

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Расчленение верхней части разреза многолетнемерзлых пород по данным  
ВЭЗ (на примере газопровода Харасавэй – Бованенковское)»**

АВТОРЕФЕРАТ К БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЕ

Студента 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
профиль «Нефтегазовая геофизика»  
геологического ф-та  
Гурьянова Дениса Андреевича

**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 2022

**Введение. Актуальность исследований.** Эффективное развитие промышленного потенциала в зоне вечной мерзлоты невозможно без ее всестороннего изучения, что особенно важно при строительстве и эксплуатации линейных сооружений (трубопроводов). Важное место в современной концепции геокриологического сопровождения строительства и эксплуатации технических систем верхней части разреза многолетнемерзлых пород (ММП) занимают электроразведочные исследования. Опыт эксплуатации трубопроводных систем в криолитозоне показал актуальность применения электроразведки на всех стадиях эксплуатации линейных сооружений, начиная с изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации и заканчивая консервацией объектов.

Широкие возможности электроразведочных методов, в частности метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), для исследования ММП известны с начала прошлого века из работ Джонстона Л.А., Добровольского В.И., Холмина Б.Н., Достовапова В.Р., Бурсиана А.И., Заборовского А.М., Пылаева И.Н., Модина А.Г., Яковлева В.А., Шевнина К.Л., Одинцова и др. исследователей.

Основу выпускной квалификационной работы (ВКР) составляют материалы производственной практики, проходившей в компании ООО «Газпром Проектирование», которое занимается проектированием и проведением инженерных изысканий на различных объектах. Материалы по изучению газопровода Харасавэй – Бованенковское методом ВЭЗ получены автором ВКР самостоятельно в камеральной группе этого предприятия.

**Целью** ВКР является расчленение верхней части разреза ММП газопровода Харасавэй – Бованенковское по данным ВЭЗ.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **задачи:**

1. Изучить краткую геологическую характеристику района работ.
2. Изучить теоретические основы, методику полевых работ, основные вопросы обработки и интерпретации данных ВЭЗ.

### 3. Привести результаты выполненных исследований.

Полученные результаты включали: расчленение разреза дисперсных пород на слои различного литолого-петрографического состава; определение в плане и в разрезе положения границ мерзлых и не мерзлых пород; обнаружение и оконтуривание в плане и разрезе отдельных ледяных тел.

Автор благодарен сотрудникам ООО «Газпром Проектирование»: А.С. Шабалину, А.Г. Власенко, С.В. Бочкарёву за помощь в сборе материала и ценные консультации при изучении основ обработки и интерпретации полевой электроразведочной информации с использованием специальных программ.

Количество разделов ВКР - 3:

1. Краткая геологическая характеристика района работ.
2. Метод вертикального электрического зондирования: краткие теоретические основы, методика полевых работ, основные вопросы обработки и интерпретации.
3. Полученные результаты.

**Основное содержание работы. Раздел 1. Краткая геологическая характеристика района работ.** Участок магистрального газопровода «Харасавэйское газоконденсатное месторождение» – компрессорная станция «Бованенковская» протяженностью 103 км проходит в зоне тундры западной части полуострова Ямал. В административном отношении трасса газопровода проходит по территории Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

В геологическом строении района изысканий выделяются отложения четвертичной, палеогеновой, меловой, юрской и триасовой систем. Четвертичные породы представлены суглинистыми осадками различного генезиса. В них отмечается чрезвычайно высокая (до 50-70%) льдистость верхнего 50-80-метрового слоя ММП, широкое распространение вблизи поверхности различных крупных форм подземного льда до 30-40 м толщиной и до 300-600 м в поперечнике; развитие засоленных пород и соленых подмерзлотных вод.

По географическим критериям изучаемая территория делится на Северо-Ямальскую и Мордыяха-Хойскую области, которые характеризуются специфическими гидрогеологическими условиями. По соотношению с ММП и положению в разрезе выделяются надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные типы подземных вод.

По геокриологическим условиям участок исследований расположен в зоне сплошного устойчивого распространения многолетней мерзлоты. Мощность ММП здесь колеблется в пределах от 500 до 700 м, а температуры многолетнемерзлых пород от  $-3^{\circ}$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ . Важно, что в любых насыпных основаниях при строительстве будет происходить новообразование мерзлоты, затрудняющее эксплуатацию сооружений.

**Раздел 2. Метод вертикального электрического зондирования: краткие теоретические основы, методика полевых работ, основные вопросы обработки и интерпретации.** Постоянные электрические поля, используемые в электроразведке, обычно создают с помощью заземлений, подключенных к разноименным полюсам какого-либо источника постоянного тока. Заземления устраивают из металлических электродов, размер и число которых определяются особенностями электроразведочных методов. Известно, что в стационарном режиме протекания тока в цепи, состоящей из источника тока, электродов и земли, на контакте между электродами и землей существуют поверхностно распределенные электрические заряды, которые и являются по существу источником поля в земле. Для выявления зависимости наблюдаемого поля от характера геоэлектрического разреза удобно сравнивать наблюдаемые поля с полями, теоретически рассчитанными для известных геоэлектрических разрезов. Такое поле называют нормальным полем какого-либо источника в однородном полупространстве или полном пространстве.

Сущность метода ВЭЗ заключается в изучении геоэлектрического разреза по параметру удельного сопротивления посредством наблюдения искусственно создаваемого электрического поля, которое создают точечными заземлениями А и В. Через эти заземления, называемые питающими, в землю вводят

электрический ток силой  $I$  от какого-либо источника постоянного тока. Между двумя точками земли с помощью измерительных заземлений  $M$  и  $N$  и соответствующего измерительного прибора измеряют возникающую разность потенциалов  $\Delta U$ . Взаимное расположение питающих и измерительных заземлений, образующих четырехточечную установку — основную установку метода, определяется характером решаемых геологических задач.

На территории исследований работы методом ВЭЗ проводились несимметричной четырёхэлектродной установкой (экспресс-установка разработки МГУ им. М.В. Ломоносова) с использованием серийно выпускаемого комплекта оборудования: «измеритель МЭРИ 24» и «генератор АСТРА 100» производитель - ООО «Северо-Запад» г. Москва.

В полевых условиях прокладывается линия профиля, которая прописывается и закрепляется точной привязкой по GPS. На профиле размещается установка ВЭЗ, имеющая два питающих электрода АВ, два измерительных электрода MN, генератор и приёмник. На объекте исследований длина профиля составляет 100 м. На расстоянии от электрода М через 50 м устанавливаются питающие электроды АВ с разносом 10 м по прямой линии. При этом, электрод N должен находиться на расстоянии от точки О (середина между электродами АВ) минимум на 50 м, где будет считаться «вынесенным в бесконечность». При увеличении разноса MN и неизменной длине АВ наблюдается уменьшение величины принимаемого сигнала с риском получения не корректных данных. Для устранения этого недостатка систематически производится увеличение разноса АВ, чтобы увеличить соотношение "сигнал/шум". Такая ситуация в теории электроразведки называется «воротами». После прохождения «ворот», работа продолжается с разносом АВ, равным 2м, пока электрод N не окажется в точке О и работа не переместится на следующий профиль.

На последнем этапе работ производится анализ всех полученных данных за день/неделю. Во время замеров в поле при помощи измерительного прибора

«МЭРИ 24» происходит запись полученных данных во внутреннюю память устройства, откуда они извлекаются с целью построения полевых кривых ВЭЗ.

Окончательная обработка и интерпретация полевых материалов ВЭЗ проводится в камеральной группе. В состав камеральных работ по методу ВЭЗ входит: составление схем расположения пикетов и профилей; формирование профилей с учетом рельефа; обработка полевых материалов; увязка геоэлектрических характеристик с данными бурения опорных инженерно-геологических скважин; корреляция геоэлектрических комплексов по профилям; составление геоэлектрических разрезов. Пример расположения пикетов и профилей ВЭЗ по объектам исследований можно наблюдать на рисунке 1.

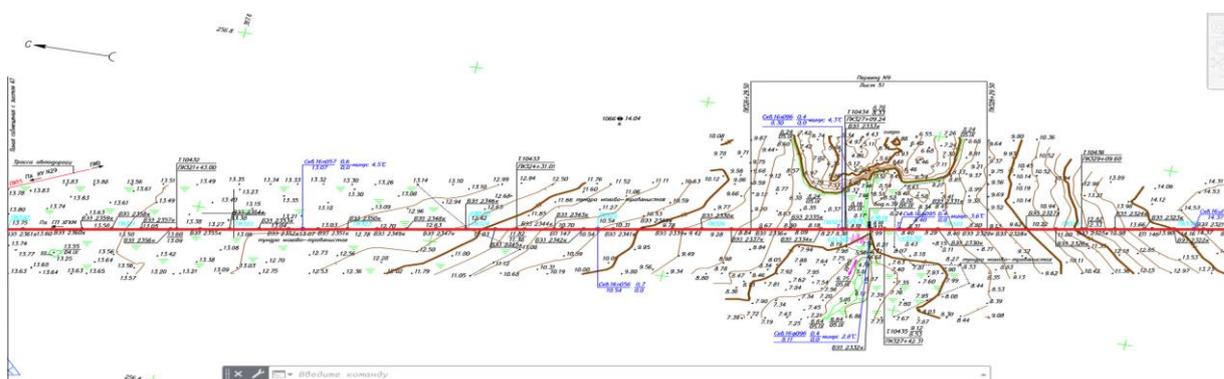


Рисунок 1 - Пример расположения профиля ВЭЗ на объекте исследований

Итогом обработки и интерпретации данных является сводный геолого-геофизический разрез, на котором геоэлектрические границы увязываются с данными бурения.

**Раздел 3. Полученные результаты.** Для примера рассмотрим разрез кажущегося сопротивления и геоэлектрический разрез по профилю ВЭЗ 2305к - ВЭЗ 2297к, построенный в программе IPI2Win, которые показаны на рисунке 2. Наибольший интерес составляет геоэлектрический разрез, который рассмотрим подробнее. На этом разрезе первый от поверхности геоэлектрический слой на участке ВЭЗ 2305 - ВЭЗ 2297 со значениями удельного электрического сопротивления ( $УЭС$ ) 50-130 Ом\*м по данным последующего бурения

соответствует распространению преимущественно суглинистых отложений, на момент исследований, находящихся в талом состоянии.

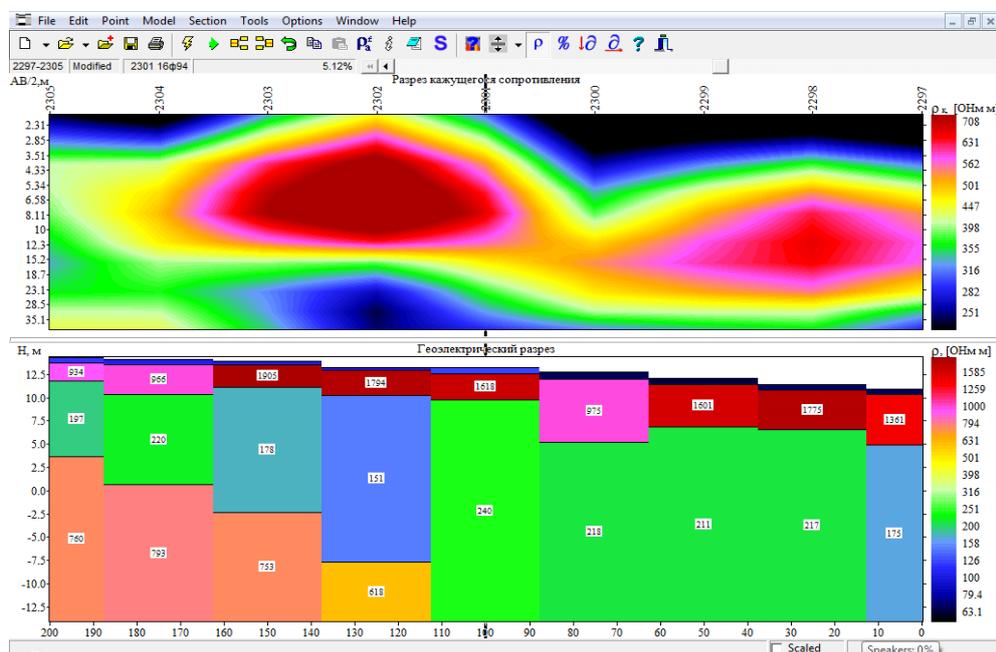


Рисунок 2 – Разрез кажущегося сопротивления (вверху) и геозлектрический разрез (внизу) по профилю ВЭЗ 2305к - 2297к

Мощность данного слоя составляет порядка 0,5 метра, что отображено на рисунке 3.

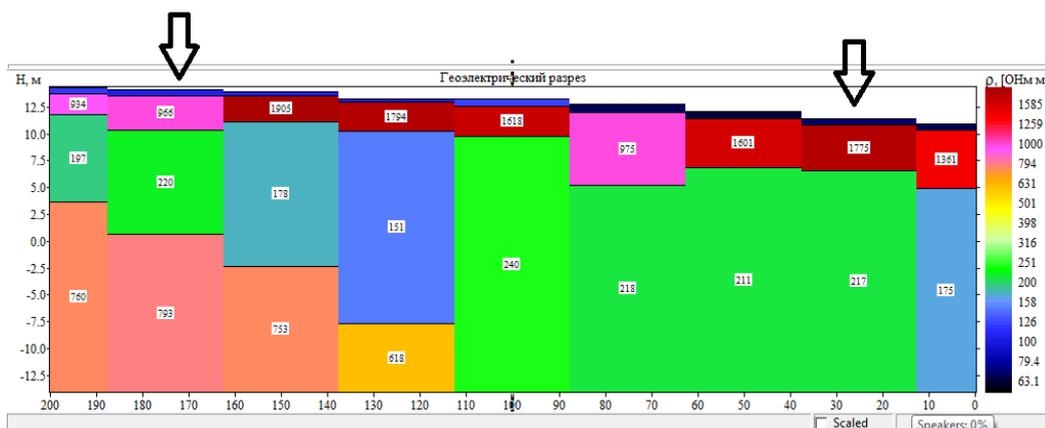


Рисунок 3 - Геозлектрический разрез по профилю ВЭЗ 2305к - 2297к ( стрелкой обозначен первый от поверхности слой)

Ниже по разрезу, на протяжении всего изучаемого участка, располагается высокоомный слой мощностью 2,5-6.5 м со значениями УЭС от 1000 до 2000 Ом\*м. По данным бурения выделенный горизонт соответствует распространению слабозасолённых, сильнольдистых терригенных отложений

суглинистого состава. Нехарактерное понижение значений УЭС для сильнольдистых пород, наблюдаемое в пределах описываемого горизонта, обусловлено повышенной степенью засоленности до 0,37 % , отображено на рисунке 4.

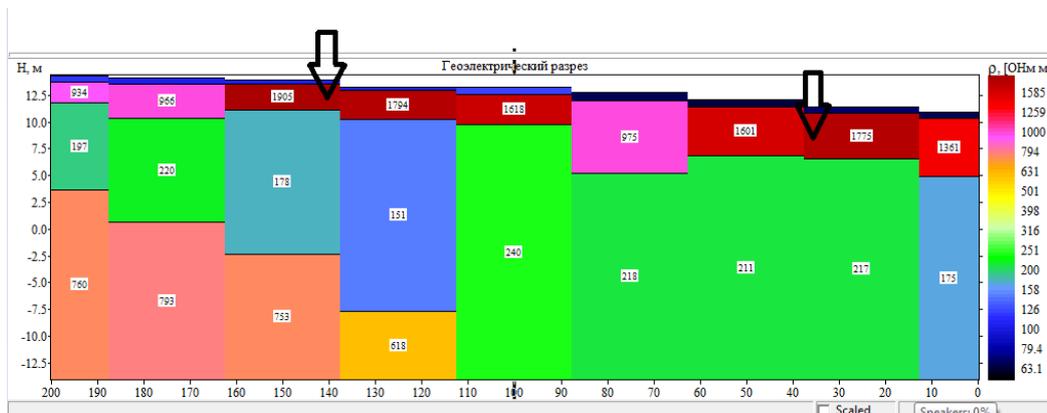


Рисунок 4 - Геоэлектрический разрез по профилю ВЭЗ 2305к - 2297к ( стрелкой обозначен второй от поверхности слой)

С глубины в среднем 4-6 м наблюдается понижение значений УЭС до 200-250 Ом\*м. Мощность данного горизонта варьирует в диапазоне от 2.5 м до 15 м и более (подшва слоя не вскрыта бурением). По данным бурения литология выделенного горизонта представлена слабольдистой глиной. Так же отмечается уменьшение концентрации солей в грунте в 2-3 раза (с 0,37% до 0,2-0,12%), что отображено на рисунке 5.

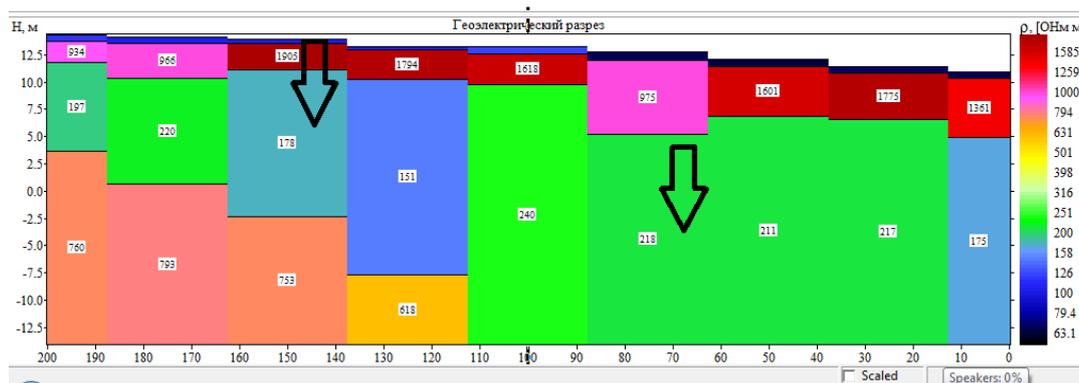


Рисунок 5 - Геоэлектрический разрез по профилю ВЭЗ 2305к - 2297к ( стрелкой обозначен третий от поверхности слой)

В основании геоэлектрического разреза, на участке профиля ВЭЗ 2305 по ВЭЗ 2302, распространён геоэлектрический горизонт с УЭС от 600 до 800 Ом\*м. По мере движения вдоль профиля от ВЭЗ 2302 к ВЭЗ 2305, кровля

выделенного геоэлектрического горизонта спадает с глубины 10 м до 23 м и более. Данный геоэлектрический горизонт предположительно соответствует распространению льдистых терригенных отложений, что отображено на рисунке 6.

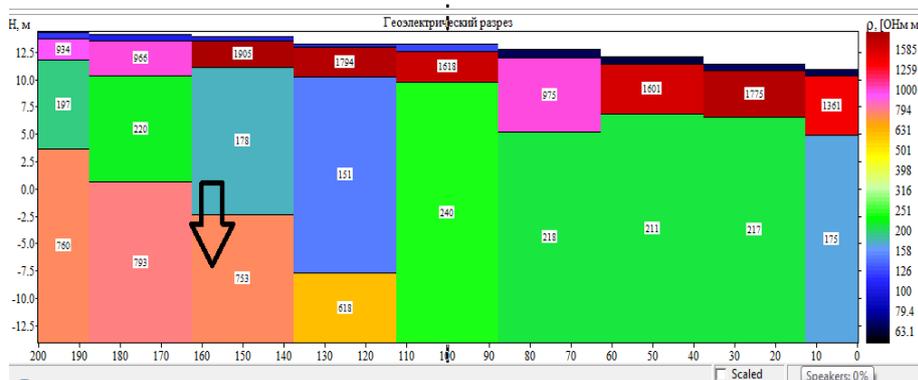


Рисунок 6 - Геоэлектрический разрез по профилю ВЭЗ 2305к - 2297к ( стрелкой обозначен четвертый от поверхности слой)

Рассмотренный участок трассы трубопровода является характерным примером выделения ММП в разрезе, которые зачастую приводят к опасным последствиям в ходе строительства, ввиду присутствия в разрезе пород с различной льдистостью (от нельдистых, талых грунтов, до ледогрунта) и степенью засоления (от незасоленных до средnezасоленных).

Результаты интерпретации данных ВЭЗ в дальнейшем верифицированы (подтверждены) материалами бурения. Всего в пределах изучаемого профиля пробурена одна скв. 16ф094 глубиной 25м с обязательным изучением шлама и керна по разрезу. Геологический разрез участка трассы трубопровода по данным бурения вблизи скважины 16ф094 показан на рисунке 7. Из рисунка видна хорошая сходимость данных ВЭЗ с данными бурения, что говорит о повышенной разрешающей способности метода ВЭЗ при картировании ММП, поиске ледяных тел и зон засоленности.

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, а так же исследовать зоны

распространения засоленных грунтов, которые оказывают нежелательное воздействие на металлические конструкции.

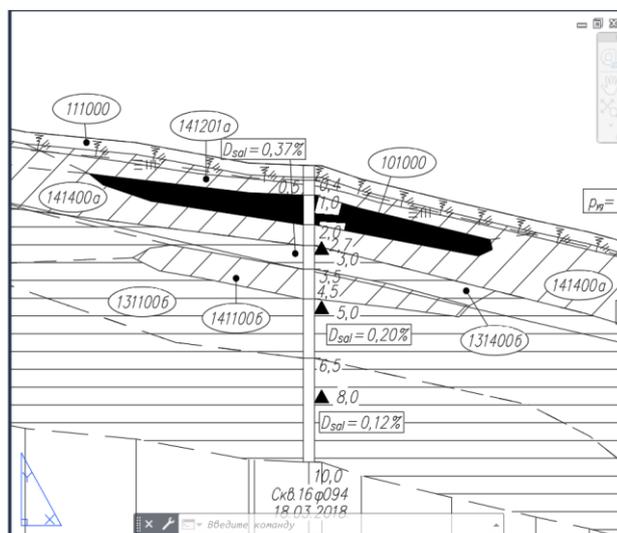


Рисунок 7 - Участок инженерно-геологического разреза по изучаемому профилю.

Условные обозначения: 111000 – грунт растительного слоя(11), льдистый(1), слабо льдистый(0); 141201а – суглинок(14), мёрзлый(1), средне льдистый (2), с примесью органических веществ(1), слабая степень засоленности(а); 101000 – лёд/ледогрунт (10); 141400а - суглинок(14), мёрзлый(1), сильно льдистый/ледогрунт(4), слабая степень засоленности(а); 131400б – глина(13), мёрзлая(1), сильно льдистая/ледогрунт(4), средней степени засоленности(б); 141100б - суглинок(14), мёрзлый(1), слабо льдистый(1), средней степени засоленности(б); 131100б - глина(13), мёрзлая(1), слабо льдистая(1), средней степени засоленности(б); Dsal=0,37% - процент засоленности грунта согласно лабораторному анализу; Скв. 16 ф094. 18.03.2018 – номер скважины, дата бурения.

В последующем проводится передача полученных электроразведочных данных заказчику, на основе которых заказчик принимает решения по устранению или решению найденных проблем.

**Заключение.** В настоящее время ведется активное строительство в северных районах России, охваченных вечной мерзлотой. Ведение любой производственной деятельности в этих условиях сопровождается обязательными геолого-геофизическими изысканиями, в которых важную роль играют электроразведочные методы. Среди них одно из ведущих мест занимает

недорогой, удобный в применении, мобильный и не требующий сложного оборудования метод ВЭЗ, который позволяет определять геологическое строение среды даже в сложных геолого-структурных условиях. Применение метода ВЭЗ способствует повышению качества изысканий при одновременном снижении затрат средств и времени на их производство.

При написании работы автором изучены: краткая геологическая характеристика района работ, теоретические основы, методика полевых работ, основные вопросы обработки и интерпретации данных ВЭЗ, а также приведены результаты выполненных исследований. В ходе изучения верхней части разреза на участке проектирования газопровода Харасавэй – Бованенковское также приобретён опыт интерпретации полученных электроразведочных данных, освоены программы обработки и интерпретации данных ВЭЗ:

- Res2dinv – необходимая для визуализации геоэлектрической обстановки;
- IPI2WIN – предназначенная для одномерной интерпретации данных ВЭЗ;
- AutoCAD – система автоматизированного проектирования, которая необходима для работы с планами площадок; определения простирания профилей, снятия с них отметок рельефа и создания оформительской части геоэлектрических разрезов.

При предварительной интерпретации геоэлектрических разрезов проводилось изучение фондовых материалов предыдущих лет, в частности использовались материалы бурения 2018 года. По итогам выполненных работ были выделены области с повышенными и пониженными значениями УЭС, участки распространения многолетнемерзлых пород, которые в дальнейшем были переданы на подтверждение в геологическую группу предприятия ООО «Газпром Проектирование». В разрезе выделены области с повышенной льдистостью. Они распространяются на участках ВЭЗ 2303-2301, 2298 и имеют мощность 2,5-6.5 м со значениями УЭС от 1000 до 2000 Ом\*м. По данным последующего бурения выделенный горизонт соответствует распространению

слабозасолённых, сильнольдистых терригенных отложений суглинистого состава. Нехарактерное понижение значений УЭС для сильнольдистых пород, наблюдаемое в пределах описываемого горизонта, обусловлено повышенной степенью засоленности, до 0,37% (в пределах участка с 2303-2301 ВЭЗ). Верификация данных ВЭЗ с данными бурения показывает хорошую идентичность разрезов, за исключением тонкой прослойки глины над ледяным телом. Тонкий прослой глины хорошо отображается по данным бурения на инженерно-геологическом разрезе и не выделяется на геоэлектрическом разрезе по причине его объединения в эквивалентный слой с вышележащим слоем растительного грунта низкого УЭС.

Выявленные по результатам ВЭЗ и последующих лабораторных исследований повышенная засоленность грунтов, их высокая льдистость требует принятия дополнительных мер защиты трубопровода из-за возможных просадок грунта и наличия в разрезе коррозионных участков. Для решения проблемы устойчивости конструкции газопровода необходимо укрепление фундамента данного линейного сооружения или же должно приниматься решение об изменении направления прокладки газопровода, чтобы обойти сильно льдистый участок в районе пикетов ВЭЗ 2303-2301, 2298.