МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

# Картирование многолетнемерзлых пород методом вертикальных электрических зондирований (на примере Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения углеводородов)

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 261 группы
направление 05.04.01 геология
геологического ф-та
Бычкова Кирилла Витальевича

Научный руководитель
К.г.-м.н., доцент _____ В.Ю. Шигаев
подпись, дата

Зав. кафедрой
к.г.-м.н., доцент _____ Е.Н. Волкова
подпись, дата

Саратов 2021

**Введение.** Материал для написания выпускной квалификационной работы, получен в результате прохождения мною производственной практики в компании ООО «Газпром проектирование» на Бованенковском нефтегазоконденсатном месторождении.

**Актуальность работы.** Геофизические исследования служат для оценки и уточнения инженерно-геологических условий и получения данных для проектирования средств заземлений. Основную опасность для эксплуатационных скважин и сопутствующих инженерных сооружений в районах вечной мерзлоты представляют ледяные тела и высокольдистые грунты вблизи поверхности, поскольку во время эксплуатации происходит растепление вокруг скважины и других действующих объектов, что вызывает опасные термоэрозионные процессы.

Одним из основных методов выявления в геологическом разрезе многолетнемерзлых пород (ММП) является метод вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ).

Выпускная квалификационная работа состоит из пяти разделов и трех подразделов: Первый раздел «**Физико-географическая характеристика района работ»,** второй раздел **«Геологическое строение района работ»**, Третий раздел **«Гидрогеологические условия»,** Четвертый раздел **«Геокриологические условия района работ»,** Пятый раздел **«Методика исследований»,** включающий в себя: подраздел 5.1 - **«Основные понятия и определения»,** подраздел 5.2- **«Полевые работы ВЭЗ»,** подраздел 5.3- **«Камеральные работы ВЭЗ»**.

**Целью** выпускной квалификационной работы является картирование многолетнемерзлых пород в районе 51 куста газовых скважин Бованенковского месторождения методом вертикальных электрических зондирований. Для этого необходимо решить следующие **задачи**:

1. Изучить физико-геологические условия района работ.

2. Ознакомиться с методикой проведения ВЭЗ и особенностями интерпретации полевых материалов.
3. Расчленить разрез дисперсных пород на слои различного литолого-петрографического состава.
4. Определить в плане и в разрезе положения границ мерзлых и немерзлых пород, обнаружить и оконтурить в разрезе ледяные тела различной морфологии (пластовые, повторно-жильные) и зоны повышенной льдистости.

Отметим, что электроразведочные методы геофизики широко применяются при решении геокриологических задач, таких как определение мощности толщи ММП, картирование островной мерзлоты, выделение таликовых зон и ряда других.

**Основное содержание работы.**

В первом разделе, «**Физико-географическая характеристика района работ»**, описано географическое расположение изучаемого района, приуроченность к тундровой зоне, растительный покров и морфология.

Во втором разделе, **«Геологическое строение района работ»**, основное внимание уделено четвертичным породам, которые являются основным объектом инженерно – геофизических изысканий. Мощность чехла четвертичных отложений составляет 250-300 м. Они представлены тремя террасами и сложены аллювиально-морскими осадочными отложениями.

В третьем разделе, **«Гидрогеологические условия»** говорится о породах, слагающих гидрогеологические комплексы, находящиеся в многолетнемерзлом или охлажденном состоянии, а также выделяются следующие типы подземных вод: надмерзлотные, межмерзлотные (внутримерзлотные) и подмерзлотные.

В четвертом разделе, **«Геокриологические условия района работ»** рассматривается чрезвычайно сложное неоднородное строение криогенных толщ и приуроченность территории проведения работ к области развития опасных инженерно-геологических процессов, а также упоминаются особенности геокриологических условий, осложняющих строительное освоение территории.

В пятом разделе, **«Методика исследований»,** который включает в себя **«Основные понятия и определения» -** подраздел 5.1, **«Полевые работы ВЭЗ»** подраздел 5.2 и **«Камеральные работы ВЭЗ»** подраздел 5.3 изучаются основы методов сопротивлений, даются общепринятые понятия и определения. помимо этого говорится о производстве работ, глубинности исследования, используемой аппаратуре и расстановке электродов, а также методике обработки полевого материала.

При выполнении исследований в полосе трассы линейных сооружений пикеты наблюдений располагаются по оси трассы линейных объектов. Учитывая сложные геокриологические условия, шаг между точками наблюдений составлял 25 метров, глубина исследования до 15-17м. На площадных объектах геофизические профили прокладывались на расстоянии порядка 50м друг от друга при шаге наблюдения по профилю 25м. Глубина исследования на площадных объектах составляла до 20-30м.

Работы методом ВЭЗ проводились аппаратурой «измеритель МЭРИ 24», , и «генератор АСТРА 100», , на частоте 4.88 Гц. (производства ООО «Северо-Запад» г.Москва).

При производстве исследований, основываясь на принципе взаимности, применялась несимметричная четырёхэлектродная установка (экспресс-установка – аналог классической симметричной установки Шлюмберже) с линейным шагом между электродами с разносами ON=2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 26, 34, 50 и 66м. При взаимном изменении роли питающих и приёмных электродов, во время работ, получилось в несколько раз ускорить процесс проведения наблюдений, в связи с тем, что не приходится тратить время на включение/выключения генератора при переходе с разноса на разнос. Так же, в связи с небольшими разносами, удалось избежать затухания измеряемого сигнала, в результате чего удалось избежать дополнительных измерений для получения сегментированных кривых ВЭЗ, устранив «ворота» на кривых ВЭЗ. Разнос между электродами АВ составляет 2м. При производстве работ на глубину 15-17 метров исключался последний разнос (MN/2=66м). При

производстве работ с экспресс-установкой электрод «N» изначально выносится по линии расстановки на расстояние равное максимальному разносу MN/2 (66м).

В задачу камеральных работ на полевом этапе исследований входит оперативная обработка и оценка качества геофизических материалов непосредственно в полевых условиях, а также составление информационных отчетов по результатам наблюдений.

Окончательная обработка и интерпретация полевых материалов геофизических исследований на камеральном этапе проводится с целью:

– изучения литологического состава верхней части инженерно-геологического разреза;

– расчленение разреза на слои различного литолого-петрографического состава;

– определение в плане и разрезе положение границ мерзлых и немерзлых пород;

– определение удельного электрического сопротивления грунта.

В состав камеральных работ по методу ВЭЗ входит:

– составление схем расположения пикетов и профилей наблюдения по объектам исследований;

– формирование профилей с учетом рельефа;

– обработка полученных материалов электроразведки;

– увязка геоэлектрических характеристик с данными бурения, с использованием инженерно-геологических скважин в качестве опорных;

– корреляция геоэлектрических комплексов по профилям;

– составление геофизических разрезов.

Работа с полевыми данными проводится в программах: AutoCAD, Res2dinv, Ipi2win. В AutoCAD на основу топографических данных накладываются точки ВЭЗ загружаемые из GPS- навигатора Trimble.

На геофизических разрезах показываются результаты обработки данных ВЭЗ и интерпретация полученных данных в виде геоэлектрических границ с увязкой с данными инженерно-геологического бурения. По результатам работ определяется местоположение закладки скважин с учетом выделенных аномальных зон.

В шестом разделе **«Результаты исследований»** приводятся геоэлектрические разрезы, с привязкой геологических данных, полученных в процессе бурения, выделены зоны повешенного и пониженного удельного сопротивления (УЭС) четвертичных отложений, а также представлена карта распределения УЭС на площадке куста газовых скважин № 51, на глубине 5 м. Дополнительно показаны рекомендованные оси расположения заложения промысловых скважин.

Исследования проводились в августе 2020 г, отработано четыре профиля ВЭЗ, которые простираются с запада на восток, протяжённостью по 270м каждый. Для примера рассмотрим геоэлектрические разрезы по первому профилю, точки ВЭЗ 300-311.

Верхний геоэлектрический слой на первом профиле со значением УЭС 50-150 Ом*м соответствует отсыпному грунту, сложенному песком, который на момент геофизических исследований находился в талом состоянии и был увлажнен периодическими атмосферными осадками в виде дождя. Там, где отсыпной грунт отсутствует, верхний геоэлектрический слой соответствует слою сезонного оттаивания, сложенному по данным бурения талыми суглинистыми и супесчаными отложениями, как показано на рисунке 1.

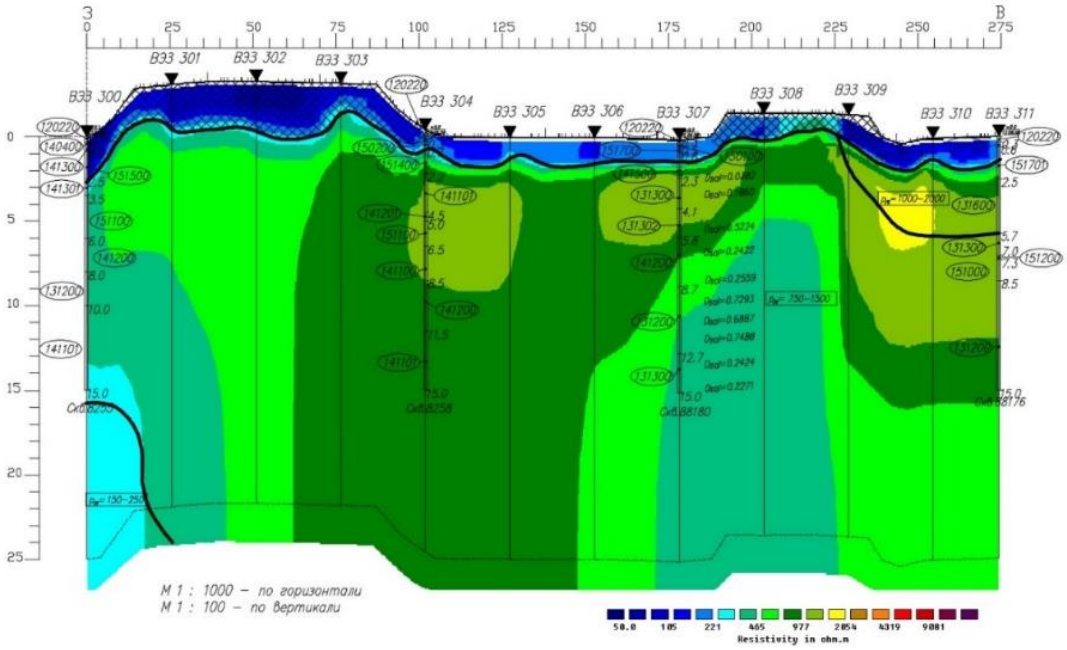


Рисунок 1 - Геоэлектрический разрез, Первый профиль ВЭЗ 300-311

Под отсыпкой и слоем сезонного протаивания вплоть до подошвы геоэлектрического разреза преобладают грунты с значениями УЭС 750-1500 Ом*м. Такими значениями УЭС обладают слабольдистые глины, суглинки и супеси с малой степенью засоления. На фоне таких значений УЭС выделяются зоны с повышенными и пониженными относительно вмещающих пород значениями УЭС.

Зона ниже слоя сезонного протаивания мощностью 4-4,5м наблюдается в интервале точек ВЭЗ 309-311 и характеризуется повышением значений УЭС до 1000-2000 Ом*м. Такими значениями УЭС, по данным бурения, обладают незасоленные сильнольдистые глины.

Зона с видимой мощностью 4 м и значениями УЭС грунтов 150-250 Ом*м прослеживается в интервале точек ВЭЗ 300-301 с глубины 16 м. Понижение значений УЭС может быть связано с засолением.

На втором профиле в западной части преобладают значения УЭС от 1000 до 2000 Ом*м, начиная с середины профиля до конца профиля в восточной части наблюдается тенденция увеличения УЭС от 2000 до 4500 Ом*м. по данным бурения увеличение значения УЭС связано с залеганием очень сильнольдистых суглинков.

На третьем профиле наблюдается увеличение значений УЭС в восточном направлении по всему профилю от значений 2500 Ом*м до 8000 Ом*м, такие высокие значения объясняются залеганием очень сильнольдистых глин и суглинков, также на профиле в восточной части, скважиной 88179 был вскрыт лёд.

На четвертом профиле выявлены самые большие значения УЭС на всей площадке, по всему профилю значения УЭС варьируют от 6000 Ом*м до 8500 Ом*м, максимум наблюдается также в восточной части карты, что связано с наличием очень сильнольдистых дисперсных пород и пластовых и жильных льдов в разрезе.

По данным интерпретации в плане прослеживаются четыре зоны. Две из них низкоомные, по данным геологии, связанные с засолением пород, которые располагаются в юго-восточной и северо-западной части площадки, видно на рисунке 2, и две высокоомные имеющие широкое распространение, сопротивление которых, увеличивается с юга на север. По геологическим данным, это связано с увеличением степени льдистости пород в простирании с юга на север, исходя из этого на рисунке 2, под номерами 1,2,3 показаны рекомендованные оси расположения промысловых скважин.

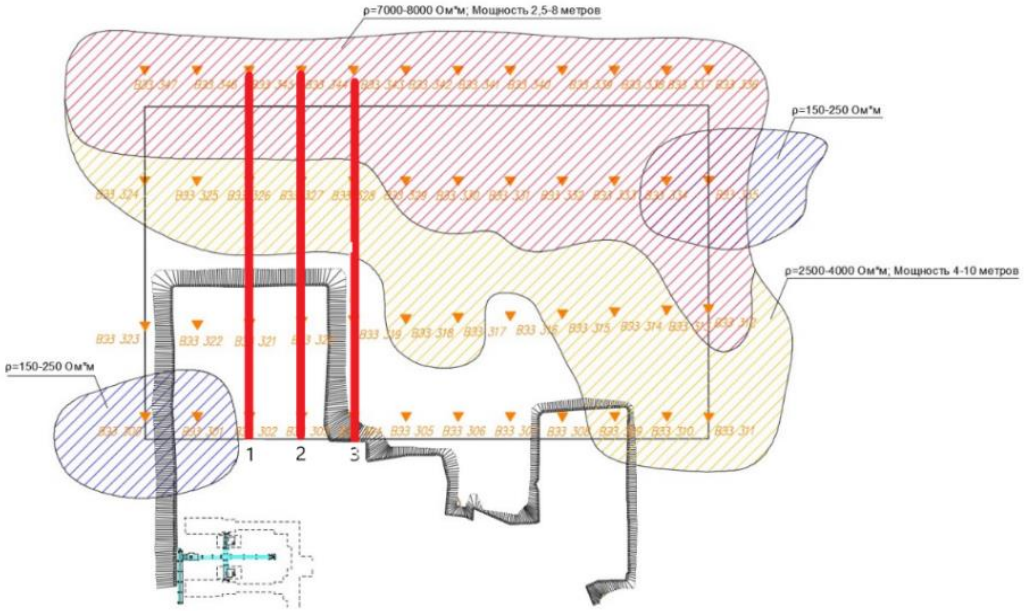

Рисунок 2 - Схема расположения высокоомных и низкоомных зон и рекомендованного расположения осей скважин на кусту газовых скважин №51

После дополнительных исследований и анализа геофизических и геологических данных в программе Surfer была построена карта распределения удельного электрического сопротивления кровли ММП, как показано на рисунке 3.

Изучив карту распределения УЭС, можно отметить, что в верхних частях разреза, до глубины 5м, в пределах описываемой площадки выделяется горизонты с достаточно высокими фоновыми значениями удельного электрического сопротивления от 500 Ом*м до 8500 Ом*м. До указанной глубины по данным бурения распространены мерзлые терригенные отложения преимущественно песчаного состава. Видно увеличение значение УЭС в северо-восточном направлении.

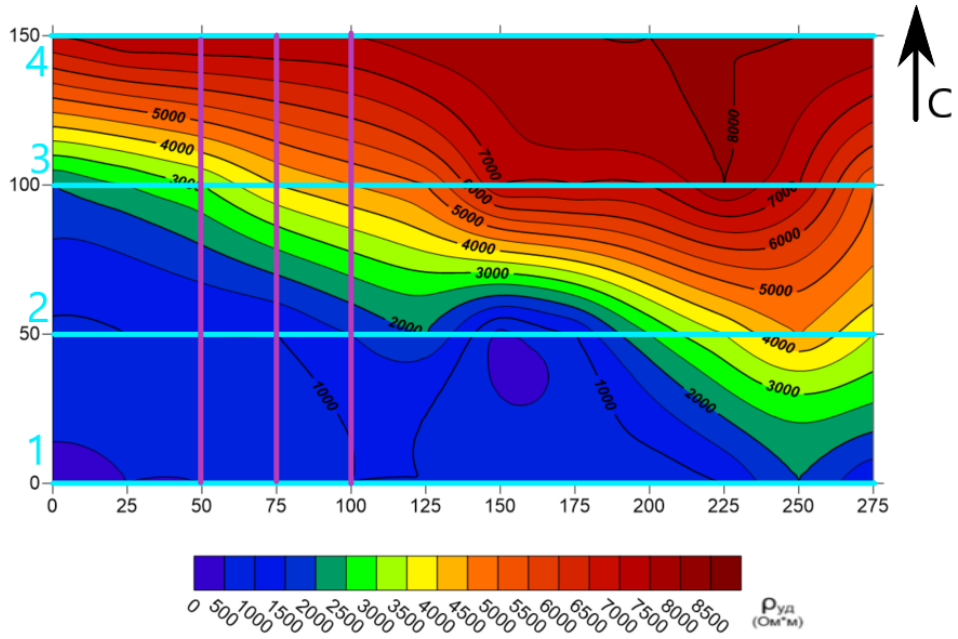


Рисунок 3 – Карта распределения УЭС по площадке куста газовых скважин №51, на глубине L = 5 м, где ——— - линия профиля, ——— - рекомендованные оси расположения заложения скважин.

(масштаб 1:1000)

На основании изложенного на карту были нанесены рекомендованные оси предпочтительного расположения промысловых скважин. Учитывая, что льды и очень сильнольдистые породы представляют наибольшую опасность при бурении промысловых скважин, строительстве и эксплуатации объектов, оси скважин были смещены в западную часть площадки.

В ходе проведения исследования были сопоставлены значения УЭС и данных геологии полученных в ходе выполнения буровых работ. Используя геологические скважины в качестве априорной информации, подобраны наиболее верные модели строения геологической среды, что в дальнейшем позволило определить мощности слоев, значения УЭС и построить геоэлектрические границы и провести корреляцию разрезов.

Полученные материалы детально отражают реальную структуру верхней части разреза исследуемых участков, согласуются с результатами бурения и хорошо дополняют материалы предварительной интерпретации. Экспериментальные данные подтверждают высокую эффективность метода ВЭЗ при картировании ММП на территории Бованенковского НГК месторождения.

**Заключение.** Многолетней мерзлотой охвачено свыше 40% территории нашей страны. В этих условиях буквально все особенности возведения сооружений, в том числе и бурение глубоких скважин, определяются геокриологической обстановкой. При ее изучении эффективным оказалось использование электрометрических методов. Электрические зондирования и электрическое профилирование дают возможность картировать границы распространения мерзлых пород, выделять талики в их толщах и определять гипсометрию верхней и нижней поверхностей пород, охваченных мерзлотой. Представляется также возможным оценивать льдистость пород и выделять отдельные скопления льда. Длительные наблюдения за изменением удельных электрических сопротивлений позволяют следить за динамикой мерзлотных условий. Часть из этих задач, применительно к территории Бованековского месторождения углеводородов решена в данной работе:

– Изучены физико-геологические условия района исследований;

– Произведено ознакомление с методикой проведения ВЭЗ и особенностями интерпретации полевых материалов;

– Расчленена верхняя часть геологического разреза слои различного литолого-петрографического состава;

– Определены в плане и в разрезе положения границ мерзлых и немерзлых пород, обнаружены и оконтурены в разрезе отдельные ледяные тела различной морфологии и зон повышенной льдистости.

Таким образом, цель данной выпускной квалификационной работы – выполнение геофизических исследований методом вертикальных электрических зондирований для построения геоэлектрического разрезов и выделения зон как повышенного, так и пониженного сопротивления, связанных соответственно с ледяными телами и засолением грунтов, а также картирование многолетнемерзлых грунтов методом вертикальных электрических зондирований – достигнута.

Отметим эффективность ВЭЗ при решении геокриологических задач, совместное применение несимметричной четырехэлектродной установки на основе принципа взаимности, существенным образом уменьшает временные затраты и повышает производительность электроразведочных работ, что приводит к увеличению производительности изысканий без потери качества получаемых материалов. К тому же, применение небольших разносов позволяет получать измеряемые сигналы достаточно большой величины, что позволяет не проводить дополнительные измерения для получения сегментированных кривых ВЭЗ.