

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

Кафедра геофизики

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

**Литологическое расчленение верхней части разреза по данным ВЭЗ на  
кусте газовых скважин № 25 Бованенковского месторождения**

Студента 4-ого курса 403 группы

Направление 05.03.01 «Геология»

Профиль подготовки «Нефтегазовая геофизика»

Геологического факультета

Хатип Эмиля Хрымовича

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 2023

## Введение.

**Актуальность исследований.** Эффективное обустройство месторождений нефти и газа в зоне вечной мерзлоты требует тщательного геофизического сопровождения всех организационно-технических разработок. Опыт строительства инженерных сооружений в криолитозоне показал актуальность применения электроразведки на всех стадиях эксплуатации месторождений углеводородов (УВ), начиная с этапа проектирования, строительства, эксплуатации и заканчивая консервацией объектов на месторождениях. Важное место при этом занимает литологическое расчленение верхней части разреза многолетнемерзлых пород (ММП) по данным вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ).

Вопросами изучения удельного электрического сопротивления (УЭС) ММП, как наиболее информативного параметра, занимались многочисленные отечественные и зарубежные исследователи. Так в конце 30-х годов прошлого века группой сотрудников Центрального научно-исследовательского геолого-разведочного института во главе с профессором Д.Ф. Масленниковым, достаточно подробно изучена связь УЭС образцов вмещающих мерзлых пород (биотитовый гранит, порфирит, диабаз, халькопирит) и руд с температурой, плавно меняющейся от положительных к отрицательным значениям. В ходе опытов установлен быстрый рост УЭС образцов с низкой засоленностью (0,01%) при переходе из талого состояния в мерзлое при температуре от  $-0,6$  до  $-0,8^{\circ}\text{C}$ . Интересно, что рост минерализации образцов приводит к быстрому росту УЭС при более низких температурах в интервале от  $-1,0$  до  $-9,0^{\circ}\text{C}$ .

Среди многочисленных электроразведочных исследований конца 30-х годов прошлого века – 20-х годов XXI века выделим работы: Е.В. Абакумов, И. Алексеев, Л.А. Гагарин, В.Н. Захаренко, Р.И. Коркина, Ю.К. Краковецкий, Д.Ф. Масленников, В.В. Оленченко, О. Д. Смилевец, И.И. Христофоров, В.С. Якупов, М. Аллард, И. Гов, В. Кан, М. Сан, Р. Фортъе, Ч. Ху, В. Шань, З. Янг

и др. Результат проведенных исследований показали, что УЭС значительно возрастает при понижении температуры ниже 0 °С.

Основу представленной выпускной квалификационной работы (ВКР) составляют материалы производственной практики, проходившей в компании ООО «Газпром Проектирование», которое занимается проектированием и проведением инженерных изысканий на различных объектах. Основным объектом ВКР является куст газовых скважин № 25 Бованенковского месторождения УВ. Материалы по изучению ММП методом ВЭЗ на объекте исследований получены соискателем самостоятельно в период работы в камеральной группе этого предприятия.

**Целью** ВКР является литологическое расчленение верхней части разреза ММП куста газовых скважин № 25 Бованенковского месторождения УВ по данным ВЭЗ.

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

1. Изучить краткую геологическую характеристику района работ.
2. Изучить методику исследований методом ВЭЗ на полевом и камеральном этапах.
3. Привести результаты выполненных исследований.

Решение последней задачи включало: 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, Р.В. Андрееву, Р.Р. Юмагулову, Д.В. Боровик, А.И. Мاستрюковой за помощь в сборе материала и ценные консультации при изучении основ обработки и интерпретации полевой электроразведочной информации с использованием специальных программ.

**Основное содержание работы.** В первом разделе «Краткая информация о геологическом строении Бованенковского месторождения» отмечено, что Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) находится на западном побережье центральной части полуострова Ямал в 40 км от побережья Карского моря, в нижнем течении рек Сё-Яха, Морды-Яха и Надуй-Яха. Территория НГКМ характеризуется практически повсеместным распространением ММП, как в плане, так и в разрезе.

В геологическом строении месторождения принимают участие отложения палеозойской, мезозойской и кайнозойской систем. Коренные породы залегают на глубине от 2-3 м до 50-70 м под чехлом четвертичных отложений. В составе четвертичных отложений преобладают переслаивающиеся слои глин, суглинков, песков и глин с прослоями суглинков.

Гидрогеологические условия характеризуется наличием несколько гидрогеологических этажей, выделяются четыре гидрогеологических комплекса (сверху вниз) неоком, сеноманский-альбский-аптский.

В геокриологическом строении НГКМ выделяются ММП, которые характеризуются высокой льдистостью, присутствием залежей подземного и повторно-жильного льда, криопэгов. Выделяются их сплошное распространение; талики мощностью от 10 до 40 - 50 метров формируются лишь под руслами рек и озерами глубиной более 2 метров, а также высокая льдистость верхних горизонтов толщ (40 – 60%) с максимумами в верхнем горизонте (до глубины 3 – 6 метров).

Во **втором разделе** изложена методика исследований методом ВЭЗ на НГКМ. Полевые работы проводятся по сети профилей, с запада на восток. Расстояние между профилями 50м, при шаге наблюдения по профилю 25м. Глубина исследования составляла 25 м. Для примера на рисунке 1 представлена схема расположения точек м ВЭЗ на изучаемом кусту газовых скважин.

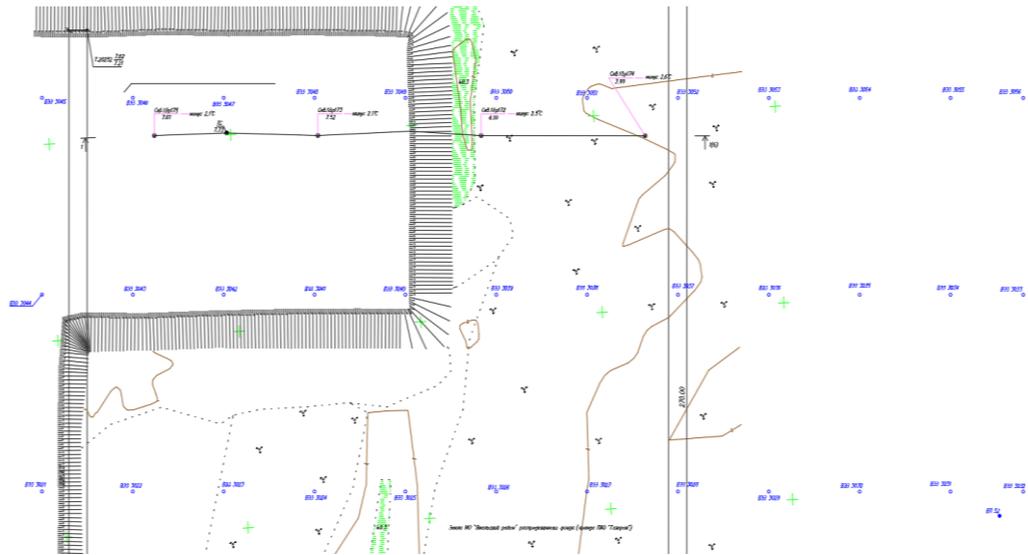


Рисунок 1- Схема расположения точек ВЭЗ, по кусту газовых скважин № 25.

В поле применяется электроразведочная аппаратура производства ООО «Северо-Запад» г. Москва, которая включает: измеритель «МЭРИ 24» и генератор «АСТРА 100», работающем на частоте 4.88 Гц, силой тока 10 – 50 мА. Работы ведутся несимметричной четырехэлектродной установкой (экспресс-установка) с последовательно уменьшающимися разносами  $ON=66, 50, 34, 26, 18, 14, 10, 8, 6, 4, 2$  м. Схема установки показана на рисунке 2.

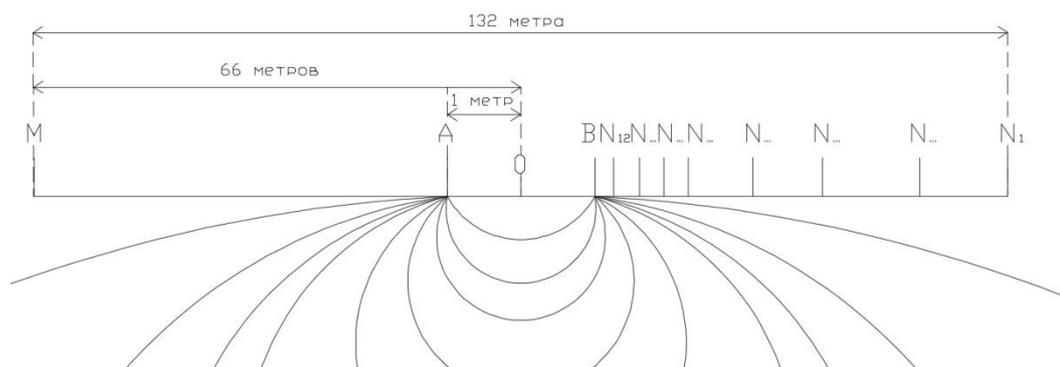


Рисунок 2 - Несимметричная четырехэлектродная установка (экспресс-установка)

Разнос АВ составляет 2м. В процессе проведения исследований электроды АВ заземлялись и использовались как питающие. Электрод «N» изначально выносятся по линии расстановки на расстояние равное

максимальному разному  $MN/2$  (66м) и заземлялся, что обеспечило эффективную глубину исследований 25 м. В отличие от стандартной симметричной установки ВЭЗ экспресс-установка в значительно большей степени свободна от нежелательных индукционных и ёмкостных эффектов.

Для этой установки геометрический коэффициент  $K$  вычисляется по

формуле: 
$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$
 (1), а кажущееся сопротивление - по

формуле: 
$$\rho_k = K \frac{\Delta U}{I}$$
 (2), где  $I$  сила тока, посылаемого в землю,  $\Delta U$  разность потенциалов в измерительной линии.

Камеральная обработка полевых материалов проводится с

использованием программы RES2DINVx64. Это компьютерная программа малазийской компании «GeotomoSoftware», которая автоматически находит двумерную модель (2-D) удельного электрического сопротивления (УЭС) среды для электроразведочных данных. Результаты 2D инверсии загружаются в программу AutoCAD для автоматизированного проектирования и черчения. В этой программе на основу топографических данных накладываются точки ВЭЗ загружаемые из GPS- навигатора «Trimble».

В третьем разделе приводятся результаты электроразведочных исследований на площадке куста газовых скважин №25, которые проводились в августе 2022 года. В ходе полевых работ было отработано три профиля (всего 36 пикетов).

Геоэлектрический разрез по профилю 1-1 показан на рисунке 3. На разрезе верхний геоэлектрический слой со значениями УЭС 50-150 Ом\*м соответствует преимущественно насыпному грунту в интервале точек ВЭЗ с 3032 по 3026. Мощность слоя в среднем составляет 2,5 метра. На момент проведения исследований данный слой находился в талом состоянии, соответственно и сопротивления у него понижены.

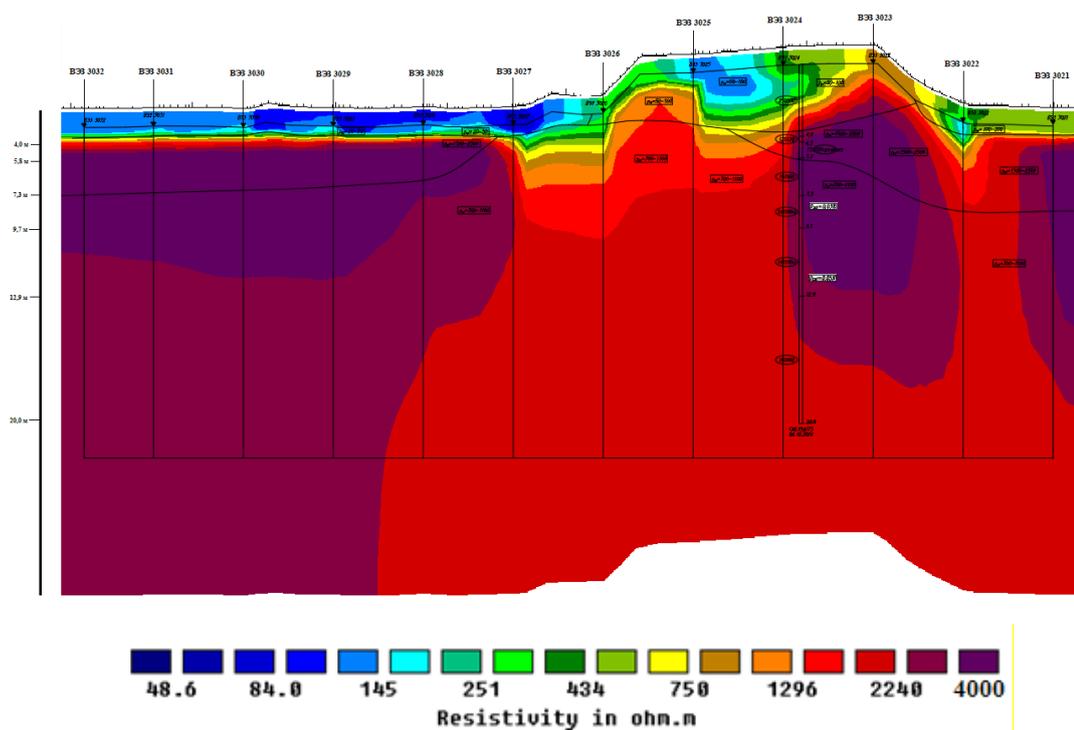


Рисунок 3-Геоэлектрический разрез по профилю 1-1.

В районе ВЭЗ-ов 3026-3025УЭС грунтов верхнего геоэлектрического слоя увеличивается до 200-300 Ом\*м, что связано, по-видимому, с меньшей протайкой грунта.

Ниже по разрезу под низкоомным слоем, в интервале между ВЭЗ-ами 3032 и 3027, располагается высокоомный слой мощностью 5-6.5 м со значениями УЭС от 2000 до 3500 Ом\*м. Степень льдистости грунтов, слагающих этот слой, достигает до максимального значения (очень сильнольдистые грунты). В районе ВЭЗ-а 3026, в интервале глубин от 1 до 6.5 метров, также наблюдается зона со сходными значениями УЭС и степенью льдистости глин, суглинков и супесей.

В центральной части геоэлектрического разреза, на глубинах от 1.5 до 16 метров, протягивается по всему профилю слой с УЭС от 750 до 1500 Ом\*м, который, по-видимому, представлен сильнольдистыми грунтами. В подошвенной части геоэлектрического разреза, в интервале точек ВЭЗ с 3025 по 3024, распространён слой с УЭС от 200 до 400 Ом\*м. Видимая мощность

составляет около 3,8 метров. Понижение УЭС здесь может быть связано с уменьшением степени льдистости грунтов.

На втором профиле также отработано 12 пикетов. Геоэлектрический разрез по профилю 2-2 показан на рисунке 4.

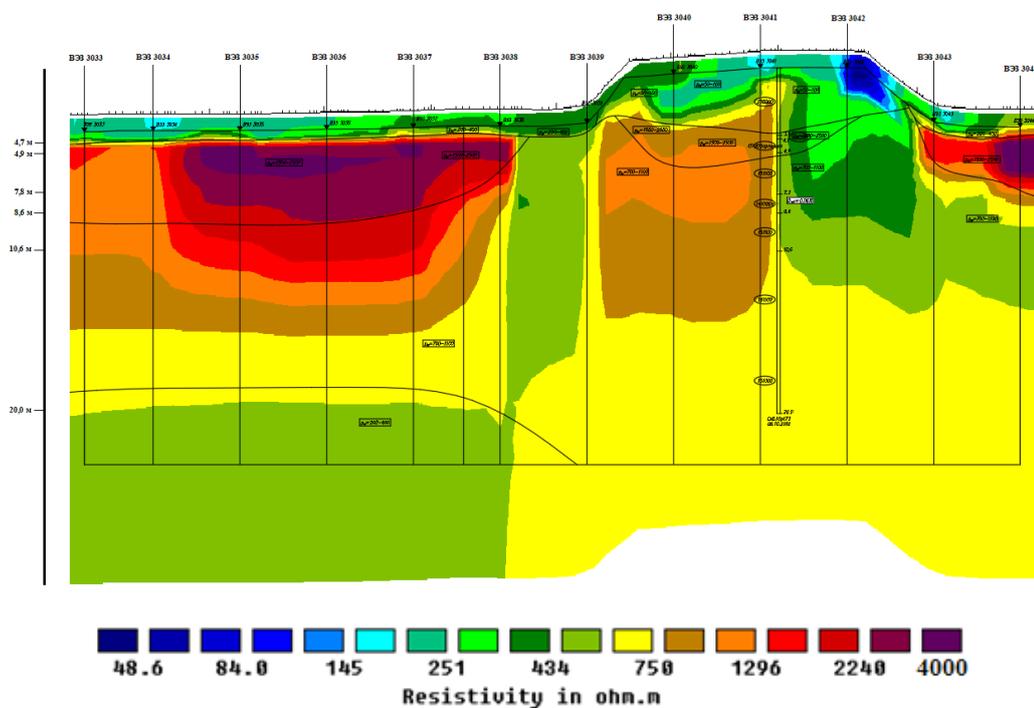


Рисунок 4. Геоэлектрический разрез по линии 2-2.

Верхний геоэлектрический слой с УЭС 150-500 Ом\*м соответствует преимущественно насыпному грунту в интервале точек ВЭЗ с 3033 по 3042. Мощность составляет в среднем 4 метра. На момент проведения исследований данный слой находился в талом состоянии, соответственно и сопротивления у него понижены.

В районе ВЭЗ-ов 3042-3043 сопротивление грунтов верхнего геоэлектрического слоя увеличивается до 40-100 Ом\*м., что связано, по-видимому, с меньшей протайкой грунта.

Ниже по разрезу под низкоомным слоем, в интервале между ВЭЗ-ами 3034 и 3038, располагается высокоомный слой мощностью 5-6.5 м со значениями УЭС от 2000 до 3500 Ом\*м. Степень льдистости грунтов, слагающих этот слой, доходит до максимального значения (очень

сильнольдистые грунты). В центральной части геоэлектрического разреза, на глубинах от 1.5 до 16 метров, протягивается по всему профилю слой с УЭС от 400 до 500 Ом\*м, который, по-видимому, представлен сильнольдистыми грунтами. Понижение УЭС здесь может быть связано с уменьшением степени льдистости грунтов. На третьем профиле было отработано 12 пикетов. Геоэлектрический разрез по профилю 3-3 показан на рисунке 5.

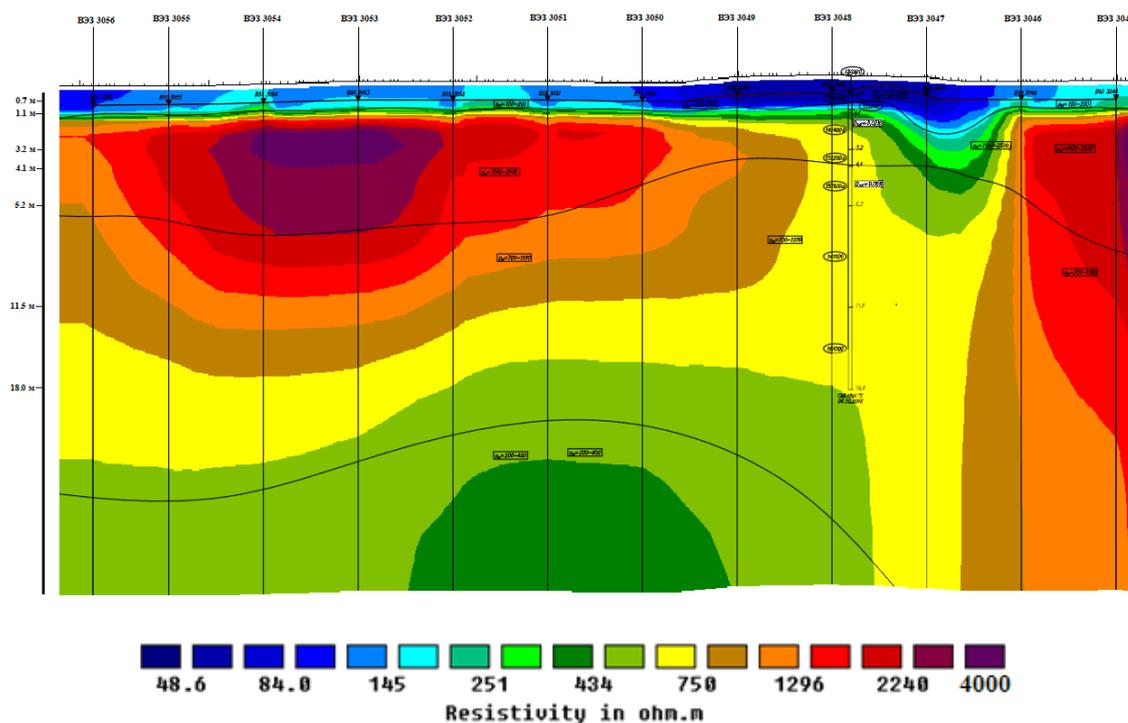


Рисунок 5. Геоэлектрический разрез по линии 3-3.

Верхний геоэлектрический слой со значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) 40-200 Ом\*м соответствует преимущественно насыпному грунту в интервале точек с 3056 по 3045 ВЭЗ.

Мощность составляет в среднем 1,5 метра. На момент проведения электроразведочных исследований данный слой находился в талом состоянии, соответственно и сопротивления у него понижены.

Ниже по разрезу под низкоомным слоем, в интервале между ВЭЗ-ами 3056 и 3050, а также 3046 и 3045 располагается высокоомный слой мощностью 1,5-9 м со значениями УЭС от 1500 до 4000 Ом\*м. Степень

льдистости грунтов, слагающих этот слой, доходит до максимального значения (очень сильнольдистые грунты).

В районе ВЭЗ-а 3047, в интервале глубин от 2 до 6 метров, также наблюдается зона со сходными значениями УЭС и степенью льдистости глин, суглинков и супесей. Применение метода ВЭЗ на кусте № 25 Бованенковского НГКМ позволило определить положения границ мерзлых и талых пород по их различным УЭС. Повышенные значения УЭС от 500 до 4000 Ом\*м характерны для многолетнемерзлых пород, а вот для пород, не затронутых мерзлотой среднее значение УЭС составляет примерно 150-200 Ом\*м. Полученные данные в дальнейшем были переданы на подтверждение в геологическую группу ООО «Газпром проектирование». Результаты исследований дают все основания считать метод ВЭЗ эффективным средством картирования ММП по контрастным границам УЭС на глубинах порядка 25 м.

**Заключение.** В настоящее время ведется активное строительство инженерных сооружений в северных районах России, охваченных вечной мерзлотой. Любая производственная деятельность в этих условиях сопровождается обязательными геолого-геофизическими изысканиями, в которых важную роль играют электроразведочные методы. Активно используется при этом удобный в применении, недорогой и не требующий сложного оборудования метод ВЭЗ, позволяющий определять геологическое строение среды даже в сложных геолого-структурных условиях. Применение метода ВЭЗ способствует повышению качества геолого-геофизических исследований при одновременном снижении затрат на их производство.

Большой вклад в изучение УЭС ММП методами электроразведки внесли многочисленные отечественные и зарубежные исследователи: Е.В. Абакумов, И. Алексеев, Л.А. Гагарин, В.Н. Захаренко, Р.И. Коркина, Ю.К. Краковецкий, Д.Ф. Масленников, В.В. Оленченко, О. Д. Смилевец, И.И.

Христофоров, В.С. Якупов, М. Аллард, И. Гов, В. Кан, М. Сан, Р. Фортъе, Ч. Ху, В. Шань, З. Янг и др.

При написании ВКР соискателем 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 ММП куста газовых скважин № 25 Бованенковского месторождения УВ приобретён опыт обработки и интерпретации данных ВЭЗ с использованием специализированных программ: Res2dinv, IPI2WIN и AutoCAD.

В ходе предварительной интерпретации геоэлектрических разрезов проводилось изучение фондовых материалов предыдущих лет и материалы бурения 2020 г. В результате применения метода ВЭЗ на кусте газовых скважин выделены области с различным УЭС, наибольший интерес, безусловно, представляют участки распространения ММП, соответствующие горным породам повышенной льдистости:

- на геоэлектрическом разрезе 1–1 на участках ВЭЗ 3032-3027 и имеют мощность 5-6.5 м со значениями УЭС от 2000 до 3500 Ом\*м;
- на геоэлектрическом разрезе 2–2 на участках ВЭЗ 3034–3038 и имеют мощность 5-6.5 м со значениями УЭС от 2000 до 3500 Ом\*м;
- на геоэлектрическом разрезе 3–3 на участках ВЭЗ 3056–3050, 3046–3045 и имеют мощность 1,5-9 м со значениями УЭС от 1500 до 4000 Ом\*м.

Дальнейшие перспективы выполненных исследований будут зависеть от результатов последующего бурения. Главным вопросом верификации полевых материалов с материалами бурения будет соответствие выделенного высокоомного горизонта распространению по разрезу слабозасолённых, сильнольдистых терригенных отложений суглинистого состава. В случае подтверждения высокой льдистости приповерхностных грунтов потребуются принятие дополнительных мер защиты проектируемых инженерных

сооружений из-за возможных просадок мерзлого грунта в ходе сезонной оттайки.

Соискатель искренне надеется, что представленные материалы позволили ему раскрыть заявленную тему и достигнуть основную цель работы, связанную с литологическим расчленением верхней части разреза по данным ВЭЗ на кусте газовых скважин № 25 Бованенковского месторождения.