

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

Кафедра геофизики

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т   Б А К А Л А В Р С К О Й   Р А Б О Т Ы**

«Возможности дипольного электрического зондирования в криолитозоне  
газопровода Бованенково-Ухта»

Студентки 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
профиль «Нефтегазовая геофизика»  
геологического ф-та  
Кузнецовой Анастасии Ивановны

Научный руководитель  
к.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.Ю. Шигаев

Зав. кафедрой  
к.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2022

**Введение.** Картирование подповерхностных геологических структур криолитозоны, которая занимает 65% территории Российской Федерации, является весьма актуальной и сложной задачей. К настоящему времени назрела необходимость изучения многолетнемерзлых пород в связи с интенсивным освоением природных ресурсов Севера. Особенно остро стоит проблема обеспечения надежности проектирования и стабильной эксплуатационной пригодности газопроводов, которые в криолитозоне во многом подвержены различного рода деформациям. Зависимость устойчивости свайных опор газопроводов от нарушения природных процессов оттаивания и промерзания грунтов является критической, поэтому для ее изучения требуется привлечение всего комплекса современных геолого-геофизических методов. Ведущее место в этом комплексе занимают методы электроразведки, в частности метод дипольного электрического зондирования (ДЭЗ), что обусловлено высоким контрастом удельных электрических сопротивлений ( $U_{ЭС}$ ) талых и мерзлых пород.

Электроразведочные исследования служат для оценки и уточнения инженерно-геологических условий и получения необходимых данных для проектирования и строительства инженерных сооружений в криолитозоне, для эксплуатационных которых наибольшую опасность представляют ледяные тела и высокольдистые грунты вблизи поверхности. Растепление вокруг действующих инженерных объектов во время эксплуатации вызывает опасные термоэрозионные процессы, в частности деградацию мерзлоты, подтопление и заболачивание территорий, возникновение развитой сети промоин и оврагов и др.

Возможности электроразведочных методов в изучении криолитозоны изложено в работах А.Т. Акимова, Б.Н. Достовалова, В.С. Якупова, Р.И. Коркиной, Ю.А. Ним, А.В. Омеляненко, В.В. Стогний, О.Д. Смилевца, Е.В. Волковой и А.В. Чемруковой, В.В. Романова и Д.Д. Шубиной, P Bergman., C. Schmidh-Platenberger, D. Kiessling, C. Riiceker и др. Приведенный в ВКР

краткий литературный обзор показывает большие возможности электроразведки при решении многочисленных инженерно-геологических проблем в зоне распространения многолетнемерзлых пород.

**Целью** ВКР является исследование возможностей дипольного электрического зондирования в криолитозоне газопровода Бованенково-Ухта.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

1. Изучить краткую геологическую характеристику района исследований.
2. Изучить теоретические основы, методику работ методом ДЭЗ и способы интерпретации полевых материалов.
3. Проинтерпретировать полевые материалы и привести результаты исследований.

В основу выполненной выпускной квалификационной работы (ВКР) легли материалы электроразведочных исследований, полученные в период прохождения производственной практики летом 2021 г. На тот момент участок компрессорной станции (КС) Бованенково - КС Байдарацкая магистрального газопровода Бованенково-Ухта III нитка находился на стадии проектирования силами ООО «Газпром проектирование». Данный участок был основным объектом изучения, а основным методом исследований - метод ДЭЗ.

Количество разделов 5:

1. Введение
2. Краткая геологическая характеристика района работ.
3. Теоретические основы и методика электроразведочных работ методом дипольного электрического зондирования.
4. Результаты исследований.
5. Заключение

**Основное содержание работы.** В разделе 1 дается краткая геологическая характеристика района работ. Магистральный газопровод Бованенково – Ухта III нитка (ООО «Газпром проектирование», Программа на выполнение ...). Участок КС Бованенково – КС Байдарцкая в административном отношении относится к Ямало-Ненецкому автономному округу Тюменской области (**подразделе 1.1.**). По проекту трасса магистрального газопровода должна находиться в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Мощность криолитозоны там достигает 300-400 м. Значительная часть мерзлых грунтов характеризуется высокой степенью льдистости и засоленности (Ним Ю.А., Омеляненко А.В., Стогний В.В., 1994).

В геологическом строении верхней части разреза исследуемого объекта принимают участие следующие осадочные отложения (**подразделе 1.2**): биогенные (b IV), мощностью от 1 до 3 м; аллювиальные (a IV), мощностью от 3 до 8 м; озерные (IV), мощностью от 3 до 8 м; морские (mIII-IV, mII-III), суммарной мощностью до 50–52 м (Смилевец О.Д., Хаюк Н.В., Кравцова К.А. и др., 2008). В структурно-гидрогеологическом плане территория исследований относится к Прикарскому бассейну стока подземных вод (**подразделе 1.3**). По соотношению с многолетнемерзлыми породами и положению в разрезе выделяются надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные типы подземных вод. Для проектируемого газопровода опасность могут представлять следующие экзогенные геологические процессы (**подраздел 1.4**): заболачивание, половодье, подтопление, водная (боковая и линейная) эрозия, термокарст, образование бугров пучения, солифлюкция, морозобойное растрескивание, оползни-оплывины (ООО «Газпром проектирование», Программа на выполнение ...).

**В 2 разделе** работы посвящена теоретическим основам и методике электроразведочных работ методом дипольного электрического зондирования.

Дипольные электрические зондирования (ДЭЗ) используется для изучения геологического разреза на больших глубинах (несколько сотен метров), для исследования которых сложно применять традиционную методику вертикального электрического зондирования (Дипольное электрическое профилирование ..., 2021). Электрический диполь – это система двух равных по величине и противоположные по знаку зарядов, расстояние между которыми во много раз меньше расстояний до рассматриваемых точек (**подразделе 2.1**). Характерной особенностью дипольных установок является сближенное расположение приемного и питающего заземления (Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л., 1982). Диполи попарно сближены настолько, что величины  $r_{AB}$  и  $r_{MN}$  намного меньше расстояния между центрами отрезков АВ и MN (**подразделе 2.2**).

При производстве работ методом ДЭЗ, применялись комплекты серийно выпускаемой электроразведочной аппаратуры «БИКС», которая предназначена для проведения электрического зондирования, с использованием дипольных емкостных линий (Электроразведочная аппаратура «БИКС», 2012). Аппаратура позволяет решать детальные инженерно-геологические и геоэкологические задачи при глубине исследований несколько десятков метров (**подразделе 2.3**). Особенностью аппаратуры является простота в эксплуатации, возможность работы в широком температурном диапазоне, отсутствие необходимости калибровки аппаратуры в процессе работы, задание параметров и считывание данных с блоков с помощью пульта управления по радиоканалу.

Для геологического расчленения разреза и определения положения границ мерзлых пород в работе применяется бесконтактная модификация метода ДЭЗ (**подразделе 2.4**). В полосе трассы проектируемого трубопровода располагался 31 пикет ДЭЗ, которые показаны на рисунке 1, шаг между которыми составлял 25 м и учитывал сложное геокриологическое строение исследуемого участка.

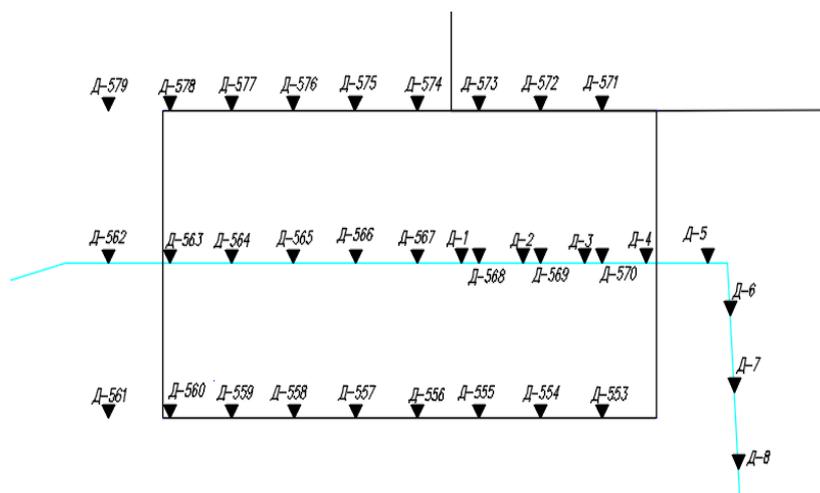


Рисунок 1 – Схема расположения пикетов ДЭЗ на участке проектируемого газопровода КС Бованенково – КС Байдарацкая

При производстве работ с применением диполей 2,5 и 5 м, генератор используемой расстановки (при совмещении 2.5 и 5 м диполей) должен располагаться непосредственно в одной и той же точке, привязка на местности производится с помощью GPS-навигатора. Полевые данные считываются с регистрирующей аппаратуры в компьютер, строятся графики кажущегося УЭС с различными разносами в электронных таблицах Excel. Погрешность измерений в методе ДЭЗ определяется по относительной разности значений  $\rho_k$  основных и повторных наблюдений и не должна превышать 5 %.

Интерпретация полевых материалов проводится в камеральной группе с использованием программа интерпретации электроразведочных данных RES2DINV (**подразделе 2.5**). Программа разработана для инверсии больших массивов данных (тысячи точек), полученных системой наблюдения с большим числом электродов (тысячи электродов). Она автоматически находит двумерную модель (2-D) сопротивления среды для электроразведочных данных. В основе программы лежит решение прямой задачи – расчет и построение псевдоразреза кажущегося УЭС для заданной пользователем двумерной модели среды, а для осуществления инверсии

используется метод нелинейной оптимизации на основе наименьших квадратов.

Основу полученных результатов (**разделе 3**) составляет обработка полевых материалов. Она включает несколько этапов (**подразделе 3.1**). На первом этапе из первичного файла, соответствующего изучаемому профилю, выгруженного из пульта управления прибора «БИКС», происходит формирование файл с расширением «.dat», для загрузки его в программу RES2DINV. После загрузки производится последующая двумерная инверсия данных. Дальнейшая обработка полевых материалов включает в себя: корреляцию геоэлектрических комплексов по профилям; увязку геоэлектрических характеристик с данными бурения опорных инженерно-геологических скважин; сопоставление литологии и УЭС пород.

Основной задачей интерпретации полевых материалов (**подразделе 3.2**) и является составление геоэлектрических разрезов. В верхней части геоэлектрического разреза с ДЭЗ 1 по 8 до глубины 1,4 – 2,0 м выделяется горизонт со значениями УЭС 700-1100 Ом\*м, который показан на рисунке 2.

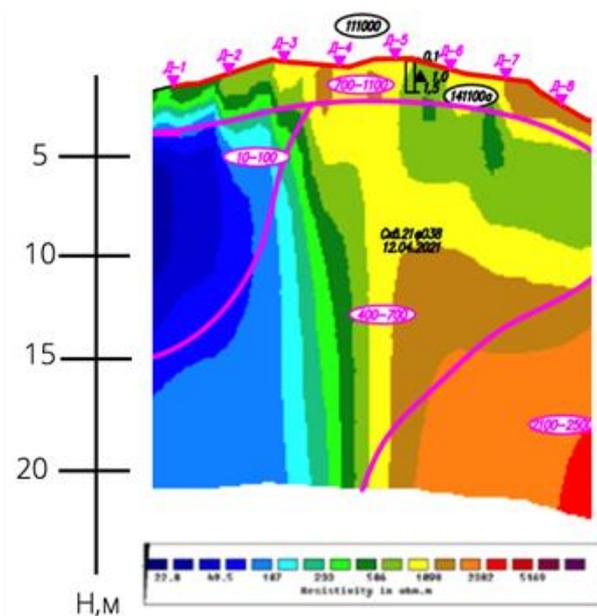


Рисунок 2 – Геоэлектрический разрез на участке КС Бованенково – КС Байдарацкая, пикеты ДЭЗ с 1 по 8

По данным последующего бурения здесь распространены мерзлые суглинистые отложения, которые отражены на рисунке 3.

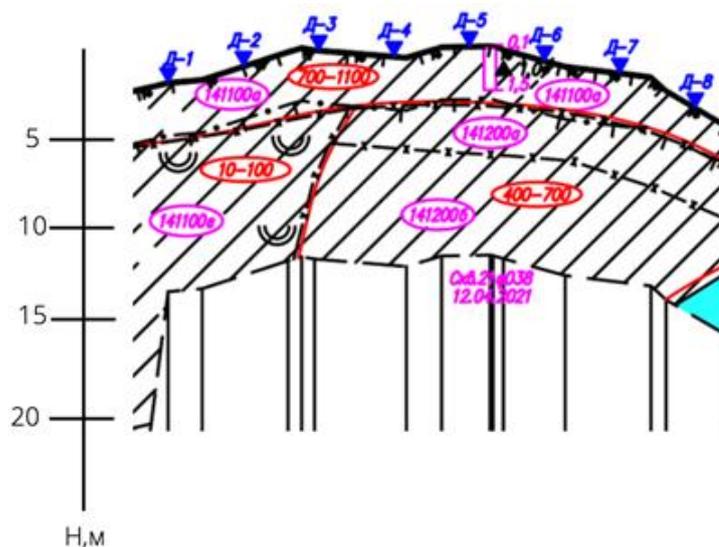


Рисунок 3– Инженерно геологический разрез по участку КС Бованенково-КС Байдарцкая пикеты ДЭЗ с 1 по 8

Ниже, в пределах с ДЭЗ 1 по 3, выделяется горизонт мощностью в среднем 10м, с низкими значениями УЭС 10-100 Ом\*м. Наблюдаемое по разрезу снижение УЭС объясняется данными бурения скважины 21л057. Оно связано с распространением в указанном интервале глубин сильнозасолённых суглинистых и песчаных отложений в мерзлом состоянии, а также с наличием криопега мощность 0,2 м на глубине 7,7 метров. Следующий геоэлектрический горизонт выделяется в пределах с ДЭЗ 4 по 8. Его мощность составляет 18 м, значения УЭС изменяются от 400 до 700 Ом\*м. Предположительно в указанном горизонте залегают слабольдистые суглинистые отложения.

В верхней части геоэлектрического разреза, с ДЭЗ 9 по 31 до глубины 4,0 – 4,9 м, хорошо прослеживается высокоомная зона со значениями УЭС 3500-4500 Ом\*м, показанная на рисунке 4. По данным бурения скважин 21ф039 и 21л058 повышение УЭС связано с распространением очень сильно льдистых суглинистых отложений, а также с присутствием в разрезе на

указанных глубинах ледогрунтов мощностью до 3-х метров, что показано на рисунке 5.

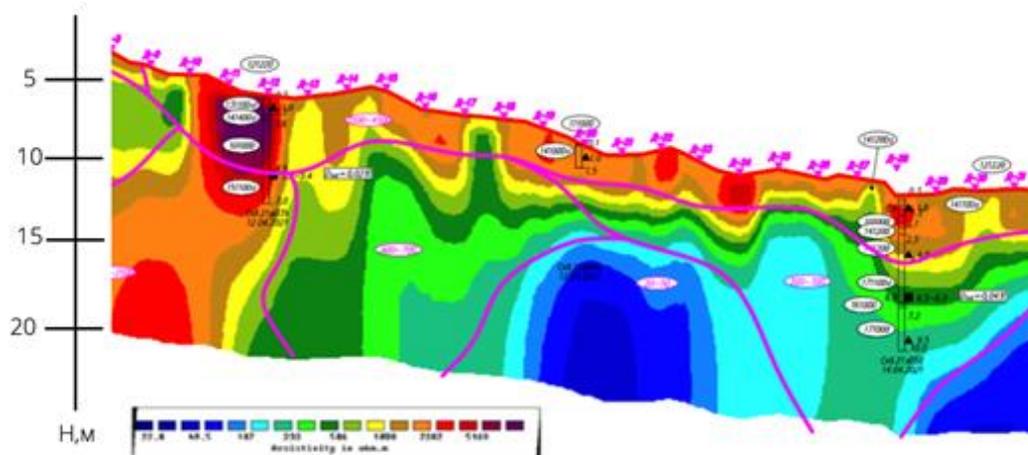


Рисунок 4 – Геоэлектрический разрез на участке КС Бованенково – КС Байдарацкая, пикеты ДЭЗ с 9 по 31

С ДЭЗ 9 по 12, выделяется зона со значениями УЭС 2100-2500 Ом\*м, что предположительно соответствует распространению терригенных отложений высокой льдистости и ледогрунтов.

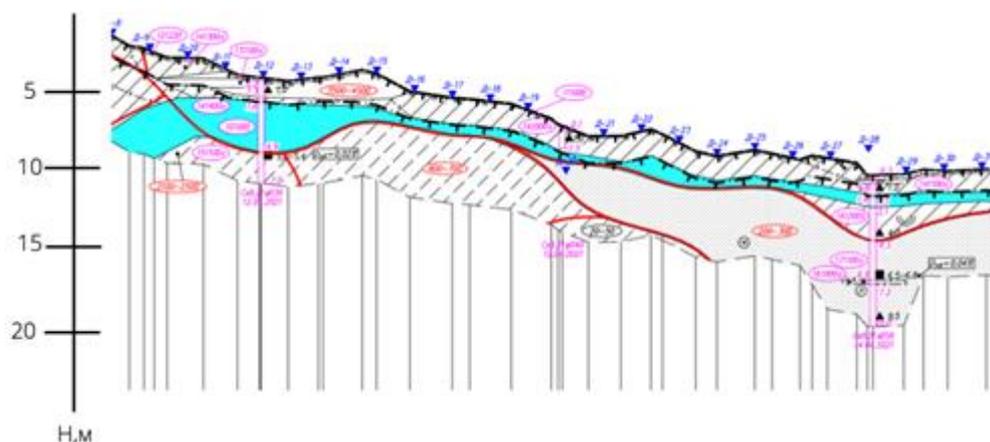


Рисунок 5– Инженерно геологический разрез по участку КС Бованенково-КС Байдарацкая пикеты ДЭЗ с 9 по 31

На геоэлектрическом разрезе по ДЭЗ с 13 по 21 прослеживается горизонт мощностью в среднем 7 м со значениями УЭС 400-700 Ом\*м.

Возможно, такие значения УЭС соответствуют слабодистым супесчаным отложениям.

Далее по геоэлектрическому разрезу с ДЭЗ 17 по 26 на глубине 5 метров выделяется горизонт мощностью в среднем 8,5 м со значениями УЭС 20-50 Ом\*м. Предположительно на указанной глубине распространены засоленные мерзлые терригенные отложения. В пределах с ДЭЗ 19 по 31 на глубинах от 4 до 12 м прослеживается низкоомный горизонт со значениями УЭС 200-300 Ом\*м. Мощность горизонта на пикетах ДЭЗ с 19 по 24 составляет 5,5 м, а на пикетах ДЭЗ с 25 по 29 – 5 м. По данным бурения, здесь залегают слабозасоленные мерзлые терригенные отложения.

Таким образом, согласно результатам интерпретации полевых материалов ДЭЗ и последующего бурения инженерно-геологических скважин на разрезах определены геологические границы с фиксацией поинтервальных значений УЭС по слоям и зонам. На геоэлектрических разрезах выделяются области с повышенными и пониженными значениями УЭС, которые с привязкой на местности передаются инженерам - геологам с целью подтверждения наличия льдов и многолетнемерзлых пород или засоленных областей.

Выполненные исследования позволили на этапе проектирования изучить предполагаемую трассу газопровода, наметить варианты перетрассировки данного линейного сооружения в случае вскрытия крупных областей льдов и крупных ореолов оттаивания грунтов, исследовать зоны распространения засоленных грунтов, которые оказывают нежелательное воздействие на металлические конструкции. В последующем проводится сверка электроразведочных данных с данными лабораторных исследований водных вытяжек, в результате формируется итоговый инженерно – геологический разрез, который в дальнейшем передается проектировщикам для принятия строительных решений.

**Заключение.** К настоящему времени накоплен значительный опыт применения различных методов электроразведки, направленных на решение инженерно-геологических задач. Особое внимание исследователей направлено на картирование зоны распространения многолетнемерзлых пород, как вместилища линейных инженерных сооружений, в том числе трубопроводов. Мощность этих пород составляет от первых десятков до сотен метров, также встречаются участки с талыми грунтами, где ММП в верхней части разреза отсутствуют. Трубопроводы в условиях криолитозоны испытывают значительное влияние экзогенных и эндогенных факторов, что приводит к снижению их устойчивости. Причиной деформаций линейных сооружений являются сложные инженерно-геологические условия криолитозоны, изучение которых успешно осуществляется методами электроразведки, в том числе ДЭЗ, что обусловлено высоким контрастом УЭС талых и мерзлых пород.

Выпускная квалификационная работа написана на основе материалов, собранных автором в период прохождения производственной в пределах участка КС Бованенково - КС Байдарацкая, который относится к магистральному газопроводу Бованенково - Ухта III нитка. На участке исследований электроразведка методом ДЭЗ проводится с целью оценки инженерно-геологических условий при проектировании данного инженерного сооружения.

Обработка и интерпретация полевых данных осуществлялась автором в программе RES2DINV, которая поддерживает визуализацию данных, а также экспорт результатов для использования с программным обеспечением для их интерпретации. Основу программы составляет расчет и построение как псевдоразреза кажущегося сопротивления, так и геоэлектрического разреза изучаемого объекта.

В ходе проведения камеральных работ автором в верхней части геоэлектрического разреза выявлено, что в пределах ДЭЗ с 1 по 31 до

глубины 4,0 – 4,9 м хорошо прослеживается высокоомная зона со значениями УЭС 3500-4500 Ом\*м, которая в геологическом разрезе соответствует участку распространения ММП. Наличие высокоомных льдистых тел, выявленных на геоэлектрическом разрезе по повышенному сопротивлению пород, подтверждено последующим бурением.

В процессе написания выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

1. Изучена краткая геологическая характеристика района исследований.
2. Изучены теоретические основы, методика работ методом ДЭЗ и способы интерпретации полевых материалов.
3. Проинтерпретированы полевые материалы и приведены результаты исследований.

Полученные результаты, по мнению автора ВКР, позволяют считать достигнутой заявленную цель проведенных исследований.