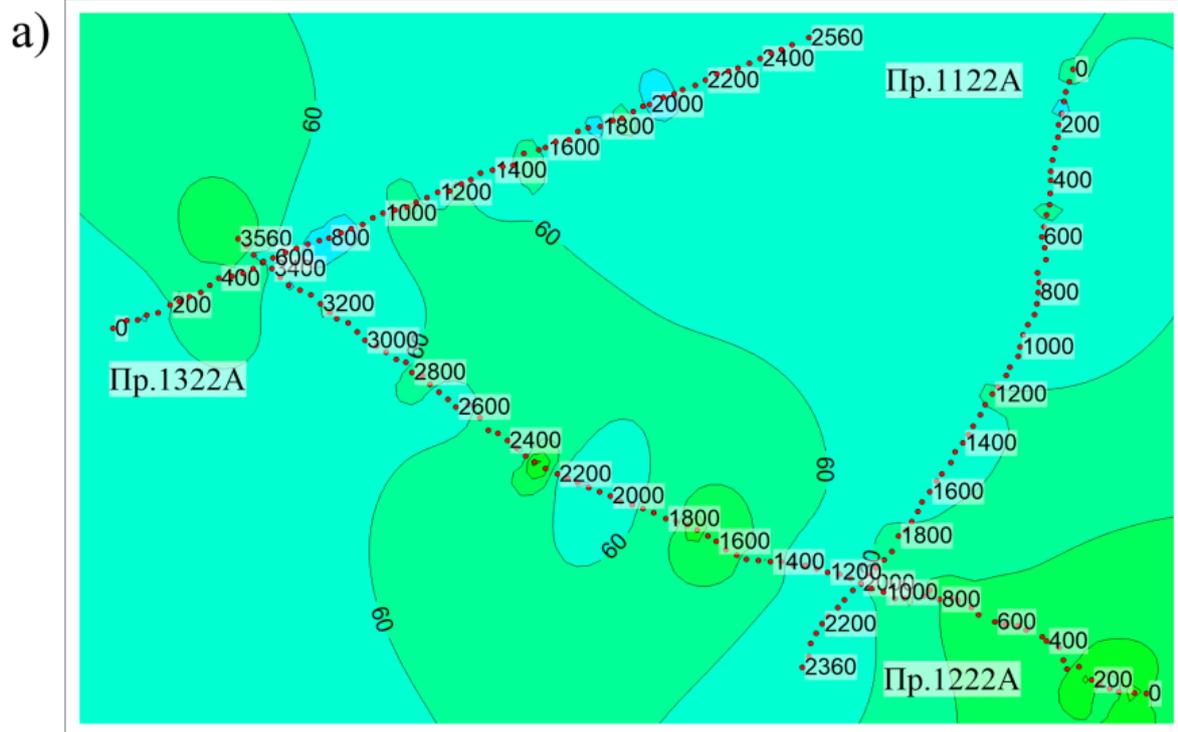
На схеме изоом КС для  $AB/2 = 200\text{ м}$  (рис. 2а) поле спокойное, на большей части участка изменяется в пределах 50-70 Ом\*м. Встречаются локальные зоны пониженных сопротивлений (ПР 1322А – ПК 680-840 м; ПК 1900 – 2200 м). Обращает на себя внимание «рукав» по изолинии 60 Ом\*м в районе пересечения профилей 11 и 12, т.к. в этом же месте прослеживается зона пониженных сопротивлений и на схеме КС для  $AB/2 = 400\text{ м}$ . Кажущиеся сопротивления на схеме для  $AB/2 = 400\text{ м}$  (рис. 4б) изменяются от 70 до 240 Ом\*м. Зона пониженных КС (меньше 100 Ом\*м) выделяется на северо-восточном окончании профиля 1322А. Это обусловлено пониженными значениями УЭС в СМТ и кровле опорного электрического горизонта. Это отмечено ниже при описании результатов интерпретации по данному профилю. Зона высоких КС выделена в начале профиля 1222А ПК 0-400м.

Профиль 1222А простирается в субширотном направлении с востока на запад. Рельеф осложнен двумя логами, русла которых приурочены к пикетам 240 м в восточной части и к пикету 1660 м в центре профиля. В районе этих логов наблюдается осложнение поля кажущихся сопротивлений.

Количественная интерпретация проводилась с помощью программ IPI-1D и IPI2Win [5]. Как видно из геоэлектрического разреза УЭС (рис. 3б, в) в ТКТ на востоке меньше, чем в центральной, а на западе имеет мозаичный характер. В восточной части профиля ПК 0-360 м сопротивление в СМТ повышенное – 190-240 Ом\*м. На остальном интервале профиля УЭС изменяется от 70 до 140 Ом\*м. В опорном электрическом горизонте выделяется три зоны пониженных (менее 1000 Ом\*м) УЭС в интервалах 200-500, 1366-1600 и 2080-2440 метров.

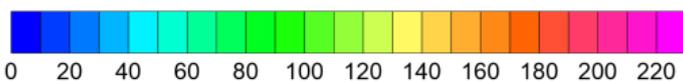
Для выделения разуплотненных участков пониженных удельных сопротивлений (повышенной электропроводности) по профилям, которые, как отмечено выше, и соответствуют породам с повышенными коллекторскими свойствами, нами рассчитаны значения суммарной продольной проводимости для средней части СМТ (рис. 3г).

По архивным данным (Беляев, 1989 г.) аномально низкими сопротивлениями для данной абсолютной отметки 60 метров считается УЭС ниже 80 Ом\*м. Если с «запасом» принять значение ниже 75 Ом\*м, то в пересчете на суммарную продольную проводимость [4] разуплотненным зонам соответствуют участки профиля с проводимостью более 2,3 См/м. Исходя из этого, по данным электроразведки выделяются зоны разуплотнения в СМТ по профилю 1222А – интервалы ПК: 840-1360 м; 1840-2280 м; 2800-3400м. Аналогичным образом суммарная продольная проводимость была рассчитана для других профилей.



Шкала кажущегося сопротивления, Ом\*м

Масштаб, м

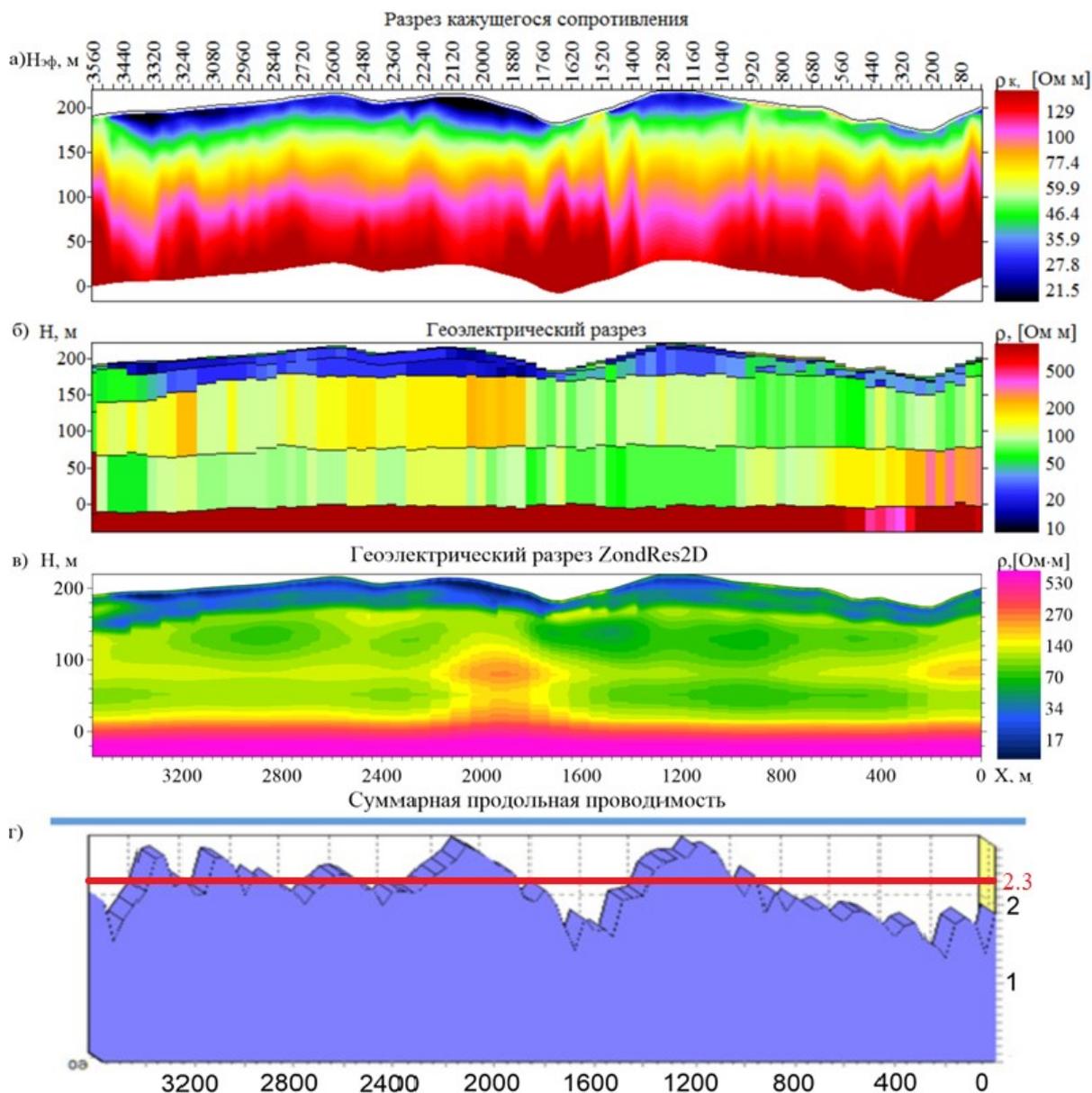


- электроразведочные профили 2022г.;



- солеразведочные скважины.

Рис. 2. Схемы изоом кажущихся сопротивлений а)  $AB/2 = 200$  м, б)  $AB/2 = 400$  м



**Рис. 3.** Разрез кажущегося сопротивления (а), геоэлектрические разрезы (б, в), суммарная продольная проводимость на абсолютной отметке 60 м по профилю 1222А

По результатам комплексной интерпретации всех данных была построена сводная схема полученных результатов (рис. 4). Таким образом, в пределах пикетов 1500-2100 профиля 1222А наблюдается:

- совпадение аномальных зон в СМТ, выделяемых по всем геофизическим данным разных лет и характеризующих повышенные коллекторские свойства разреза;
- повышенная мощность верхней части коллектора (выше реперного пласта гипсов), на основании чего можно предположить и потенциальное увеличение резервуара для закачки;
- повышенная прочность подстилающих коллектор отложений.

Анализ геолого-геофизической информации прошлых лет и комплексная интерпретация результатов сейсмо- и электроразведочных работ позволяет выделить в качестве наиболее перспективного для закачки рассолов участок в пределах пикетов 1500-2100 профиля 1222А.

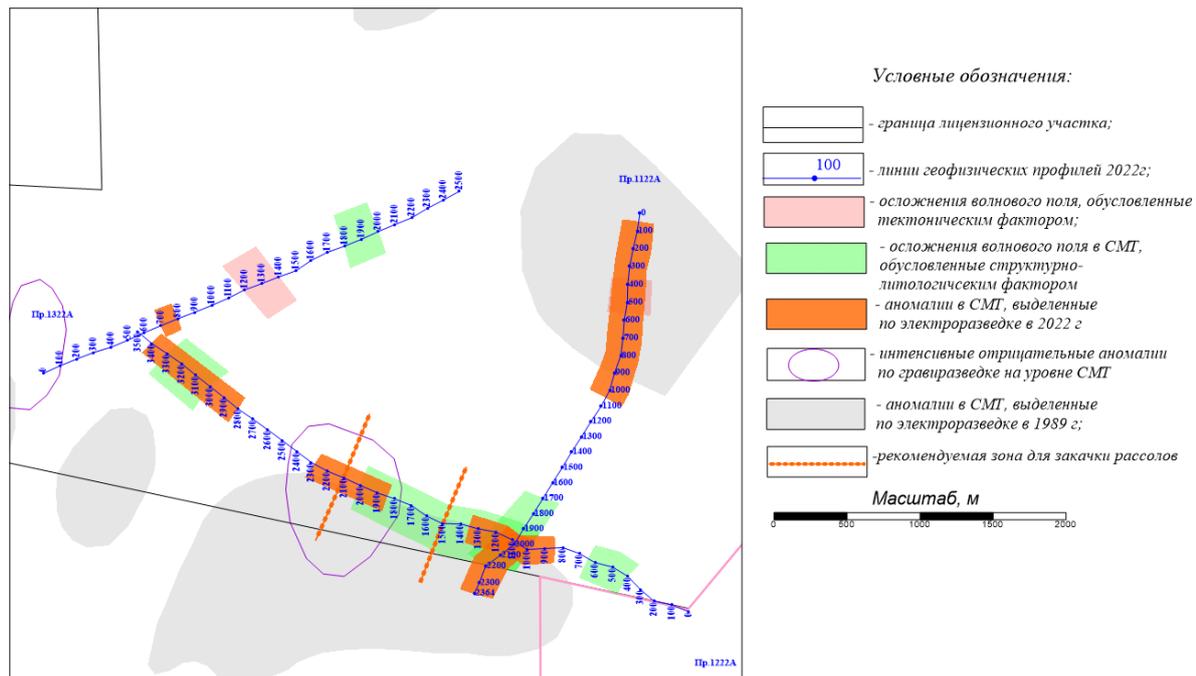


Рис. 4. Результаты комплексной интерпретации геофизических данных

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ № 122012000398-0.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований / ГИ УрО РАН. – М.: Науч. мир, 2007. – 247 с.
2. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2001. – 429 с.: ил.
3. Лучников М.С. Изучение электрических свойств надсолевых отложений на Восточно-Талицком участке ВКМКС // Горное эхо. – 2020. – № 1 (78). – С. 62-67. – DOI: 10.7242/echo.2020.1.14.
4. Матвеев Б.К. Электроразведка. – М.: Недра, 1990. – 368 с.: ил.
5. Loke M.H., Barker R.D. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion 1 // Geophysical Prospecting. – 1996. – V. 44, № 3. – P.499-523.

УДК 550.837

DOI:10.7242/echo.2023.1.13

## ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА СКОПЛЕНИЯ СВОБОДНОГО МЕТАНА В ТРЕЩИННОМ КОЛЛЕКТОРЕ ПО ДАННЫМ ПЕТРОФИЗИКИ УГЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ

Л.А. Иванов, В.В. Туманов

*Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)  
Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики (Донецк)*

**Аннотация:** Использование прогрессивных геоэлектрических технологий для выявления скоплений свободного метана весьма актуально, так как с этими скоплениями связана аварийность и гибель людей на угольных шахтах. Незначительные размеры и слабая геоэлектрическая контрастность данных