

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Специальность 21.05.03 Технология геологической разведки
Специализация Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных
ископаемых
Кафедра геофизики

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Геофизические исследования с целью выполнения инженерных изысканий под проектирование кустовых оснований первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения углеводородов (Красноярский край).

УДК 622.24.085.24-047.74:550.83(571.51)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
222Б	Соловьев Спиридон Спиридонович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Е.В.	К.Г.-М.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Геология»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кныш С.К.	К.Г.-М.Н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кочеткова О.П.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Задорожная Т.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Геофизики	Лукин А.А.	К.Г.-М.Н.		

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и инженерные знания в профессиональной деятельности
P2	Анализировать основные тенденции правовых, социальных и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности, демонстрировать компетентность в вопросах здоровья и безопасности жизнедеятельности и понимание экологических последствий профессиональной деятельности
P3	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P4	Идентифицировать, формулировать, решать и оформлять профессиональные инженерные задачи с использованием современных образовательных и информационных технологий
P5	Разрабатывать технологические процессы на всех стадиях геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, внедрять и эксплуатировать высокотехнологическое оборудование
P6	Ответственно использовать инновационные методы, средства, технологии в практической деятельности, следуя принципам эффективности и безопасности технологических процессов в глобальном, экономическом, экологическом и социальном контексте
P7	Применять знания, современные методы и программные средства проектирования для составления проектной и рабочей документации на проведение геологической разведки и осуществления этих проектов
P8	Определять, систематизировать и получать необходимые данные с использованием современных методов, средств, технологий в инженерной практике
P9	Планировать, проводить, анализировать, обрабатывать экспериментальные исследования с интерпретацией полученных результатов на основе современных методов моделирования и компьютерных технологий
P10	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой для решения профессиональных инновационных задач в соответствии с требованиями корпоративной культуры предприятия и толерантности
P11	Проводить маркетинговые исследования и разрабатывать предложения по повышению эффективности использования производственных и природных ресурсов с учетом современных принципов производственного менеджмента, осуществлять контроль технологических процессов геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Специальность 21.05.03 Технология геологической разведки
Специализация «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных
ископаемых»
Кафедра геофизики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
222Б	Соловьеву Спиридону Спиридоновичу

Тема работы:

Геофизические исследования с целью выполнения инженерных изысканий под проектирование кустовых оснований первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения углеводородов (Красноярский край).	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.02.2017, № 1308/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной геофизической практики, пройденной на предприятии ОАО «ТомскНИПИнефть», а также опубликованная литература по теме проекта.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>Геолого-экономический очерк района работ и его краткая геолого-геофизическая изученность. Геологическое строение района. Анализ основных результатов геофизических работ прошлых лет.</p> <p>Выбор участка работ. Выбор методов и обоснование геофизического комплекса. Методика и техника полевых и сопутствующих работ, а также их метрологическое обеспечение. Обработка и интерпретация геофизических данных.</p>
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Геологическая часть	Доцент Кныш С.К.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старший преподаватель Кочеткова О.П.
Социальная ответственность	Ассистент Задорожная Т.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Е.В.	К.Г.-М.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
222Б	Соловьев Спиридон Спиридонович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
 Специальность 21.05.03 Технология геологической разведки
 Специализация Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных
 ископаемых
 Уровень образования _____
 Кафедра геофизики
 Период выполнения _____ весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

дипломный проект

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
...
...

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Е.В.	К.Г.-М.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Геофизики	Лукин А.А.	К.Г.-М.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ с., _____ рис., _____ табл., _____ источников, _____ прил.

Ключевые слова: Геофизические методы поисков и разведки месторождений (ГМПР); Юрубчено-Тохомское месторождение; инженерно-геофизические изыскания; электроразведка; интерпретация данных.

Объектом исследования являются криогенные физико-геологические процессы и физико-механические свойства грунтов на Юрубчено-Тохомском месторождении.

Цель работы – получение дополнительного материала для расчленения грунтов по составу и льдистости, определение УЭС грунтов и их коррозионной агрессивности по отношению к стали, изучение и наличие блуждающих токов.

В процессе исследования проводились сбор и анализ геолого-геофизических материалов, выбор методов для инженерно-геофизических изысканий, составление проектно-сметной документации.

В результате исследования был выбран участок для проведения полевых работ, составлен проект инженерно-геофизических исследований комплексом методов, а также способы обработки и интерпретации геофизических данных.

В специальной части дипломного проекта рассмотрен метод электротомографии при изучении мерзлотных процессов, его методика полевых работ и методика обработки и интерпретации результатов.

ESSAY

Graduation qualification work _____ pages, _____ pictures, _____ tables, _____ sources, _____ addendum.

Keywords: Geophysical methods of searching and exploration of mineral deposits, Urubchen-Tokhomo mineral deposit, engineering-geophysical research, electrical exploration, interpretation.

The object of research is cryogenic physico-geological processes and physico-mechanical properties of grounds on Urubchen-Tokhomo mineral deposit.

The purpose of work is to receive extra material to partite grounds by composition and ice content, determination of ground's electrical resistivity and corrosiveness to steel, research and presence of stray currents.

During the research process, there were collected and analyzed geologyco-geophysical material, also was chosed the methods for engineering-geophysical researches and composing design estimate documentation.

The findings of study were used to choose the area of fieldworks, compose engineering-geophysical researches project and the ways to analyze and interpretate the geophysical matters.

In special part of my graduation work there were considered electrical resistivity tomography method in the survey of permafrost processes, methodic of fieldworks and methodic of processing and interpretation.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ВЭЗ – вертикальное электрическое зондирование
- КВЭЗ – круговое вертикальное электрическое зондирование
- ЭП – электропрофилирование
- МБТ – метод блуждающих токов
- РЛП – георадиолокационное профилирование
- ВП – вызванная поляризация
- ЕП – естественное (электрическое) поле
- УЭС – удельное электрическое сопротивление
- КП – контрольный пункт
- КЭС – кажущееся электрическое сопротивление
- ФГМ – физико-геологическая модель

Оглавление

ЗАДАНИЕ	3
на выполнение выпускной квалификационной работы.....	3
РЕФЕРАТ	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	8
Оглавление	9
Список иллюстраций.....	10
1. Анализ основных результатов ранее проведенных геофизических исследований	13
2. Основные вопросы проектирования.....	22
2.1 Обоснование объекта исследований	22
2.2 Физико-геологическая модель объекта исследования	24
2.3 Применяемые методы исследования и их задачи.....	27
3. Методические вопросы	29
3.1 Методика и техника полевых работ	29
3.1.1 Аппаратура.....	30
3.1.2 Геофизические работы.....	39
3.1.3 Топогеодезическое обеспечение.....	43
3.1.4 Метрологическое обеспечение работ.....	44
3.2 Интерпретация геофизических данных	49
3.2.1 Методика истолкования аномалий ВЭЗ и КВЭЗ	50
Качественная интерпретация зондирований	51
Интерпретация данных зондирований с помощью ЭВМ.....	52
3.2.2 Методика истолкования аномалии ЭП	53
3.2.3 Обработка результатов наблюдений БТ	54
3.2.4 Обработка результатов РЛП	55
4. Специальное исследование.....	57
4.1 Электротомография при изучении мерзлотных процессов.....	57
4.2 Методика и техника полевых работ	60
4.3 Методика обработки и интерпретации результатов.....	63
4.3.1 Обработка данных электротомографии	64
4.3.2 Обработка и анализ материала волновых методик.....	67
Заключение	75
Список литературы	76

Список иллюстраций

Рисунок 1 – Профиль 17 участка км 2510-2566.....	15
Рисунок 2 – Профиль 27 участка км 2510-256.....	16
Рисунок 3 – Профиль 53 участка км 2510-2566.....	17
Рисунок 4 - Кустовое основания № 16 расширенного первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения.	23
Рисунок 5 – Физико-геологическая модель	26
Рисунок 6 - Многофункциональный Электроразведочный Измеритель «МЭРИ-24».....	31
Рисунок 7 - Электроразведочный генератор «АСТРА-100»	33
Рисунок 8 - Цифровой мультиметр «Extech.....	36
Рисунок 9 – Георадар «Око- 2» с антенным блоком АБ- 150	38
Рисунок 10 – Акт поверки электроразведочной аппаратуры стр1с.....	46
Рисунок 11 – Акт поверки электроразведочной аппаратуры стр2	47
Рисунок 12 – Сертификат соответствия	48
Рисунок 13 – Типы трехслойных кривых ВЭЗ	51
Рисунок 14 – Контроль переходных сопротивлений электродов. ПР04	61
Рисунок 15 – Контроль переходных сопротивлений электродов. ПР03	61
Рисунок 16 – Графики наблюденных кажущихся сопротивлений. ПР03	64
Рисунок 17 – Режим изображения полевых измерений по параметру ВП. ПР03	65
Рисунок 18 – Режим изображений КЭС с вариационным графиком. ПР03	65
Рисунок 19 – Томографическое изображение дамбы по ПР04. Параметр УЭС	66
Рисунок 20 – Инверсии зондирований установкой диполь-диполь ПР04. Параметр УЭС ..	66
Рисунок 21 – Симметричный разрез АМNB. ПР03.....	67
Рисунок 22 – Волновой георадарный разрез. ПР01	68
Рисунок 23 – Волновой георадарный разрез. ПР05	69
Рисунок 24 – Статистический анализ плотности распределения дифракторов от частоты. ПР01	70
Рисунок 25 – Рабочая панель программы Георадар. Атрибут - центральная частота сигнала. ПР01	70
Рисунок 26 – Распределение диэлектрической проницаемости (epsilon) в разрезе. ПР01 ..	71
Рисунок 27 – Глубинный разрез объемной влажности (в %). ПР01	72
Рисунок 28 – Глубинный разрез атрибута эффективных электросопротивлений. ПР01	72

Рисунок 29 – Плановое положение яркого пятна по epsilon (линзы воды) на правом борту
в месте законсервированного траншейного сброса на глубине 3 м (район скважины С-14)
.....73

Введение

Одной из причин разрушения инженерных сооружений на северных территориях страны, построенных в криолитозоне, является некачественное выполнение инженерно-геологических изысканий (разреженная сеть бурения, недостаточный объем детализации, применение устаревшего оборудования, недостаточно подготовленный инженерно-технический состав изыскательских подразделений), повлекшие принятие недостаточно обоснованных проектных решений.

В данном проекте рассматривается проведение электроразведочных работ в составе инженерно-геологических изысканий по обустройству Юрубчено - Тохомского месторождения, которые позволят более полно изучить криогенные физико-геологические процессы и явления, физико-механические свойства грунтов и, в конечном итоге, принять более обоснованные проектные решения.

Целью данного проекта является получение дополнительного материала для расчленения грунтов по составу и льдистости, определения УЭС грунтов и их коррозионной агрессивности по отношению к стали, изучения наличия блуждающих токов.

В работе приводится методика и техника проведения проектируемых работ, участок проведения работ и расчеты по выбору установки и аппаратуры. Рассматривается интерпретация и камеральная обработка.

1. Анализ основных результатов ранее проведенных геофизических исследований

Опыта проведения инженерно-геофизических работ на Юрубчено_тохомском месторождении нет, поэтому анализ результатов приводится по аналогичным исследованиям – на примере комплексных инженерно-геофизических работ по объекту «Магистральный газопровод АЛТАЙ», проведенных в 2011 году ООО «КБ Электрометрия».

В 2011 году по трассе проводились комплексные геофизические работы. Эти работы проводились с целью выделения вечной мерзлоты и определения границ и развития в плане на глубину, определения залегания скальных грунтов, определения мощности курумной толщи, выявления зон карстообразования.

Геофизические работы проводились такими методами, как электропрофилирование, георадирование, электротомография, ЭМС.

По данным полученным комплексной интерпретации установлено, что практически на всем протяжении участка трассы газопровода км 2510-2566 в интервале глубин 0-10 м присутствуют многолетнемерзлые породы. Глубина залегания кровли ММП варьирует в пределах 1.0-5.0 метров, а мощность изменяется от 5 до 20-30 м. Максимальная мощность ММП характерна для межгорных впадин и тальвегов долин.

При прохождении трассы по межгорной впадине и долине р. Усай встречаются участки с прерывистым распространением ММП. Такие участки выделяются на профиле 8, 11. Профиль 11 в интервале 0-700 м пересекает тектонически ослабленную зону, по которой вероятно происходит восходящая фильтрация воды, приводящая к деградации ММП.

На профиле 17 (*рисунок б*), пересекающем долину р. Усай, отмечается максимальная мощность ММП более 25 м, а в интервале 320-410 м выделяется сквозной талик, который вероятно связан с тектоническим нарушением.

На склоне горы на профилях 18, 19, 20 также отмечается прерывистый характер распространения ММП, что может быть вызвано увеличенным тепловым потоком по бортовому разлому.

На профилях 24-39 (*рисунок 7*), где устройство заземлений для гальванической электроразведки затруднено, предполагаемое положение кровли ММП проведено по данным ЧЗ. К сожалению, проследить развитие и характер распространения ММП на глубину на этом участке трассы не представляется возможным.

Профили 40-50 проходят по левому борту долины р. Калгуты на склоне северо-западной экспозиции. На поверхности склона развиты курумы, отмечаются многочисленные выходы грунтовых вод и солифлюкционные ступени. Интенсивный гидрологический режим трещиножилых вод по разломам обуславливает прерывистый характер распространения ММП на этом участке трассы газопровода. Многолетнемерзлая толща характеризуется здесь малой мощностью (5-15 м) и близким залеганием к поверхности (1.0-2.5 м).

На плато Укок (профили 50-74, *рисунок 8*) трасса проходит по бортам долины р. Калгуты. Характер распространения ММП здесь преимущественно сплошной. Встречаются отдельные сквозные и несквозные талики под руслами рек и ручьев. Прерывистый характер ММП отмечается в местах пересечения трассой тектонических нарушений и связанных с ними областями разгрузки подземных вод.

Мощность ММП на плато Укок возрастает до 15-25 м, а глубина залегания кровли по геофизическим данным составляет 3.0-5.0 м.

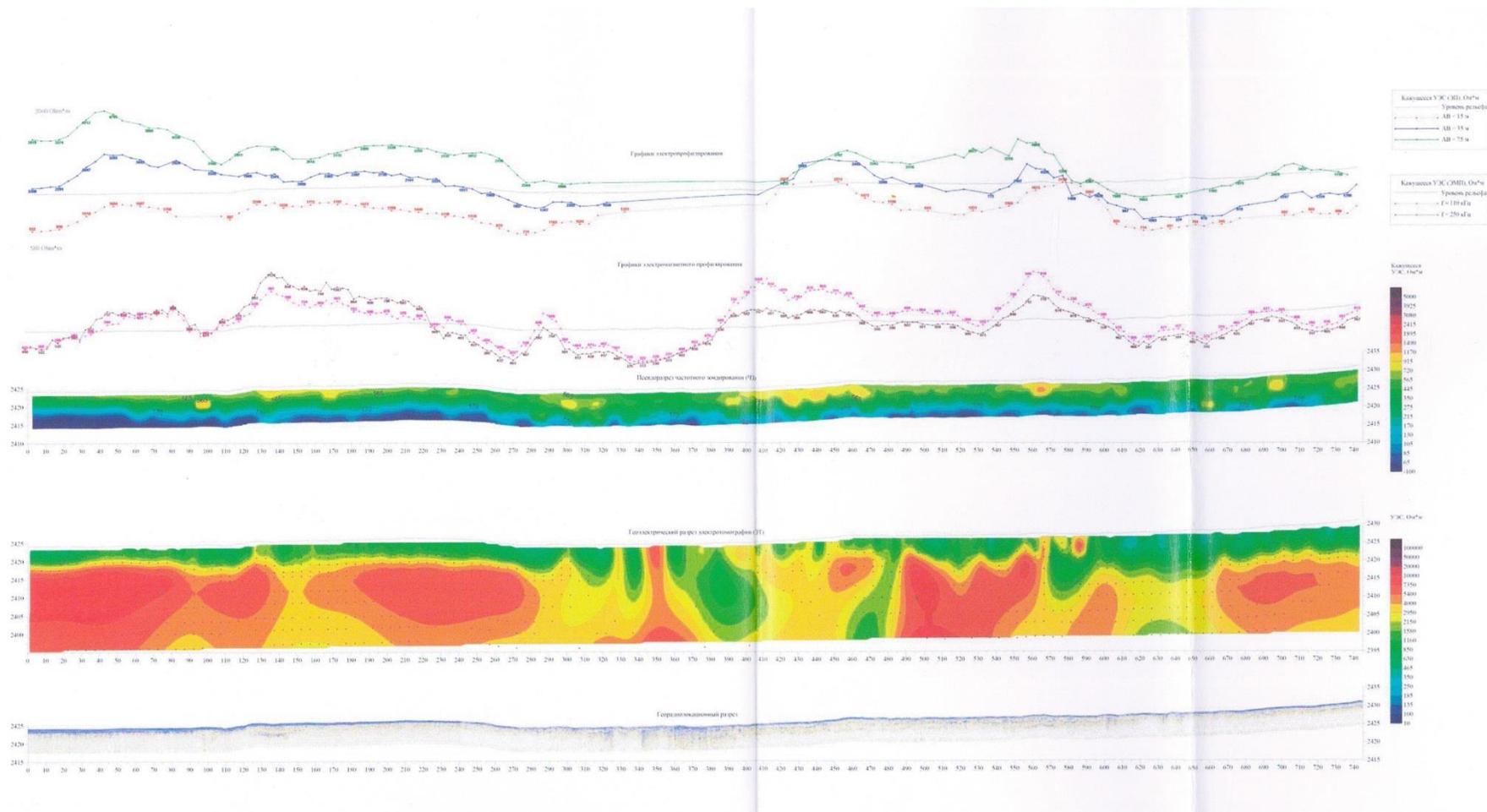


Рисунок 1 – Профиль 17 участка км 2510-2566

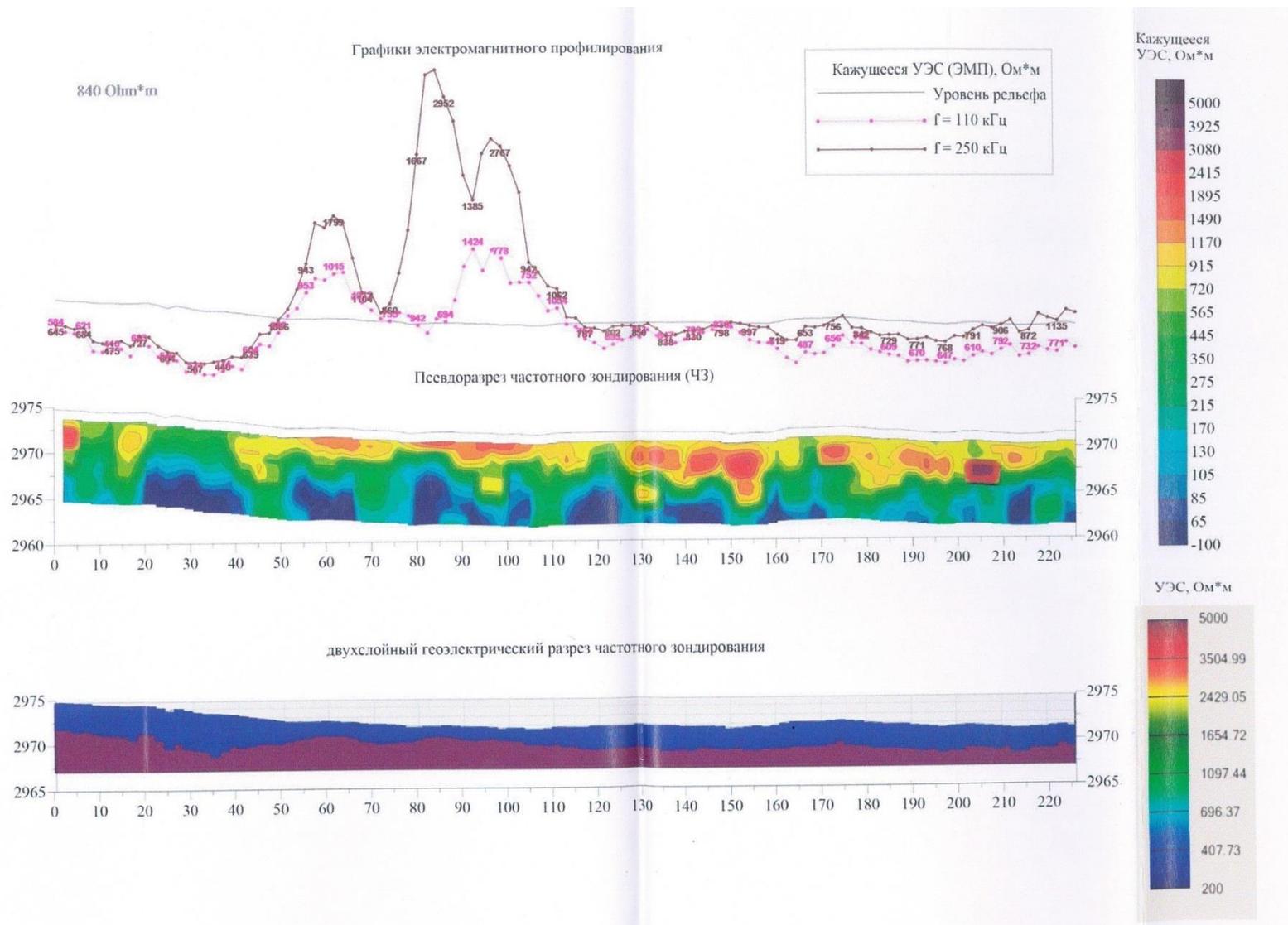


Рисунок 2 – Профиль 27 участка км 2510-256

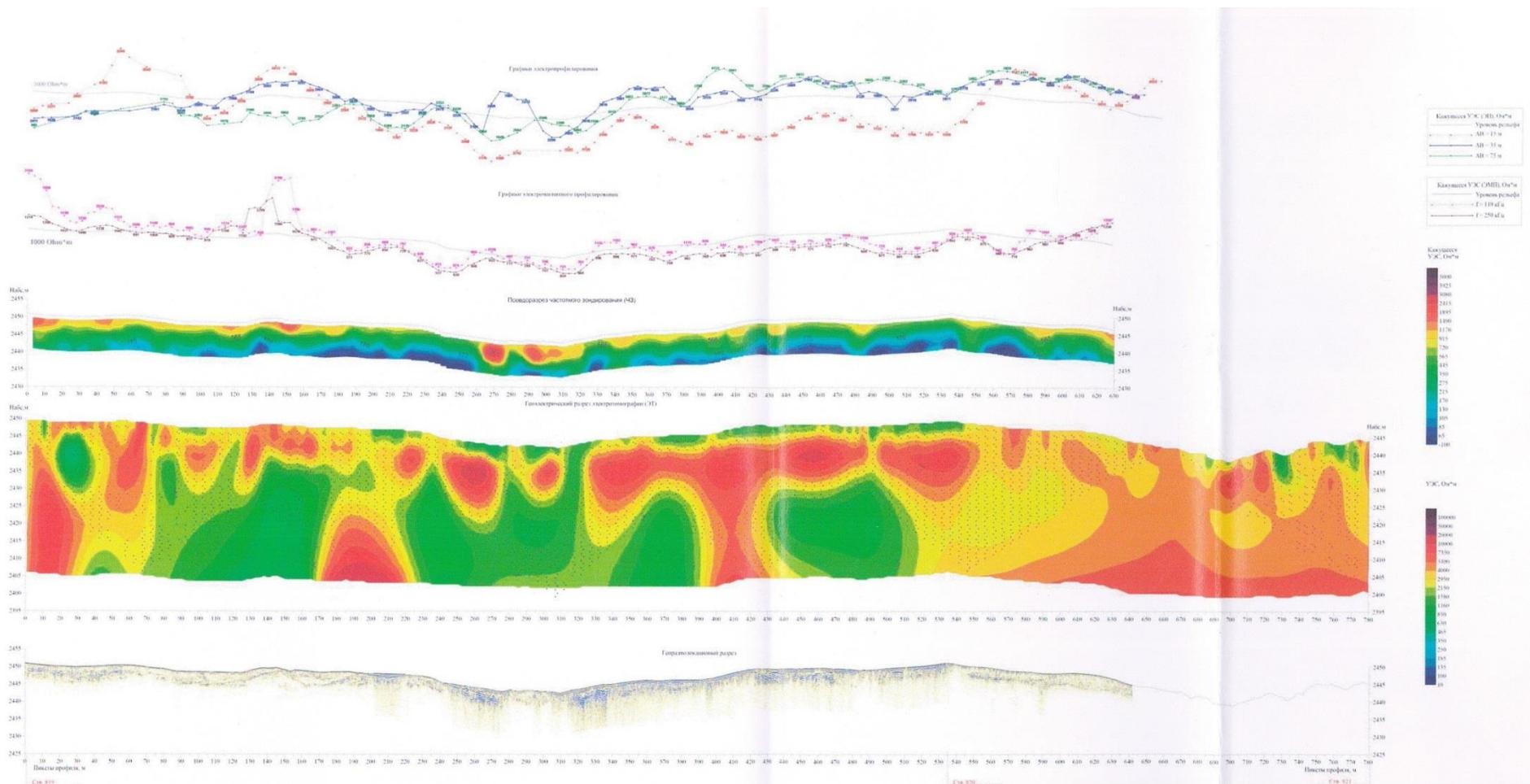


Рисунок 3 – Профиль 53 участка км 2510-2566

Профили 68-69 пересекают оз – линейно вытянутый вал шириной 250-350 м, сложенный водно-ледниковыми отложениями. В разрезе оз характеризуется очень высоким УЭС, достигающим нескольких сотен тысяч Ом*м, что говорит о его высокой льдистости, а возможно и наличии ледяного ядра внутри. Природу аномалии высокого сопротивления на профиле 68, в интервале 810-870 необходимо проверить бурением скважины на глубину до 10 м.

Таким образом, в результате комплексной интерпретации данных геофизических методов установлено, что практически на всем протяжении участка трассы газопровода км 2510-2566 на глубину до 10 м встречаются многолетнемерзлые породы. Глубина залегания кровли ММП изменяется от 1.0 м на заболоченных низменностях и склонах, до 5.0 м в хорошо дренирующих маловлажных отложениях водно-ледникового генезиса на плато Укок. Характер распространения ММП изменяется от сплошного на плато и межгорных впадинах, до прерывистого в разломных зонах предгорий.

По данным комплексной интерпретации установлено, что практически на всем протяжении участка трассы газопровода км 2566-2622 в интервале глубин 0-10 м присутствуют многолетнемерзлые породы. Глубина залегания кровли ММП варьирует в пределах 1.0-10.0 метров, а мощность изменяется от 5 до 25-30 м. Максимальная мощность ММП характерна для межгорных впадин и тальвегов долин.

Профили 1-12 проходят по левому борту долины р. Калгуты, по пологому склону северной экспозиции. Характер распространения ММП прерывистый. В местах пересечения трассой тектонических нарушений, по которым происходит разгрузка подземных вод, наблюдаются многочисленные талики, либо мерзлые породы отсутствуют (проф. 7, инт. 300-840 м). Мощность ММП меняется от 5-7 до 25-30 м в зависимости от различных факторов. Глубина залегания кровли 3.5-6.0 м. Характер

распространения мерзлых пород по площади можно проследить по результатам площадных зондирований. На разрезах по шести профилям видно, что многолетнемерзлая толща, как единый слой высокого сопротивления, отсутствует. Мерзлые породы выделяются фрагментарно, а их относительно невысокое сопротивление (2000-2500 Ом*м) говорит о температуре, близкой к 0°C. Кровля мерзлых пород по данным электротомографии залегает на глубине около 3.5 м, а их мощность порядка 10 м.

На участке развития моренных отложений (профили 13-28) распространение ММП носит своеобразный характер. Многолетнемерзлые породы обладают очень большим сопротивлением, что говорит об их высокой льдистости. Кровля мерзлой толщи может погружаться до глубины 8-10 м, повсеместно встречаются несквозные талики изометричной формы (чаши протаивания на глубину от 5 до 28 м) размером от нескольких метров до нескольких десятков метров. В пределах участка развития высокольдистых моренных отложений выполнены площадные зондирования. Вся площадь характеризуется двухслойным строением. Верхний талый слой с УЭС 100-500 Ом*м мощностью 4-6 м и нижний мерзлый слой с УЭС 15000-20000 Ом*м. В разрезе по линии 3 в интервале 35-80 выделяется чаша протаивания.

В пойме р. Ак-Алаха (профили 29-33) многолетнемерзлая толща также характеризуется очень большим УЭС (десятки тысяч Ом*м), что обусловлено её высокой льдистостью. Кровля ММП залегает на глубине около 5 м. По данным ГРЛ выделяется уровень надмерзлотных вод на глубине 2.2 м. Характер распространения ММП – сплошной, а их мощность превышает глубинность геофизических исследований (30 м).

Вдоль левого борта долины р. Ак-Алаха (профили 34-45) в интервале профилей 34-41 многолетнемерзлые породы характеризуются сплошным типом распространения с глубиной залегания кровли 3-5 м. Здесь также

развиты моренные высокольдистые отложения. Мерзлые породы обладают большим аномально УЭС (5000-8000 Ом*м), встречаются участки с сопротивлением, достигающим десятки и сотни тысяч Ом*м.

На профилях 46-50, вторично пересекающих пойму р. Ак-Алаха, характер распространения мерзлоты сложный – от прерывистого до сплошного с двухъярусным строением и внутримерзлотными таликами. На профиле 46 в интервале 0-380 м многолетнемерзлые породы выделяются фрагментарно отдельными линзами, залегающими с глубины 3.5-4.5 м.

На правом борту долины р. Ак-Алаха по профилям 55-65 отмечается преимущественно сплошной характер распространения ММП. Наличие таликов предполагается в зоне тектонического нарушения, пересекаемого профилем 63 в интервале 480-680 м. Мощность мерзлоты на данном участке трассы изменяется от 15 м в прибортовой части долины до 30 и более метров в низине. Глубина залегания кровли ММП – от 1.0 м в заболоченной низменности по данным ГРЛ до 3.4 м в прибортовой части долины по данным электротомографии.

Таким образом, в результате комплексной интерпретации данных геофизических методов установлено, что практически на всем протяжении участка трассы газопровода км 2566-2622 на глубину до 10 м встречаются многолетнемерзлые породы. Глубина залегания кровли ММП изменяется от 1.0 м на заболоченных низменностях и склонах, до 5.0 м в хорошо дренирующих маловлажных отложениях водно-ледникового генезиса на плато Укок. Характер распространения ММП изменяется от сплошного на плато и межгорных впадинах, до прерывистого в разломных зонах предгорий. В урочище Музды-Булак (профили 13-28) выявлен особенный характер строения мерзлой толщи, отличающийся глубоким положением кровли и наличием большого числа чаш протаивания.

Объектом исследования является участок под строительство магистрального газопровода. Всего в пределах исследуемой площади к

настоящему времени проведены работ лишь в малом количестве (около 20 %), что позволяет сделать вывод о том, что она практически не исследована. Однако в целом Республика Алтай обладает сравнительно хорошей геофизической изученностью.

В масштабе 1 : 200 000 территория республики изучена на 88.2 %. Геологическими съемками масштаба 1 : 50 000 охвачено 43.3 % площади. Крупномасштабными геологическими съемками изучено 90% площади. Геологическая съемка сопровождается картировочным и структурным бурением, которые в отдельных случаях комплексуются с геофизическими методами. Это позволяет решать не только чисто съемочные, но и полевые задачи.

2. Основные вопросы проектирования

2.1 Обоснование объекта исследований

Кустовая площадка № 16 находится на склоне в водосборной площади ручья. Геофизические работы будут проводиться на кустовой площадке № 16 [28][29][31].

При бурении скважины 760К, на глубине 6м, был зафиксирован провал бурового оборудования на 40 см, предположительно была вскрыта карстовая полость.

Мерзлые породы имеют на территории Юрубчено-Тохомского месторождения прерывистое распространение с островами талых пород. По площади мерзлые породы занимают >50 %.

По результатам бурения на изучаемой *площадке кустового основания № 16 и подъездной автодороги к нему* многолетнемерзлые грунты имеют сплошное распространение. Мерзлота на участке изысканий сливающегося типа. На отдельных участках под мерзлотой выявлены талики. Под руслом ручья несквозной талик гидрогенного типа, формирующийся под утепляющим воздействием водотока. Вскрытая мощность талых грунтов в пойме ручья изменяется от 0,8 до 10,2 м.

Размеры площадки 700*300 м, площадь работ составляет 210 000 м².

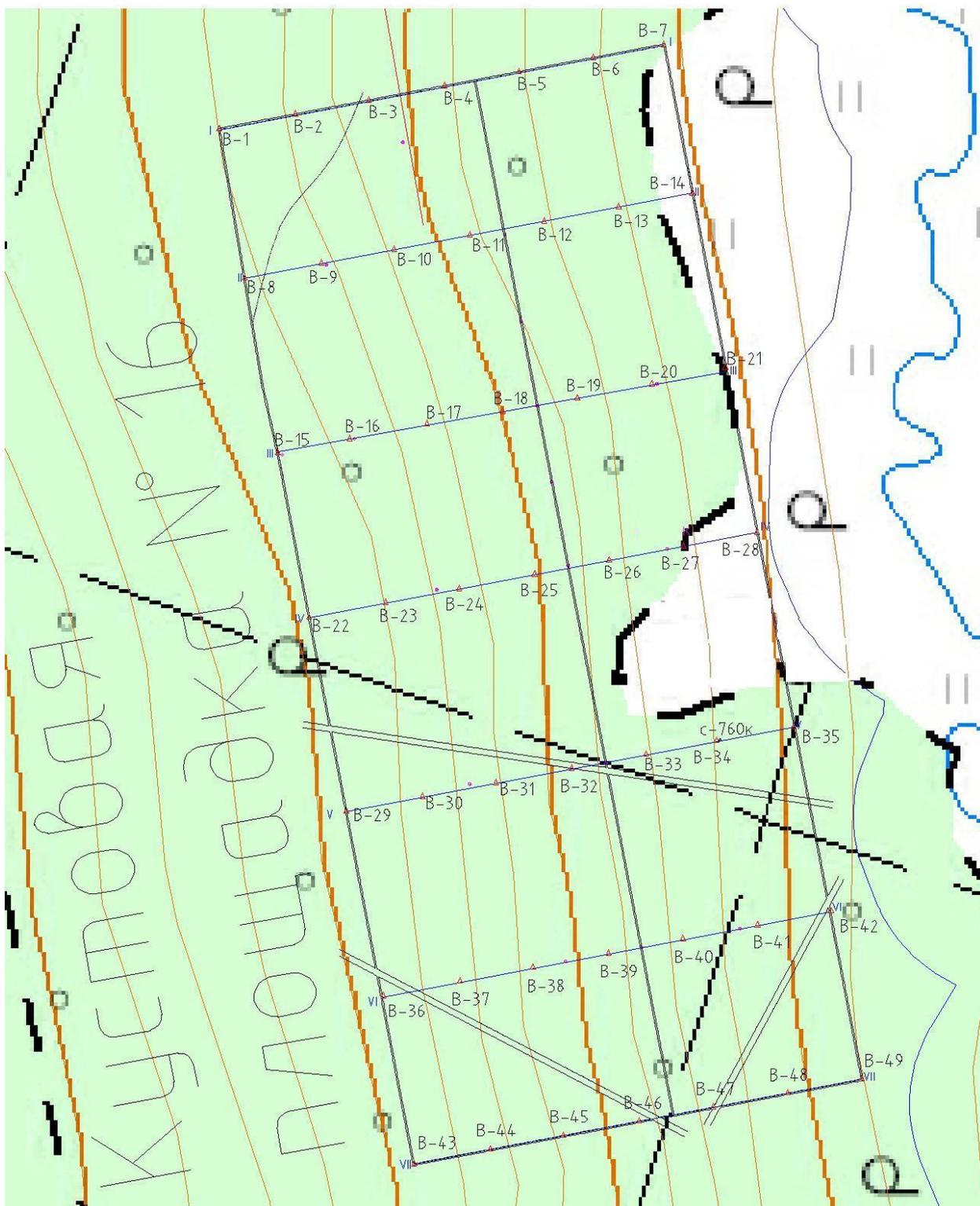


Рисунок 4 - Кустовое основания № 16 расширенного первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения.

2.2 Физико-геологическая модель объекта исследования

На рассматриваемой площади имеют распространение специфические грунты - элювиальные и многолетнемерзлые грунты.

Элювиальные отложения коры выветривания на изучаемой площади перекрывают кембрийские и ордовикские отложения и имеют широкое распространение. Состав обломочного материала соответствует подстилающим коренным породам.

На изучаемой территории формирование коры выветривания идет в две стадии: на смену начальной обломочной стадии как криогенной, так и термогенной (физическое выветривание), приходит гидрослюдистая (глинистая) стадия, характеризующаяся разложением горных пород до состояния глины (химическое выветривание).

Многолетнемерзлые породы имеют на территории Юрубчено-Тохомского месторождения прерывистое распространение с островами талых пород.

Многолетнемерзлые грунты представлены в изученном разрезе пластичномерзлыми суглинками, суглинками с примесью щебенистого материала и щебенистыми грунтами, морозными алевритами, песчаниками, известняками и доломитами (*рисунок 10*).

Среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов - 0,2 - 0,4 °С.

Мерзлые породы имеют различные криотекстуры: массивную, слоистую и корковую. Для суглинков характерны массивная и слоистая криогенные текстуры. Крупнообломочные грунты с суглинистым заполнителем чаще всего имеют корковую криогенную текстуру. Скальные морозные грунты имеют трещинную криогенную текстуру.

Суммарная льдистость грунтов изменяется от 0,105 до 0,607 д.е.

На площадке, в первом приближение, устанавливаются следующие зависимости удельного электрического сопротивления и поляризуемости (сдвига фазы) от температуры и типа криогенной структуры в мерзлых (морозных) и талых грунтах:

- в талых суглинках и суглинках со щебнем до глубины 1,5 м и температуре выше 4⁰С удельные электрические сопротивления варьируют от 43 до 106 Ом·м. Наблюдается относительно более широкая дифференциация грунтов по поляризуемости от 0,7 до 1,8%, при средних значениях 1,1%.

- в пластичномерзлых щебенистых грунтах с суглинистым заполнителем слабодльдистых в области слабоотрицательных температур при широкой дифференциации по удельному электрическому сопротивлению от 120 до 463 Ом·м характерно относительное понижение значений поляризуемость до 0,6-0,75%.

- в талых щебенистых грунтах с суглинистым заполнителем в области слабоположительных температур с глубины 7-10 метров поляризуемость снова возрастает до 1,1%.

- при наличии в переслаивающейся толще линз и прослоев алевролитов в области слабоположительных температур поляризуемость снижается.

- толщина пластичномерзлых сильнольдистых крупнообломочных грунтов при удельных электрических сопротивлениях в первые тысячи Ом·м характеризуется пониженными значениями дифференциальной поляризуемости 0 - 0,3%.

- в морозных доломитах дифференциальная поляризуемость не превышала 0,9%.

Предполагаемые типы кривых ВЭЗ- пятислойные: КНА, КQN, НКН.

2.3 Применяемые методы исследования и их задачи

Целью исследований является:

- определение состава, мощности, льдистости рыхлых четвертичных (и более древних) отложений;
- выявления литологического строения массива горных пород, тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости и льдистости и зон закарстованности;
- определения глубины залегания поверхности и подошвы массивов многолетнемерзлых грунтов;
- определения состава, состояния и свойств мерзлых грунтов в массиве;
- определение коррозионной агрессивности грунтов и интенсивности блуждающих токов.

Глубина изучаемого разреза по данным ВЭЗ составит до 15- 25 м. Предполагаемые карстовые зоны находятся на глубине порядка 3- 4 м. Карст может выделяться по вектору анизотропии (λ), участкам увеличения или уменьшения удельного электрического сопротивления (УЭС) и сдвига фазы по кривым ВЭЗ. Как, правило, карст картируется пониженными значениями сопротивлений и повышенными по модулю значениями сдвига фазы, так как карст мог быть заполнен доломитовой мукой или обломками доломитов очень низкой прочности и может быть обводненным. Наиболее вероятно, что направление вектора λ – СЮ, вдоль ручья.

На первом этапе провести работы методом ВЭЗ и метод блуждающих токов (МБТ) (согласно СП 11-105-97 Часть IV Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов) для решения таких задач как:

- определение состава, мощности, льдистости рыхлых четвертичных (и более древних) отложений;
- выявления литологического строения массива горных пород, тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости и льдистости;
- определения глубины залегания поверхности и подошвы массивов

многолетнемерзлых грунтов;

- определения состава, состояния и свойств мерзлых грунтов в массиве;
- определение коррозионной агрессивности грунтов и интенсивности блуждающих токов.

На втором этапе провести работы методом КВЭЗ, ЭП и выполнить георадиолокацию для решения таких задач как:

- выявление и оконтуривание зон повышенной трещиноватости и закарстованности;
- определение глубины распространения закарстованных пород;
- обнаружение отдельных карстовых полостей и их оконтуривание.

3. Методические вопросы

3.1 Методика и техника полевых работ

Геофизические исследования проводить комплексом методов:

- методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ);
- методом кругового вертикального электрического зондирования (КВЭЗ);
- методом электропрофилирования (ЭП);
- методом блуждающих токов (МБТ);
- георадиолокационное профилирование (РЛП).

Методы вертикальных электрических зондирований (КВЭЗ, ВЭЗ) и электропрофилирование (ЭП) выполнить с измерителем «МЭРИ-24» и генератором «АСТРА-100» на переменном токе инфранизкой частоты 2,44 Гц. В методах КВЭЗ, ВЭЗ разнос питающей линии АВ=100 - 250 м, в ЭП - АВ=12, 18 м. На кустовом основании №16 ВЭЗ выполнить по сети 100*50 м, по трассам автомобильных дорог - с шагом 200-250 м. ЭП выполнить на кустовой площадке №16, по сети 50*20 м.

Для устройства приемных и питающих линий использовать провод ГПСМПО. Приемные электроды – латунные, питающие - стальные, удлиненные (до 1,2 м).

Объем повторно-контрольных измерений в методе ВЭЗ – 5 %, точность измерений - 4,3 %. В зависимости от геоэлектрических свойств разреза глубина исследований составит 20÷25 м. Объем повторно-контрольных измерений в методе ЭП – 5 %, точность измерений – 3,9 %.

При изучении блуждающих токов измерения величины естественного электрического поля проводить в двух взаимно перпендикулярных измерительных линиях длиной в 100 м. Приемные электроды – неполяризующиеся. Длительность измерений составляла 10 минут, запись показаний производилась через 10 секунд мультиметром.

Георадиолокационные исследования выполнить георадаром ОКО-2 с антенным блоком АВ-150, по отдельным профилям в режиме непрерывной

съемки с применением датчика перемещения. Профиля РЛП проложить через эпицентры геофизических аномалий с пониженными значениями электрического сопротивления, и высокими значениями анизотропии. Профиля наблюдений расположить вкрест и по простиранию аномалий ВЭЗ и ЭП из расчета 400 м на 1 аномалию.

3.1.1 Аппаратура

Многофункциональный ЭлектроРазведочный Измеритель «МЭРИ-24» и Электроразведочный генератор «АСТРА-100».

Измеритель «МЭРИ-24» (Многофункциональный ЭлектроРазведочный Измеритель, разрядность АЦП – 24 бита) – образец современной портативной, надежной, высокоточной геофизической аппаратуры. Область применения измерителя включает структурные, картировочные, поисковые, разведочные, инженерные и экологические исследования.

«МЭРИ-24» предназначен для проведения работ методами:

- методом вызванной поляризации (ВП);
- методом сопротивлений (КС);
- методом частотного зондирования (ЧЗ);
- методом естественных полей (ЕП);
- методом промышленных частот (ПЧ);
- методом электротомографии (ЭТ).



Рисунок 6 - Многофункциональный Электроразведочный Измеритель «МЭРИ-24»

Измеритель позволяет получать результаты обработки сигнала в режиме реального времени, настраивать параметры обработки. При регистрации сигнала производится узкополосная фильтрация на рабочей частоте, задаваемой из списка. По умолчанию используется стандартный для России ряд частот от 0,152 Гц до 625 Гц.

Прибор снабжен графическим ЖК-индикатором разрешением 320×240 и 18-кнопочной клавиатурой, питание осуществляется от встроенных аккумуляторов или от внешнего источника питания. В большинстве случаев заряда внутреннего аккумулятора хватает на полный рабочий день. Благодаря отсутствию необходимости во внешнем питании, небольшому весу (3 кг) и специальной сумке, «МЭРИ-24» идеально подходит для профилирования и других методик, подразумевающих частые перемещения оператора.

В измерителе реализована возможность усиления сигнала до 8 раз, что позволяет проводить измерения полезного сигнала с амплитудой порядка 10 мкВ. Максимальный уровень сигнала на входе составляет 2,5 В.

Оцифровка сигнала производится с частотой до 100 КГц 24-разрядным АЦП.

Для переноса сохраненных результатов измерений на компьютер используется интерфейс USB 1.1.

Рабочий диапазон температур от -20°С до +60°С.

Таблица 1 - Основные технические характеристики

Рабочие частоты:	
Первый ряд частот	0.153, 0.305, 0.610, 1.22, 2.44, 4.88, 9.77, 19.5, 39.1, 78.1, 156, 313, 625
Второй ряд частот	0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.0, 32.0, 64.0, 128, 256, 512
Третий ряд частот	0.167, 0.333, 0.667, 1.33, 2.67, 5.33, 10.7, 21.3, 42.7, 85.3, 171, 341, 683
Диапазон входного сигнала, В	-2.4 ... +2.4
Минимальный измеряемый сигнал, мкВ	1
Входное сопротивление, МОм	> 5
Диапазон компенсируемых напряжений, В	-1.25 ... +1.25
Погрешность компенсации, мкВ	10
Коэффициент усиления	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64
Разрядность АЦП, бит	24
Микропроцессор	ADSP2191 M BST-140
Объем памяти данных, МБайт	16
Тип интерфейса	USB
Напряжение питания, В	5.5 ... 7
Емкость аккумулятора(ов), мА/ч	3300
Ток потребления, мА:	300
Клавиатура, кнопки	18
ЖКИ, пиксели	320 x 240
Габариты, мм	190 x 145 x 72 (95)
Вес (с аккумуляторами), кг	до 3
Рабочий диапазон температур	от – 20 °С до + 60 °С



Рисунок 7 - Электроразведочный генератор «АСТРА-100»

Электроразведочный генератор «АСТРА-100» (максимальная выходная мощность – 100 Вт) может применяться при геофизических исследованиях методами

- сопротивлений (КС),
- вызванной поляризации (ВП),
- частотного зондирования (ЧЗ),
- импедансного частотного зондирования (ИЧЗ или CSMT),
- зондирования становлением поля (ЗС)
- и другими методами.

Генератор может обеспечить глубинность исследований от первых метров до первых сотен метров. С его использованием могут быть решены следующие задачи:

- задачи поиска и разведки месторождений полезных ископаемых (нефтегазовых, рудных, угля, алмазов, урана и др.) или генетически связанных с ними структур;
- задачи структурной и картировочной геологии (определение геологического строения среды и литологического состава пород);

- инженерно-геологические задачи (исследование состояния грунтов, изучение областей развития карста, оползней и др.);
- гидрогеологические задачи (поиск подземных вод, в том числе термальных, оценка водонасыщенности пород и минерализации флюида);
- мерзлотно-гляциологические задачи (картирование и определение глубины залегания многолетнемерзлых пород, изучение динамики промерзания и оттаивания и др.);
- экологические задачи (исследование областей загрязнения подземных вод, выявление разломных зон и др.);
- геотехнические задачи (изучение состояния оснований сооружений и трубопроводов, исследование подземных коммуникаций и других техногенных объектов).

Также с использованием генератора может быть получена информация о геоэлектрическом строении верхней части разреза, полезная при интерпретации глубинных региональных, поисково-разведочных и прочих исследований с использованием искусственных и естественных полей.

«АСТРА-100» генерирует сигнал формы «меандр» (РПИ-1, прямоугольные разнополярные импульсы без паузы) с частотой от 0.063 до 2500 Гц и силой тока от 1 до 1000 мА. Отличительной особенностью генератора является возможность программирования режима работы (7 программ до 16 шагов в каждой).

Питание осуществляется от внешнего аккумулятора 12 В. Желательно использовать стандартные аккумуляторы зарядом 7 А*ч.

Благодаря небольшому весу (около 4 кг вместе с аккумулятором) и удобной сумке для переноски генератор «АСТРА-100» хорошо подходит для профилирования и других методик, предполагающих частые перемещения питающей линии.

Оптимально использование генератора совместно с измерителем «МЭРИ-24».

Таблица 2 - Основные технические характеристики

Максимальная выходная мощность,	100 Вт
Максимальное выходное напряжение	400 В
Форма выходного тока	РПИ-1 («меандр», прямоугольные разнополярные импульсы без паузы)
Рабочие частоты (всего 46 частот):	
Первый ряд частот	0.076, 0.153, 0.305, 0.610, 1.22, 2.44, 4.88, 9.77, 19.5, 39.1, 78.1, 156, 313, 625, 1250, 2500
Второй ряд частот	0.063, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.0, 32.0, 64.0, 128, 256, 512, 1024, 2048
Третий ряд частот	0.083, 0.167, 0.333, 0.667, 1.33, 2.67, 5.33, 10.7, 21.3, 42.7, 85.3, 171 341, 683
КПД	До 80%
Погрешность заводской подгонки выходных токов, не более	0.1% (при комнатной температуре и нагрузке 50% от максимальной)
Нестабильность выходных токов, не более	0,05% (при изменении напряжения питания от 10.5В до 14.5В)
Нестабильность выходных токов при изменении нагрузки от 2% до 99% от максимальной, не более, для токов:	141 ма – 1000 мА: 0,05% 14.1 мА – 100 мА: 0,1% 1 мА – 10 мА: 0,5%
Дрейф выходных токов в диапазоне рабочих температур относительно значений при +20°C, не более	±0,5%
Относительная погрешность формирования частот, не более	5*10 ⁻⁶ (включая дрейф в диапазоне рабочих температур и старение за первый год эксплуатации)
Длительность фронта на активной нагрузке 1 кОм, не более	2 микросекунды
Диапазон рабочих температур	от — 20 °С до + 50 °С, без конденсации
Напряжение питания	12,6 В (минимум 10.5 В, максимум 14.8 В)
Вес (без аккумулятора)	~ 2 кг
Габариты	200 x 173 x 113 мм
Корпус герметичный	Стандарт IP-65

Extech MN35 - Цифровой мультиметр

Компактный мультиметр с автоматическим и ручным переключением диапазонов



Рисунок 8 - Цифровой мультиметр «Extech

Технические характеристики

- Большой, легко читаемый, цифровой дисплей
- Функция измерения напряжения переменного и постоянного тока до 600В
- Функция измерения силы постоянного тока до 10А
- Функция измерения температуры при помощи термопары до 750°C
- Определение сопротивления с функциями проверки цепи на обрыв и тестирования диодов
- Модель с функцией настройки диапазона вручную (MN35) и тестированием батареи 9В и 1.5В
- Модель с функцией автоматической настройки диапазона (MN36) с измерением силы переменного тока, емкости и частоты
- Удобный миниатюрный корпус прибора с защитным чехлом и наклонной подставкой
- Функция удержания показаний на дисплее
- В комплекте защитный резиновый чехол, батарея, контрольные выводы и зонд термопары Тип К

Таблица 3 - Основные технические характеристики

Спецификации	Модель MN35			Модель MN36		
	Диапазон	Степень разрешения, макс.	Базовая точность (%показаний + цифры)	Диапазон	Степень разрешения, макс.	Базовая точность (%показаний + цифры)
Напряжение постоянного тока	200мВ, 2В, 20В, 200В, 600В	0.1мВ	±0.5%	400мВ, 4В, 40В, 400В, 600В	0.1мВ	±0.5%
Напряжение переменного тока	200В, 600В	0.1В	±1.2%	4В, 40В, 400В, 600В	0.1В	±1.2%
Сила постоянного тока	200мА, 10А	0.1мА	±1.5%	400мкА, 4000мкА, 40мА, 200мА, 10А	0.1мкА	±1.2%
Сила переменного тока	-	-	-	400мкА, 4000мкА, 40мА, 200мА, 10А	0.1мкА	±1.5%
Сопротивление	200Ω, 2кΩ, 20кΩ, 200кΩ,	0.1μΩ	±0.8%	400Ω, 4кΩ, 40кΩ, 400кΩ, 4МΩ, 40МΩ	0.1Ω	±1.2%
Емкость	-	-	-	4нФ, 40нФ, 400нФ, 40мкФ, 100мкФ	0.001нФ	±3.0%
Частота	-	-	-	10Гц, 100Гц, 1кГц, 10кГц, 100кГц, 1МГц, 5МГц	0.01Гц	±1.0%
Температура	От-20 до 750°C	1°	±(1%+4°)	От -20 до 750°C	1	±(1%+4°)
Питание	Одна батарея на 9В			2 батареи типа ААА		
Размеры	138x72x38мм			138x72x38мм		

Георадар «Око- 2» С антенным блоком АБ- 150.



Рисунок 9 – Георадар «Око- 2» с антенным блоком АБ- 150

Низкочастотный экранированный антенный блок АБ-150 (рисунок 13) имеет центральную частоту 150 МГц, что позволяет проводить исследования на глубину до 12 метров. В комплект антенны входит монолыжа и съемный колесный набор. Разборная конструкция позволяет реализовывать методику работы на переменной базе с построением годографов. Для проведения подобных работ необходимо дополнительно до 20 метров оптокабеля.

Таблица 4 - Основные технические характеристики

Название	Око - 2
Антенна	АБ- 150
Тип антенны	Экранированный
Центральная частота	150 МГц
Максимальная глубина зондирования	12 м
Разрешающая способность по глубине	0.35 м
Габариты	160 х 62 х 17 (см)
Масса	14 кг
Потребляемая мощность	7 Вт

3.1.2 Геофизические работы

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и круговое вертикальное электрическое зондирование (КВЭЗ) [8][9][27].

Процесс полевых наблюдений при работе с симметричной установкой заключается в измерении кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_k при последовательно увеличивающемся разnose питающих заземлений АВ.

Таким образом, каждый последующий разнос питающих заземлений должен быть больше предыдущего примерно в 1,5 раза.

При увеличении разносов питающих заземлений напряжение, подводимое от батареи, падает на все большем интервале. Поскольку отношение MN/AB становится при этом все меньше, разности потенциалов тоже уменьшаются и измерения ΔU становятся более затруднительными. В связи с этим в процессе зондирования при достижении некоторого полуразноса АВ/2 приходится увеличивать разнос измерительных заземлений, но так, чтобы отношение MN/AB не превышало 1/3. Переход с одной измерительной линии на другую осуществляют на двух смежных разносах питающих заземлений.

Центры электрических зондирований (ВЭЗ и КВЭЗ) рекомендуется располагать на прямолинейных профилях, направление которых совпадает с направлением разносов питающей и приемной линий (за исключением маршрутных съемок).

ВЭЗ и КВЭЗ выполняется с установкой AMNB. Разносы выбираются в зависимости от геологических задач и геоэлектрических условий работ.

Коэффициент $K_{ВЭЗ}$ и кажущиеся удельное электрическое сопротивление ρ_k рассчитывается по формулам:

$$K_{ВЭЗ} = \pi * l_{AN} * l_{AM} / l_{MN}$$

$$\rho_k = K_{ВЭЗ} * \Delta U / I$$

где l_{AN} , l_{AM} , l_{MN} — соответствующие расстояния между электродами; I — сила тока, мА; ΔU — разность потенциалов, мВ. Если сила тока дается в сантиамперах, коэффициент $K_{ВЭЗ}$ уменьшается в 10 раз, в амперах — в 1000 раз.

Наблюдения на первых двух разносах с линией $l_{MN/2}=0,125$ м, могут быть опущены, если нет необходимости изучения удельного сопротивления или расчленения приповерхностного слоя геоэлектрического разреза.

При применении других разносов АВ и MN, не указанных в упомянутых таблицах, следует придерживаться следующих правил. Точки на кривой ВЭЗ, изображенной в логарифмическом масштабе, по линии разносов должны располагаться более или менее равномерно; начальная длина разноса АВ должна быть выбрана такой, чтобы на кривой зондирования выделялся слой с удельным сопротивлением ρ_1 ; отношение длины последующего разноса АВ к длине предыдущего не должно превышать 1,5—1,7; отношение длины разноса l_{AB} к длине l_{MN} должно быть не менее 3,0; максимальное отношение l_{AB} к l_{MN} определяется наименьшим значением разности потенциалов, допустимым для измерения в каждом конкретном случае.

При переходе от одних разносов MN к другим обязательно перекрытие кривой ВЭЗ минимум в двух точках.

Размотку проводов при выполнении ВЭЗ и КВЭЗ следует вести по предварительно провешенному профилю или направлять по прямой с помощью естественных визиров или компаса. Следует избегать отклонения от прямолинейной прокладки проводов на угол, больший 10° .

Измерение расстояний между заземлениями должно проводиться с погрешностью не более 1 %. В тех случаях, когда расстояния между ближайшими заземлениями не превышают 3 м, погрешность измерения расстояний допускается до 3 %.

При выполнении ВЭЗ и КВЭЗ с разносами $l_{AB} < 1$ км связь осуществляется посредством сигнализации свистком, флажком и т. д.; На больших разносах l_{AB} применяется телефонная или радиосвязь.

КВЭЗ выполняется так же как и ВЭЗ только после первого наблюдения вся установка поворачивается на 45° по часовой стрелке относительно прежнего положения и цикл измерений повторяется снова. И так в итоге должно быть 4 измерения на одной точке, т.е. установка повернется 3 раза относительно своего начального положения.

Электропрофилирование ЭП [8][9][27]

Особенностью электропрофилирования является то, что при этом способе изучения кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_k размеры установки, т.е. взаимное положение питающих и измерительных электродов, остаются постоянными, в то время как вся установка от замера к замеру перемещается вдоль некоторого направления, называемого электропрофилем. Это позволяет изучать геологический разрез вдоль линии наблюдений.

Работы методом ЭП ведутся по сети наблюдений прямоугольной формы, профили располагаются вкрест простирания зон закарстованности, расстояние между профилями 20 м, между точками наблюдения – 20 м. Съемка ведется с перемещением установки по профилю.

Объем повторно-контрольных измерений в методе ЭП – 5 %, точность измерений – 3,9 %.

Метод блуждающих токов МБТ [8][9][27]

При определении блуждающих токов используют установку состоящую из измерителя, и линии MN.

В качестве линии MN используются два керамических неполяризуемых (медно-сульфатных) электрода соединенных проводом ГПСМПО.

Измерителем обычно служат вольтметры с внутренним сопротивлением не менее 1 МОм регистрирующие или показывающие

разность потенциалов с пределами измерений: 0,5 - 0 - 0,5 В; 1,0 - 0 - 1,0 В; 5,0 - 0 - 5,0 В или другими, близкими к указанным пределам.

Медно-сульфатные электроды располагают параллельно будущей трассе сооружения, а затем перпендикулярно к оси трассы. При этом один электрод устанавливается неподвижно, а второй электрод после измерения разности потенциалов вдоль оси трассы переносят так чтобы произвести измерения вкрест оси трассы. Для выполнения работ по такой методике достаточно двух человек.

Разность потенциалов на трассе проектируемого сооружения измеряют между двумя точками земли через каждые 1000 м по двум взаимно перпендикулярным направлениям при разносе измерительных электродов MN на 100 м для обнаружения блуждающих токов.

Показания вольтметра снимают через каждые 10 с в течение 10 мин в каждой точке. Используют стандартные облегченные катушки с клеммой для подключения к прибору. Необходимо следить, чтобы провода были тщательно изолированы, особенно при работе в сырую погоду.

Для измерения разности потенциалов между двумя точками неполяризующиеся электроды устанавливают в лунки с разрыхленной почвой и плотно обжимают (вся пористая часть электрода должна находиться в контакте с почвой). При сухой почве лунки за 0,5 - 1 ч до наблюдения поливают водой (независимо от входного сопротивления измерителя). При работе на скальном грунте заземления делают в рыхлой (переносной) почве, которая за 0,5 - 1 ч до измерений поливается водой до полного увлажнения. Если вблизи точки заземления имеются участки с растительным слоем, заземления устраивают на них.

Георадиолокационное профилирование РЛП [10]

Георадиолокационное профилирование выполняется георадаром «ОКО-2». Низкочастотным экранированный антенным блоком АБ-150, который имеет центральную частоту 150 МГц, что позволяет проводить

исследования на глубину до 12 метров. РЛП проводится по заранее подготовленным профилям на площадке или вдоль линейных объектов для детализации аномалий ВЭЗ или решения сложившейся геологической задачи. Приемная и возбуждающая антенна перемещаются по профилю в режиме непрерывной съемки с применением датчика перемещения. Результаты РЛП записываются в память прибора.

Принцип действия георадара основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами - уровень грунтовых вод, контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и тальми грунтами, между коренными и осадочными породами и т.д.

3.1.3 Топогеодезическое обеспечение

Топографо-геодезическое обеспечение геофизических исследований включает:

- 1) перенесение в натуру проекта расположения пунктов наблюдений (разбивки магистралей, профилей и т.п.);
- 2) закрепление определенных пунктов соответствующими знаками;
- 3) определение планового положения высот пунктов наблюдений;
- 4) составление топографической основы для отчетных карт;
- 5) технический контроль и оценку точности выполнения работ.

При топографо-геодезических работах используются угломерные и дальномерные приборы (нивелиры, тахеометры), рейки и другое оборудование в соответствии с требованиями действующих наставлений по

топографо- геодезическому обеспечению геологоразведочных и геофизических работ.

Топографо- геодезические работы в зависимости от их объема и сложности выполняются специальными топографо-геодезическими экспедициями, партиями, отрядами или бригадами.

Простейшие топографические работы (здание профилей простым угломерным прибором, разбивка их с помощью мерной ленты или размеченного провода и некоторые другие) могут вестись силами геофизического отряда. Характер топографо-геодезических работ, их объем, точность и последовательность выполнения определяются при проектировании электроразведочных исследований с учетом конкретных условий (наличие топографических карт, топогеодезических пунктов, степень пересеченности местности и т.д.).

Точки наблюдений закрепляются на местности, как правило, при разбивке сети; точки, выявленные в результате электроразведочных работ, - одновременно с завершением работ на планшете (участке).

Если по характеру геофизических работ окажутся целесообразными отступления от приведенных выше требований к топографо-геодезическим работам, изменения методики и техники последних обосновываются соответствующими изменениями (дополнениями) к проекту геофизического отряда и согласовываются в установленном порядке.

До окончания всех топографо-геодезических работ на объекте геофизические работы считаются незавершенными.

3.1.4 Метрологическое обеспечение работ

Для обеспечения правильности измерений, вся используемая при производстве геофизических работ аппаратура проходит метрологические проверки.

Метрологическое обеспечение средств измерений выполнено ООО «Северо-Запад» в городе Москва (копия акта поверки электроразведочной аппаратуры прилагается – *рисунок 15,16*).

Георадар ОКО-2 не нуждается в поверке так как является средством индикации (копия сертификата соответствия прилагается – *рисунок 17*).

Топогеодезические средства измерений были подвергнуты метрологическому контролю до начала полевых работ.

Настройка персональных навигаторов GPS выполнялась перед началом работ на пункте Триангуляции с известными координатами.

АКТ
поверки комплекта электроразведочной аппаратуры для проведения работ
методом сопротивлений с заземленными рабочими линиями
в составе генератора АСТРА-100, измерителя МЭРИ-24

Комиссией геофизического отдела ООО «Северо-Запад» в составе:

- начальника геофизического отдела Гребнева В.П.,
- ведущего геофизика Андреева В.С.
- геофизика Яковлева Г.А.,

под председательством Гребнева В.П.

проведена внутренняя поверка геофизической аппаратуры, являющейся собственностью ОАО «ТомскНИПИнефть»: портативный электроразведочный генератор «АСТРА-100» (1шт.), многофункциональный электроразведочный измеритель МЭРИ-24 (1 шт.). Поверка проведена в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации аппаратуры низкой частоты АНЧ-3, являющейся однотипной поверяемой аппаратуре.

Также проведена проверка работоспособности комплекта аппаратуры АСТРА-100, МЭРИ-24 в полевых условиях на геофизическом полигоне ООО «Северо-Запад» (Калужская область, д. Александровка) в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации организации-изготовителя – ООО «Северо-Запад».

Состав комплекта поверяемой аппаратуры:

Марка аппаратуры	Организация-изготовитель	Серийный номер	Год выпуска
1. Портативный электроразведочный генератор АСТРА			
«АСТРА-100»	ООО «Северо-Запад»	128	2009
2. Многофункциональный электроразведочный измеритель МЭРИ-24			
«МЭРИ-24»	ООО «Северо-Запад»	137	2008

Состав поверки:

Технические характеристики	Пункт методики поверки	Результат поверки
Внешний осмотр	16.5.1	Удовл.
Опробование	16.5.2	Удовл.
Частоты выходного тока генераторов (0.076, 0.153, 0.305, 0.610, 2.441, 4.883, 9.766, 19.53, 39.06, 78.13, 156.3, 312.5, 625.04 ±1 %)	16.5.3	Удовл.
Погрешность установления выходного тока генераторов (±1% при верхнем значении нагрузки)	16.5.4	Удовл.
Нестабильность выходного тока генераторов при изменении нагрузки относительно верхнего ее значения (не более 2%)	16.5.4	Удовл.
Нестабильность выходного тока генераторов при изменении напряжения питания (не более 2%)	16.5.4	Удовл.
Приведенная погрешность измерителей (не более ±2%)	16.5.7	Удовл.

Частотная характеристика измерителей	16.5.7	Удовл.
Подавление помехи частотой 50Гц (не менее 80 дБ)	16.5.7	Удовл.

- Применяемые средства поверки:
- частотомер электронный ЧЗ-34А;
 - вольтметр М2007;
 - прибор постоянного тока;
 - мегометр М4100,4;
 - осциллограф С1-76;
 - магазин сопротивлений Р4831;
 - генератор ГЗ-110.

Аппаратура годна к эксплуатации до 16 мая 2015 года.

Председатель комиссии:

Начальник геофизического отдела



Гребнев В.П.

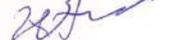
Члены комиссии:

Ведущий геофизик



Андреев В.С.

Геофизик



Яковлев Г.А.

Подписи Гребнева В.П., Андреева В.С., Яковлева Г.А. удостоверяю

Генеральный директор
ООО «Северо-Запад»



Храмов И.Б.

**СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ 12.000.0485



Срок действия с 11.12.2012 г. по 11.12.2015 г.
№ 00485

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ

ФГУП «ВНИИМС»
119361, г. Москва, ул. Озерная, 46 тел.: (495) 437-29-22

ПРОДУКЦИЯ

Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования РППЗ
(георадар) «ОКО-2»
Серийное производство

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ
ДОКУМЕНТОВ
ИУСЕ.464514.003 ТУ

код ОК 005 (ОКП):
431414

код ТН ВЭД СНГ:
8526109000

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

Общество с ограниченной ответственностью
«Логические Системы» (ООО «Логис»)
140104, Московская обл., г. Раменское,
ул. 100-й Свирской дивизии, д. 11

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

Общество с ограниченной ответственностью
«Логические Системы» (ООО «Логис»)
140104, Московская обл., г. Раменское,
ул. 100-й Свирской дивизии, д. 11

НА ОСНОВАНИИ

Протокол испытаний от 22.11.2012 г., выдан
ГЦИ СИ ФГУП «ВНИИМС»

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ




подпись


подпись

В. Н. Яншин
инициалы, фамилия

Т.В.Кулешова
инициалы, фамилия

Рисунок 12 – Сертификат соответствия

3.2 Интерпретация геофизических данных

Качественная и количественная интерпретация ВЭЗ осуществлялась в программе IPI2Win. Интерпретация ВЭЗ в программе IPI2Win проводится в интерактивном режиме, с учетом данных бурения по глубинам залегания инженерно-геологических элементов. В программе AutoCAD построены геоэлектрические разрезы с сохранением файла в формате (*.dwg). Значения удельных электрических сопротивлений (УЭС) геоэлектрических слоев вынесены на продольные профили.

По данным методов ВЭЗ и ЭП на кустовом основании №16 в программе AutoCAD построены карты изоом кажущихся сопротивлений на разносах питающей линии АВ=12, 30 и 120 м с сохранением файлов в формате (*.dwg) и в графическом формате (*.pdf). Разносы питающих линий выбирались с целью изучения геоэлектрических характеристик в перекрывающей и нижележащей, закарстованные грунты, толщах.

Результаты КВЭЗ изобразить в виде полярной диаграммы кажущихся сопротивлений. Коэффициент анизотропии – λ , определялся по формуле:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}},$$

где ρ_n - УЭС по нормали к напластованию, Ом.м;

ρ_t - УЭС по напластованию, Ом.м.

По планам изоом кажущихся сопротивлений с использованием данных георадиолокации трассировались разрывные нарушения, выделялись участки (блоки) массива грунтов, в пределах которых возможно развитие процессов суффозии и карстообразования. Разрывные нарушения по ВЭЗ выделялись по локальным аномалиям кажущихся сопротивлений увязываемых в плане в единую цепочку, по зонам высоких градиентов кажущихся электрических сопротивлений, по нарушениям корреляции изоом в плане и геоэлектрических слоев в разрезе.

Коррозионная агрессивность грунтов по отношению к углеродистой и низколегированной стали определять по данным ВЭЗ.

Наличие блуждающих токов оценивать по абсолютной величине измеряемого значения и наибольшему размаху колебаний измеряемой величины (разность наибольшего и наименьшего значений) во времени.

3.2.1 Методика истолкования аномалий ВЭЗ и КВЭЗ

В процессе камеральной обработки на основании рассмотрения материалов метода ВЭЗ и КВЭЗ в сопоставлении с геологическими и геофизическими данными делаются заключения о природе аномалий, выявляются участки развития опасных геологических процессов, даются рекомендации по детализации выявленных аномалий и намечаются места заложения горных выработок и буровых скважин.

Горизонтальные размеры локальных тел удобно определять по графикам ρ_k . Интерпретация данных электромагнитных зондирований при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях должна проводиться следующим образом.

1. Сначала на основе качественного анализа кривых зондирований и сопоставления электрических горизонтов с геологическими оценивают общую геоэлектрическую характеристику района для выбора предварительных физико- геологических моделей изучаемого района с точки зрения возможности решения поставленных задач.

2. Далее проводят предварительную количественную интерпретацию параметрических зондирований для увязки электрических и геолого-гидрогеологических горизонтов и построения физико-геологических моделей всего участка или его кусочно- однородных частей.

3. Применение ЭВМ, которое не только ускоряет, упрощает и уточняет результаты палеточной интерпретации, но и облегчает последующую обработку данных. При обработке больших объемов данных электромагнитных зондирований машинная обработка крайне необходима.

5. Заключительным этапом является геологическое истолкование результатов с использованием корреляционных и логических связей между физическими параметрами и конкретными геометрическими физико-механическими и водно-физическими свойствами разреза. В результате получают окончательную физико-геологическую модель, включающую как геометрическое строение (положение поверхностей раздела с разными свойствами, литологией и состоянием), так и количественную характеристику физико-механических и водно-физических свойств среды в целом и на отдельных участках с оценкой возможной их динамики.

Качественная интерпретация зондирований

Качественная интерпретация данных электромагнитных зондирований начинается с оценки числа выделяемых горизонтов.

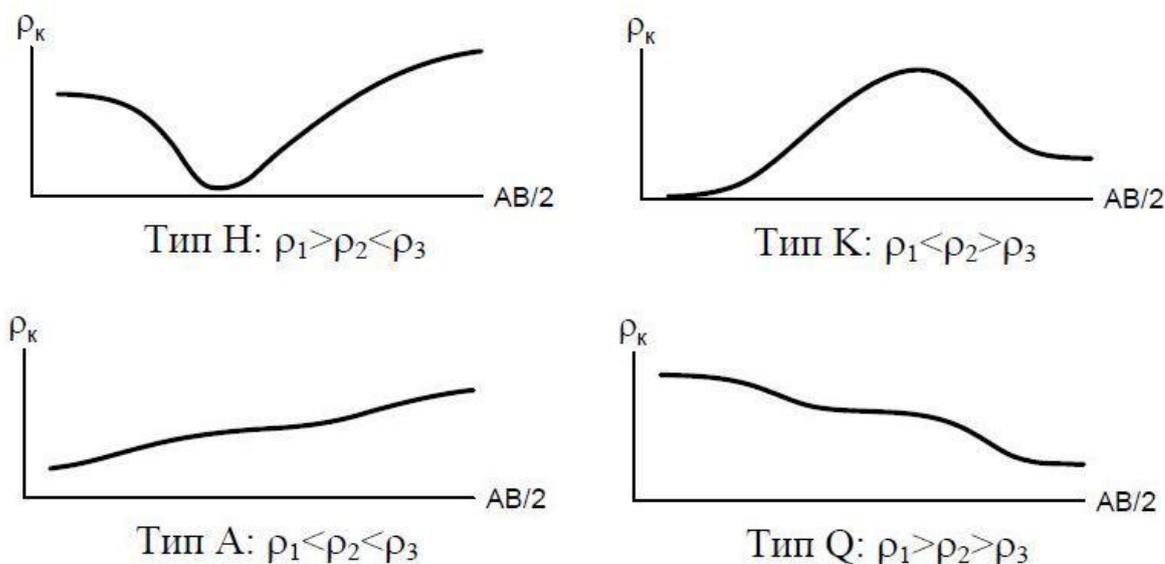


Рисунок 13 – Типы трехслойных кривых ВЭЗ

Кривым. принято давать буквенные обозначения (рисунок 18). По соотношениям сопротивлений в слоях сверху вниз трехслойные кривые делятся на следующие типы:

Н ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$); **А** ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$); **К** ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$); **Q** ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$)

Обозначение типа кривых ВЭЗ для многослойного разреза складывается из названий типов трехслойных кривых, которыми он может

быть представлен. Например, шестислойную кривую ВЭЗ с соотношениями сопротивлений $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5 < \rho_6$ называют кривой типа **НКQH**.

Сопоставляя электрические горизонты и геологические слои параметрических скважин, можно оценить общее строение геоэлектрического разреза. По картам типов кривых судят о его изменении в плане. С этой же целью по данным ВЭЗ строят вертикальные разрезы и корреляционные планы вертикальных разрезов для кажущегося удельного электрического сопротивлений ρ_k . Параллельность изолиний на разрезах и корреляционных планах разрезов свидетельствует о горизонтально-слоистом залегании пород, а изгибы указывают на зоны изменений геологического строения по простиранию.

При малоглубинных-электромагнитных зондированиях получаемые кривые часто осложнены неровностями рельефа и неоднородностью покровных образований по простиранию. Искажения за счет рельефа будут меньше, если разносы направлять вдоль- простирания вытянутых форм рельефа.

Интерпретация данных зондирований с помощью ЭВМ

Интерпретация данных электромагнитных зондирований с помощью ЭВМ известна свыше 25 лет, хотя ее внедрение, особенно для обработки материалов ВЭЗ, началось лишь в 80-е годы, когда был достигнут значительный прогресс в теории прямых и обратных задач ВЭЗ, разработке быстродействующих алгоритмов и совершенствовании самих ЭВМ. Преимуществами интерпретации материалов ВЭЗ на ЭВМ являются объективность и точность большая, чем при ручной интерпретации. Кроме того, устойчивость симметричной установки ВЭЗ к горизонтальным неоднородностям делает часто правомерным использование модели горизонтально-слоистой среды. Скорость работы современных программ интерпретации данных ВЭЗ составляет от нескольких секунд до нескольких минут на одну кривую. Погрешность интерпретации, оцениваемая по

средней квадратической погрешности расхождения полевой и теоретической кривых для найденной модели разреза, составляет при интерпретации с помощью ЭВМ несколько процентов. В то же время при палеточной интерпретаций она больше в 2 раза и более. Погрешности оценки параметров разреза, как правило, значительно выше погрешности совмещения кривых, и эта разница возрастает с увеличением последней.

3.2.2 Методика истолкования аномалии ЭП

Данные электромагнитного профилирования (ЭП), представленные в виде карт графиков (корреляционных планов), графиков и карт тех или иных наблюдаемых или расчетных параметров, несут в себе информацию о геоэлектрических неоднородностях вдоль профилей или по площади в определенном интервале глубин. Интерпретация данных профилирования в основном качественная, реже количественная.

Сущность качественной интерпретации данных электромагнитного профилирования сводится к визуальному (или с помощью вероятностно-статистических методов) выявлению аномалий, т.е. отклонений полученных параметров поля от первичного (нормального) или среднего (фонового) поля, и оценке природы аномалиесоздающих объектов. Интенсивность аномалий зависит от точности съемок, которую принято выражать через среднюю квадратическую σ или среднюю арифметическую ΔA погрешности:

$$\sigma = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - A_{ki})^2 / (2n - 1)}$$

$$\Delta A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - A_{ki})$$

где $\sigma \approx 1,25\Delta A$; A_i , A_{ki} , - амплитуды основного и контрольного параметров на i -й точке при общем числе контрольных точек n . При выделении аномалий используют следующее «правило трех σ и трех точек»:

аномалию считают достоверной, если ее интенсивность превосходит σ в 3 раза, а прослеживается она не менее чем на трех точках профиля.

После выявления положения аномалиесоздающих объектов на картах оценивают их геометрическую характеристику. Обычно форма и простирание аномалий соответствуют плановому положению объекта. Ширина l аномалий над тонкими ($l < h$) объектами зависит от глубины залегания их верхних кромок h , а над мощными ($l > h$) - от их ширины.

Количественная интерпретация данных электромагнитного профилирования сводится к определению (чаще оценке) формы, глубины, иногда размеров, физической и геологической природы аномалий. Она начинается с выбора физико-геологических моделей, которыми можно аппроксимировать разведываемые объекты. Простейшими из них являются контакты сред, мощные, ($l > h$) и тонкие ($l < h$) пласты, изометрические (шарообразные) и вытянутые (линзообразные, цилиндрические) объекты и др. Для таких моделей с помощью математического или физического моделирования решены прямые задачи и разработаны аналитические и графические способы решения обратных задач.

При физической интерпретации оценивают электромагнитные свойства аномалиесоздающих объектов. С учетом геологической ситуации ведут инженерно-геологическое и гидрогеологическое истолкование полученных результатов. В целом, если в результате электромагнитного профилирования выявлены интенсивные аномалии, то используют детерминированные подходы к их интерпретации, а если слабые, то применяют вероятностно-статистические приемы, которые служат лишь для оценки наличия и местоположения объектов, создающих аномалии.

3.2.3 Обработка результатов наблюдений БТ

Интерпретация МБТ заключается в анализе измеренных значений разности потенциалов. Если измеряемое значение превышает (по абсолютной величине) 0,040 В или наибольший размах колебаний измеряемой величины

(разность наибольшего и наименьшего значений) во времени превышает 0,040 В (в обоих случаях с учетом различия потенциалов между применяемыми электродами сравнения), то в данном пункте измерения регистрируют наличие блуждающих токов.

3.2.4 Обработка результатов РЛП

Обработка георадиолокационных исследований выполнялась с использованием программ GeoScan32 и ГЕРАДАР–ЭКСПЕРТ в соответствии с «Руководствами пользователя» по данным программам. В процессе первичного анализа данных проводились просмотр, редактирование данных, идентификация полезных и «неполезных» волн.

В программе GeoScan32 выполнялось корректировка положения трасс опорных точек относительно начала профиля - координаты X и изменение рельефа профиля - координаты Z . Значение высоты вводилось для отдельных трасс профиля. с последующим расчетом рельефа поверхности путем интерполяции сплайном координаты Z опорных точек.

Обработка радарограмм в обеих программах осуществлялась по следующей схеме:

- визуализация профиля (изменение раскраски профиля, регулировка яркости, контрастности и усиления);
- измерения скорости волн и действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости среды;
- с учетом геологических данных предварительный подбор усредненного значения диэлектрической проницаемости для разреза в целом с автоматическим пересчетом временной шкалы в глубинную;
- обработка данных (полосовая фильтрация с полосой пропускания 110-165 МГц, пространственная фильтрация с обостряющей маской фильтра, удаление тренда);
- сохранение результатов в графических форматах (*.png, *.bmp).

Выделение и определение размеров карстовой полости проводилось визуально по радарограммам в горизонтальном и вертикальном масштабах 1:20 по участкам трасс с низкой амплитудой полезного сигнала в программе GeoScan32.

В программе ГЕОРАДАР–ЭКСПЕРТ проводился автоматизированный анализ поля обратного рассеяния, с сохранением результата анализа с расширением *.efd. В результате анализа по наклону фрагмента дифрагированного отражения определялись скорость волны и действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости.

Для исключения возможных ошибок по пользовательским узловым точкам проводилась корректировка значений действительной части комплексной диэлектрической проницаемости по частотному атрибуту. Корректирующая функция аппроксимировалась кубическим сплайном.

На основе анализа поля обратного рассеяния выполнялось построение 2D разрезов действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости, а в пределах зон трещиноватости и динамических параметров среды - средней амплитуды и обострение сигнала дифрагированных волн поля обратного рассеяния;

Вставка 2D разрезов диэлектрической проницаемости в графическом формате (*.png) в AutoCAD, их оформление (шкалы глубин, проведение границ, выноска скважин и т.д.), построение физико-геологического разреза, сохранение файла в формате (*.dwg) и в графическом формате (*.pdf).

4. Специальное исследование

4.1 Электротомография при изучении мерзлотных процессов

В 2013 году сотрудниками Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья (ГПКК «КНИИГиМС») были проведены инженерно-геофизические изыскания в пределах Накынского кимберлитового поля (Западно-Якутская криолитозона) с целью картирования зон повышенной трещиноватости и возможных тектонических нарушений пород мархинской свиты в пологой эрозионной палеодолине, занимаемой маневровой емкостью.

При производстве работ был применен комплекс методов инженерной электроразведки и сейсморазведки: электротомографические зондирования со льда (электроды в воде) ВЭЗ-ВП и георадарное профилирование (GPR).

Данная глава написана по результатам этих исследований, а также с привлечением опубликованной литературы.

Мерзлотные процессы и явления

Для Западно-Якутской криолитозоны отмечается проявления следующих криогенных процессов:

- термокарст;
- морозное пучение грунтов - 10-15 %;
- морозное трещинообразование -4-6 %;
- морозное выветривание - 30-40%.

Два последних экзогенных криопроцесса взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Здесь акцентируемся на явлениях, могущих привести при съемке к ложным аномалиям на участке работ.

Термокарст образуется в связи с вытаяванием сильнольдистых отложений. Это явление сопровождается проседанием поверхности, возникновением отрицательных форм рельефа овальной формы и их

заболачиванием. Заболачивание характерно для правого борта долины на краю площадки исследований и на окраине водохранилища

Морозное трещинообразование связано с зимним растрескиванием пород в результате их морозного иссушения. Возникают тонкие трещины, проникающие на незначительную глубину. По трещинам в весенне-летнее время затекает вода, что приводит к образованию грунтовых клиньев.

Морозное выветривание пород интенсивно проявляется в слое годовых теплооборотов. Наибольшее значение морозное выветривание имеет на глинистых и песчаных породах нижней юры, где оно привело к формированию мощной коры криогенного выветривания (2-7 м), по строительным свойствам резко отличающейся от подстилающих коренных пород.

Поскольку незначительная глубина исследований характерна для георадарной техники, на волновых разрезах морозные клинья и выветривание могут проявиться локальными зонами дифрагированных волн.

Последние процессы приводят (в терминологии Рац М.В., Чернышева С.Н.) к наложению экзогенной трещиноватости на местные породы с тектонической и петрографической трещиноватостью.

Мерзлые породы относятся к несовершенным диэлектрикам (А.Д. Фролов, 1976 г). В Ботубинской экспедиции, исследовали их электрические и магнитные свойства при температуре минус 4 градуса Цельсия.

На постоянном токе предельные значения электросопротивлений вмещающих пород (олдонсинская свита) получены в диапазоне 1200-3900 Ом·м. УЭС покрывающих пород (нижнеюрские свиты) – 40-500 Ом·м, кимберлитов: 60-260 Ом·м. Значения электросопротивлений юрских трещиноватых песчаников и алевролитов – 50-500 Ом·м. УЭС глинистых алевролитов и аргелитов (то есть мергелей) – 20-50 Ом·м, палеозойских карбонатов) – 260-700 Ом·м (Стогний В.В., 2007 г).

Высокая поляризуемость пород коррелируется с высокой льдистостью и для местных горных пород ожидается в диапазоне 0,1-2,1% (курс Петрофизики В.М. Добрынина и др.).

Диэлектрическая проницаемость изучалась на частоте генерации - 625 кГц. Изучалась магнитная восприимчивость.

По этому, разброс УЭС местных пород внутри их диапазонных значений должен быть связан с состояниями пород: трещиноватостью, льдистостью; для обломочных грунтов – дополнительно с видом заполнителя порового пространства; для мерзлых состояний пород - нивелировка УЭС по известнякам и их разновидностям.

Этого диапазона УЭС местных пород будем придерживаться при инверсии собственных данных при построении электрофизических моделей.

В термокаротажных колонках пяти приурезных скважин 2008 года (по ближнему к дамбе контуру водохранилища) термограммы носят градиентальный характер на глубинах от 0 до 26 м.

Экспериментально установлено, что при долго существующих градиентах температур возникает водоперенос. Таким образом, по бортам водохранилища, температурные поля по приурезным скважинам, в 2008 г характеризовали массив как формирующий талик.

В результате проведения полевых работ авторы [11] пришли к выводу, что в местном карбонатном разрезе – основании, ведущая роль при разрушении пород принадлежала тектоногенезу и выщелачиванию (карстообразованию). Оба геологических процесса приводят к образованию систем трещин и каверн в известняках, в которых формируются пути или каналы фильтрации воды.

4.2 Методика и техника полевых работ

При картировании линейных зон трещиноватости, приуроченных к тектоническим нарушениям, обычно применяют комбинированное и дипольное профилирование в комплексе с магниторазведкой. Когда электрические параметры вмещающих пород и материала-заполнителя карста, близки по величине, и методы сопротивлений неприменимы, может быть использован метод вызванной поляризации (А.К. Манштейн, 2002).

Сложное геокриологическое и геотектоническое строение геологического разреза исключает возможность использования малозатратных геофизических методов, позволяющих при минимальном аппаратно-методическом и программно-интерпретационном обеспечении получать убедительные результаты (Рощинский Ю.П., 2006 г).

При исследованиях применялось следующее снаряжение и аппаратура: электроды стальные и латунные, катушки с проводами марки П-274 общей длиной 1200 м, электроразведочные станции ERA-MAX, десятиканальный томограф Омега-48 с комплектом электрокос, станция Лакколит-24 с комплектом сейсмокос на горизонтальных и вертикальных геофонах, георадар ОКО-2М с антенным блоком «Тритон» (частота 50 МГц).

Особенности электротомографии подо льдом

Все электроды AMN на электрокосах, в виде отрезков провода П-274, длиной 150 см, были размещены в водной среде ниже подошвы льда на глубине 1,25-1,30 м, или в абсолютных отметках - на уровне 206,00 м. Что означало хорошие условия заземления при генерации токов и снятии потенциалов с приемных диполей.

Аппаратно – программное обеспечение полевых измерений включает в себя: программу управления станцией Омега Коммандер с контролем переходных сопротивлений заземлений электродов, исправности электрокос, тестовую проверку станции, настройки рабочих параметров

выходного импульса (частота, время, амплитуда в вольтах и ток амперах). И подпрограмму предварительного обработчика и визуализации эюр напряжений и токов на приемных и токовых электродах (квадродиполях) TomoFusion.

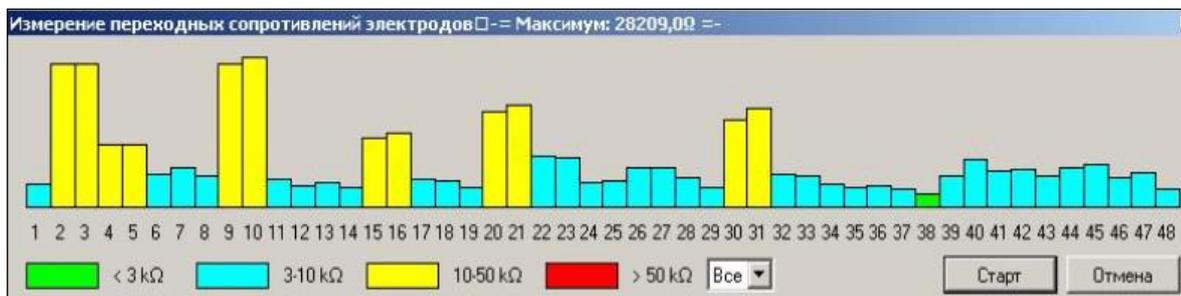


Рисунок 14 – Контроль переходных сопротивлений электродов. ПР04

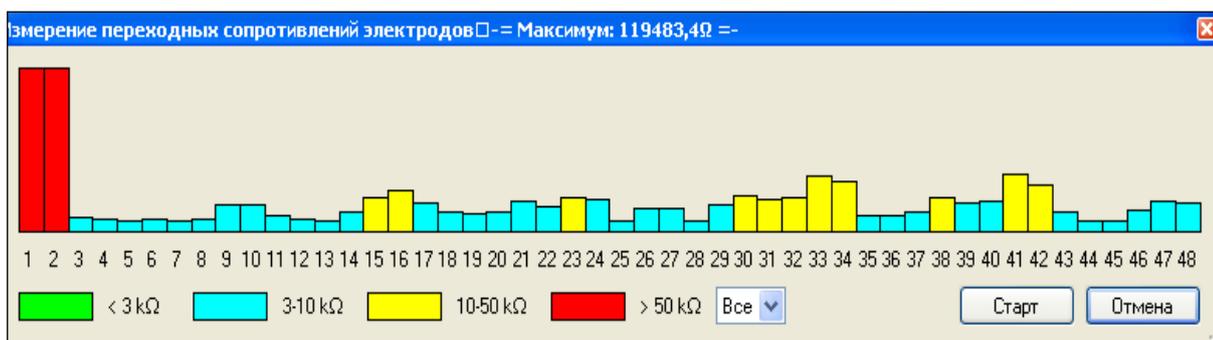


Рисунок 15 – Контроль переходных сопротивлений электродов. ПР03

Подпрограмма TomoFusion выполняет следующие функции:

1. Чтение данных из бинарного файла, созданного программой управления станцией. Визуализация записей сигналов в приемных линиях и тока в питающей линии.

2. Обработка данных:

- подавление квазипостоянной компоненты сигнала;
- подавление индукционных помех;
- подавление помех промышленных частот и высокочастотных помех;
- подавление случайного шума;

3. Вычисление значений ΔU пропускания и I .

4. Вычисление значений кажущейся поляризуемости- η_k . Выполняется путем вычисления отношения интеграла $\Delta U_{ВП}$ к интегралу $\Delta U_{пропускания}$. Времена интегрирования равны. Отступы от фронтов равны 16 мс.

$$\eta_k = \frac{\int_{t_2}^{t_2+\Delta t_{инт}} \Delta U_{ВП}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_1+\Delta t_{инт}} \Delta U_{Пропускания}(t) dt} \cdot 100\%$$

5. Вычисление временных характеристик поляризуемости, в форме определения значений η_k при разных временах задержки. Выполняется путем вычисления отношение значений интегралов $\Delta U_{ВП}$ по стробам к $\Delta U_{пропускания}$. Расчет выполняется на разных временах задержки, причем времена интегрирования равны. Количество отсчетов (стробов) равно 20. Отступы от фронтов равны 16 мс. Времена интегрирования определяются из длительности паузы между импульсами тока с учетом отступов.

$$\eta_{k\ i} = \frac{\int_{t_2+\Delta t_{инт} \cdot i}^{t_2+\Delta t_{инт} \cdot (i-1)} \Delta U_{ВП}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_1+\Delta t_{инт}} \Delta U_{Пропускания}(t) dt} \cdot 100\%$$

6. Оценка погрешности измерения $\eta_k, \Delta U, I$ и КЭС.

7. Сохранение результатов в форматах для дальнейшей визуализации и подготовки данных к инверсии.

В результате опытных работ по выбору параметров импульса на выходе генератора при профильных исследованиях принята следующая форма – симметричный прямоугольный меандр длительностью 800 мксек, напряжением 400 вольт, накопления-5, АРУ-включено: в режиме записи ВЭЗ-ВП установкой поль-диполь.

Два ледовых профиля длиной по 235 м (ПР03 и ПР04) отработаны установками Поль - Диполь и ПР04 дополнительно установкой Диполь-Диполь (для подсвечивания верхней части разреза).

Георадиолокационное профилирование

Непрерывное профилирование выполнялось георадаром ОКО-2М. Центральная частота антенного блока 50 МГц. Расстояние между приемной и генераторной антеннами фиксировано в 3,0 м. Исследования проводились при равномерном движении прибора с антенными блоками, в режиме накопления зондирующего сигнала с поверхности льда. Количество накоплений – 96. Шаги между трассами на временных разрезах составили 120 мм между посылами зондировочных импульсов. Время регистрации-1600 наносекунд .

4.3 Методика обработки и интерпретации результатов

- Выделение элементов дизъюнктивной тектоники, по результатам измерений искусственных геофизических полей традиционны.
- прослеживание линейных и цепочечных аномалий, линий прерывания корреляции полей и т. п.
- прослеживание маркирующих литофизических горизонтов, проявленных относительно узкими или своеобразными по конфигурации экстремальными зонами физического поля;
- выделение и прослеживание зон высокого горизонтального градиента, линий резкой смены характера физического поля, осей аномальных зон и линий нарушения корреляции элементов физического поля;
- разделение градиентных зон и зон нарушения корреляции на участки, предположительно обусловленные сменой состава пород, и зоны, обусловленные разрывными нарушениями;
- выделение предполагаемых тектонических блоков, зон разломов и пликтивных структур;
- выделение предполагаемых элементов глубинного строения (скрытых объектов, структур и т.п.);

- выделение участков и зон, расшифровка геологической природы которых нуждается в дополнительном геолого-геофизическом изучении.

4.3.1 Обработка данных электротомографии

Переход к эффективным электросопротивлениям горных пород и глубине разведки

Содержанием обработки как обычно являлись: режекция измерений, форматирование из бинарных файлов программы управления в текстовые файлы стоянок, конвектирование файлов для передачи на программы – обработчики и программу инверсии, различные виды фильтраций, в том числе удаление Р- и С-эффектов.

После режекции и удаления Р –эффектов полевой материал ПР03 в изображении линий равных АВ выглядит следующим образом.

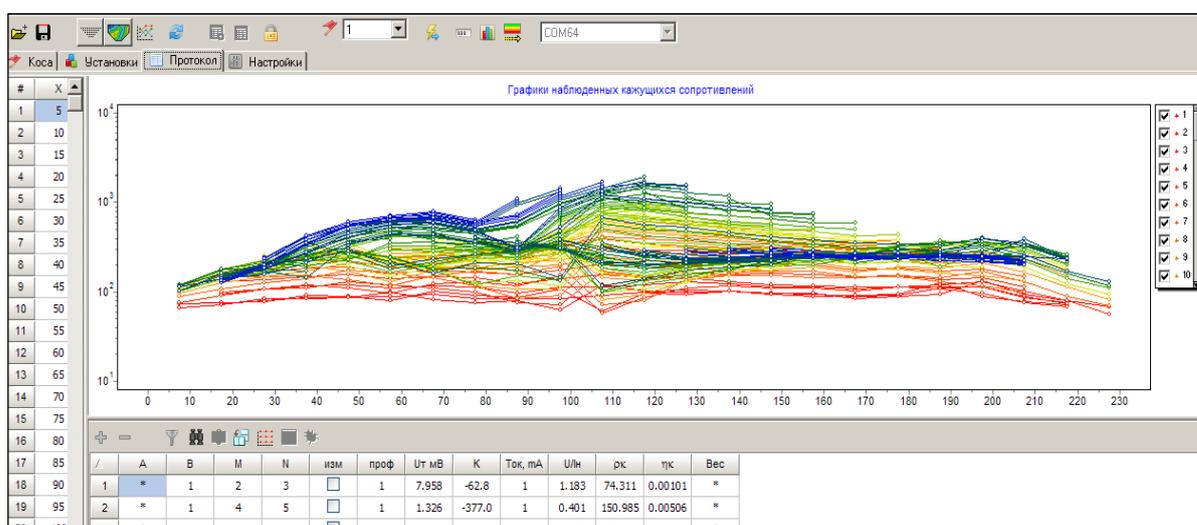


Рисунок 16 – Графики наблюдаемых кажущихся сопротивлений. ПР03

Распределение КЭС отражает известный факт, что в слоистом разрезе электромагнитные поля представляют собой достаточно гладкие функции.

При прохождении через скелет породы электрического тока нарушается ионное равновесие между фазами – равновесие двойных электрических слоев. В результате возникает ВП, то есть накопление

электрической энергии в слоях. Установление поляризации занимает некоторое время (заряд), затем после прекращения зарядного импульса поляризация начинает падать (Вахромеев Г.С.).

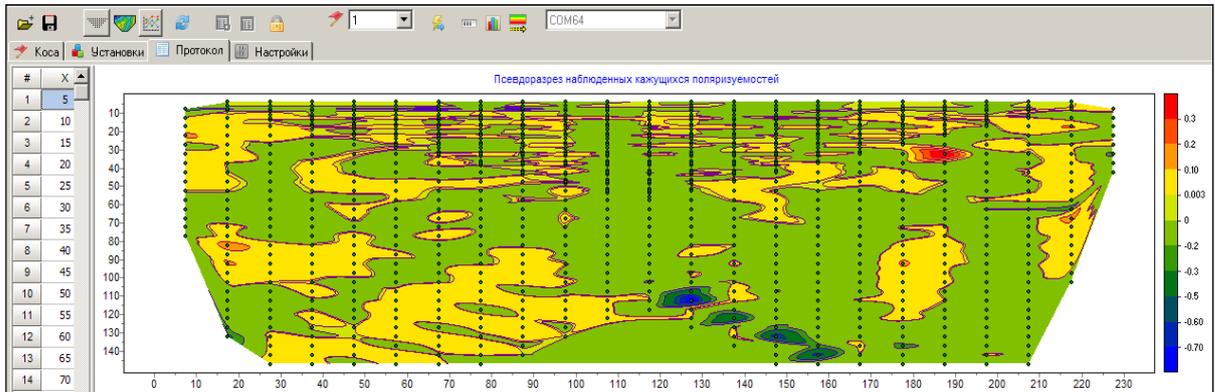


Рисунок 17 – Режим изображения полевых измерений по параметру ВП. ПР03

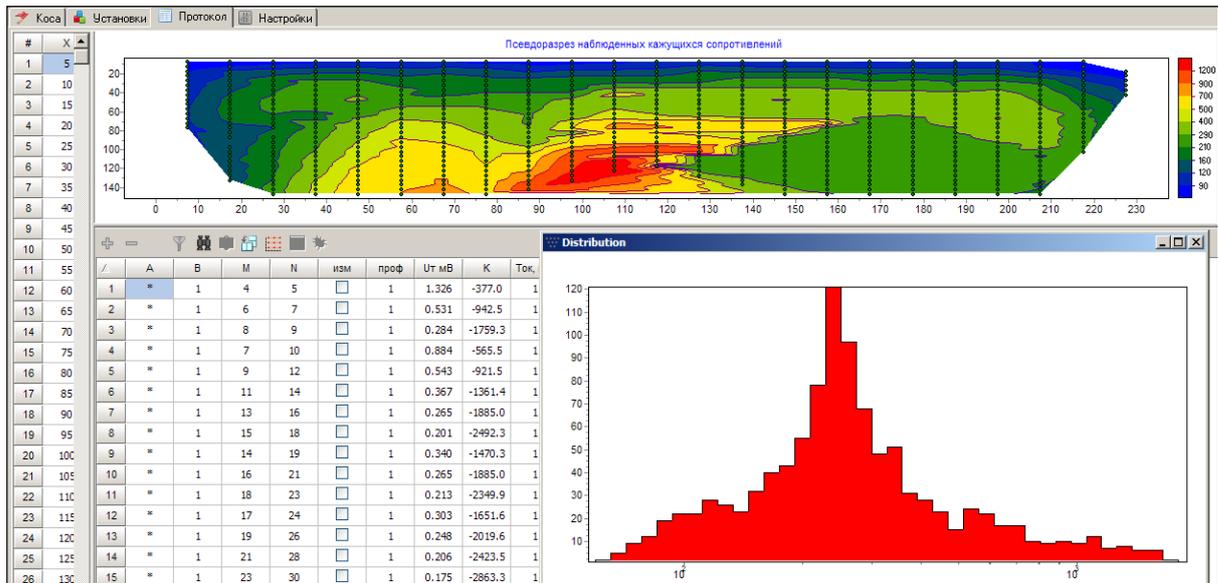


Рисунок 18 – Режим изображений КЭС с вариационным графиком. ПР03

Покажем решение обратной задачи в электрофизические модели по ледовым профилям в параметрах УЭС и ВП на примере ПР04.

Настроим сеточную модель верхней части разреза согласно скважинным данным. Водную линзу определим максимальной мощностью в 6 м и УЭС в 90-110 Ом·м, по данным собственных зондирований АМNB типа АА и НА. Переход от зондирований с бесконечностью к симметричным показан ниже.

Диапазон УЭС и ВП для решателя назначим в классе моделей от 40 до 3000 Ом·м и 2% ВП. Установим еще порядка 10 параметров решателя в согласии с геологическим смыслом.

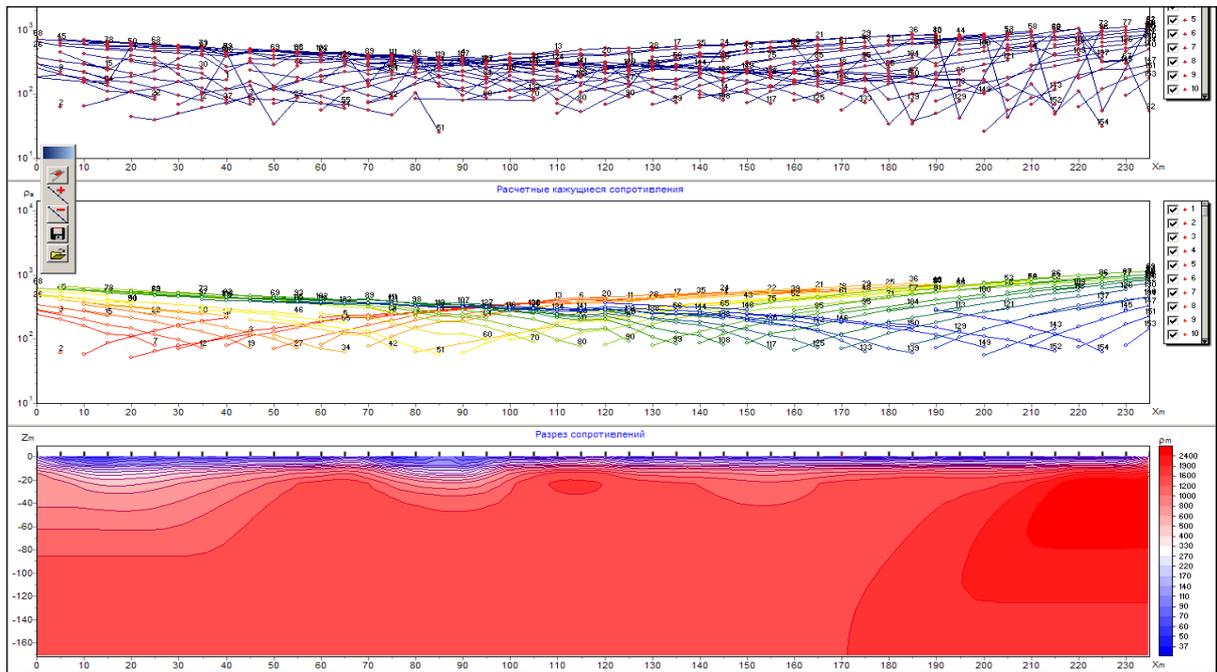


Рисунок 19 – Томографическое изображение дамбы по ПР04. Параметр УЭС

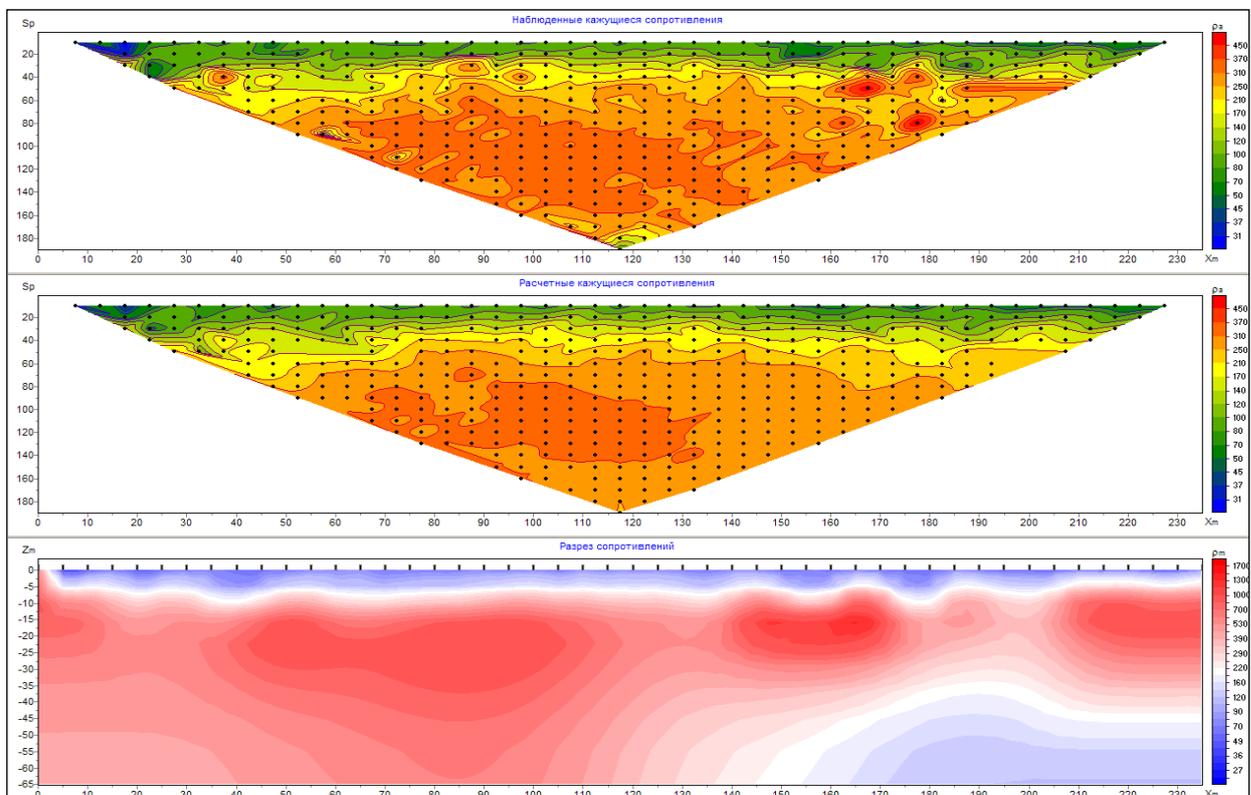


Рисунок 20 – Инверсии зондирований установкой диполь-диполь ПР04. Параметр

УЭС

Приведем данные по решению обратной задачи от установки диполь-диполь по ПР04.

Для оценки среднеквадратичного сопротивления нижнего полупространства, привлечем независимые измерения, проведенные томографией в средней части водохранилища. В свою очередь, инверсия КЭС проведена с опорой на диапазон УЭС местных пород, измеренных в петрофизической лаборатории Ботуобинской ГРЭ.

Для этого преобразуем полевые разрезы (прямой и обратный AMN+NMB) в симметричный AMNB, и обрабатываем ВЭЗ классическим способом, опираясь на мощности слоев по данным скважины С-4.

По скважине С-4 вскрыты: насыпной грунт мощностью 1,7 м, супесь твердомерзлая мощностью 3,5 м, щебень мергелей мощностью 12,9 м. Кровля известняков вскрыта на глубине 18,1 м. Добавим к слоям верхнюю водную линзу мощностью 6-7 м, в центре томографического профиля.

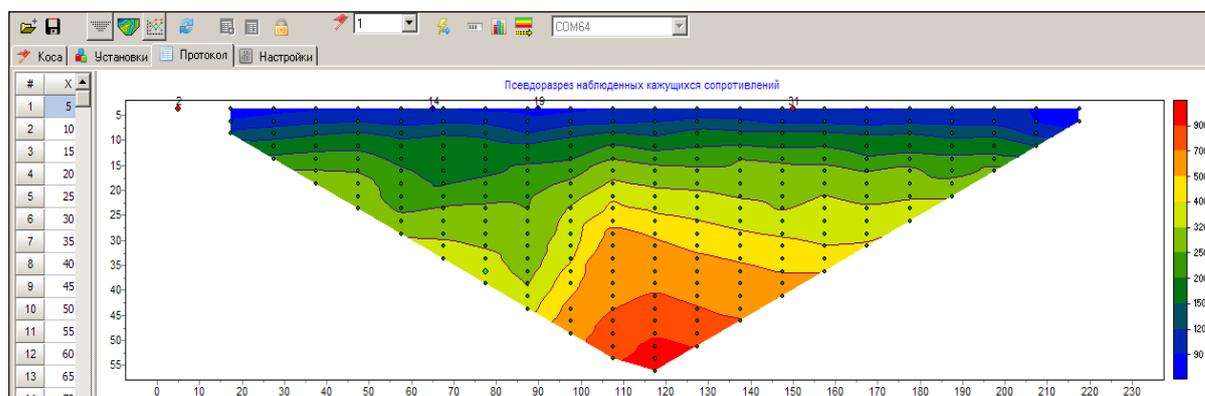


Рисунок 21 – Симметричный разрез AMNB. ПР03

4.3.2 Обработка и анализ материала волновых методик

Георадарное профилирование

В построениях радарных изображений геологической среды участвуют ПР01, 03, 05, 06, 07, 08, которые изучают строение первых 10 метров разреза.

Обработка волновых картин основана на идее, что отражающие границы и тела, проявляются как дифракторы (ПОР-поля обратного рассеивания в терминологии георадарной обработки) на разрезах (аналог D-преобразования в сейсморазведке). Дифракционные отражения обычно закрыты помехами (кратные, низкочастотные), поэтому анализ поля дифракторов проводится через специальные фильтры.

Затем подбирается функция - корректирующий 2D-фильтр в координатах частота-epsilon на основе регрессионного анализа и, строятся разрезы различных атрибутов волнового поля. Обработанные и подготовленные к интерпретации георадарные разрезы приведены в приложении 3.

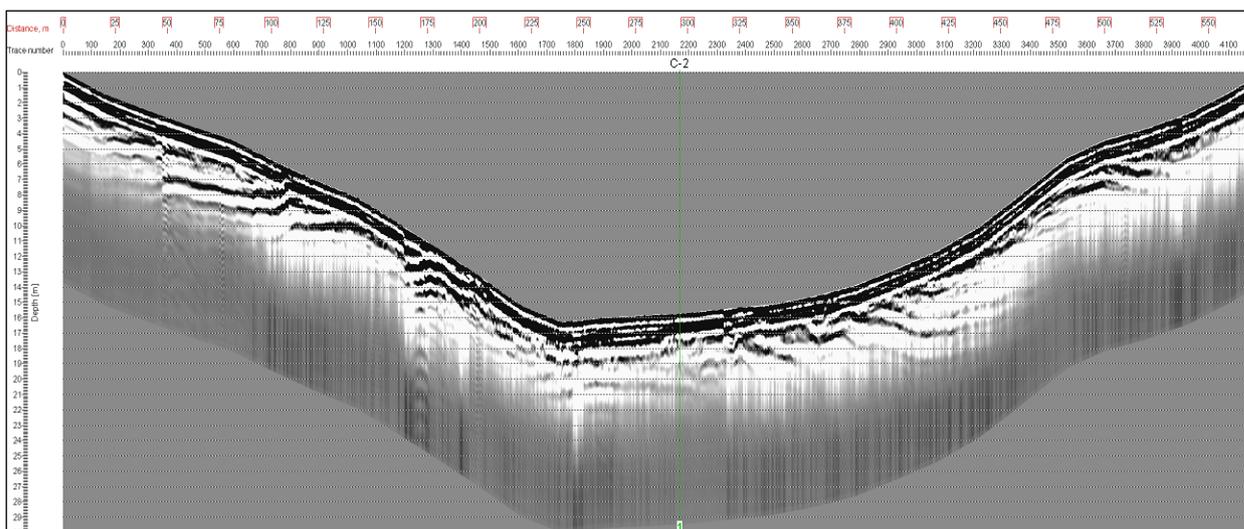


Рисунок 22 – Волновой георадарный разрез. ПР01

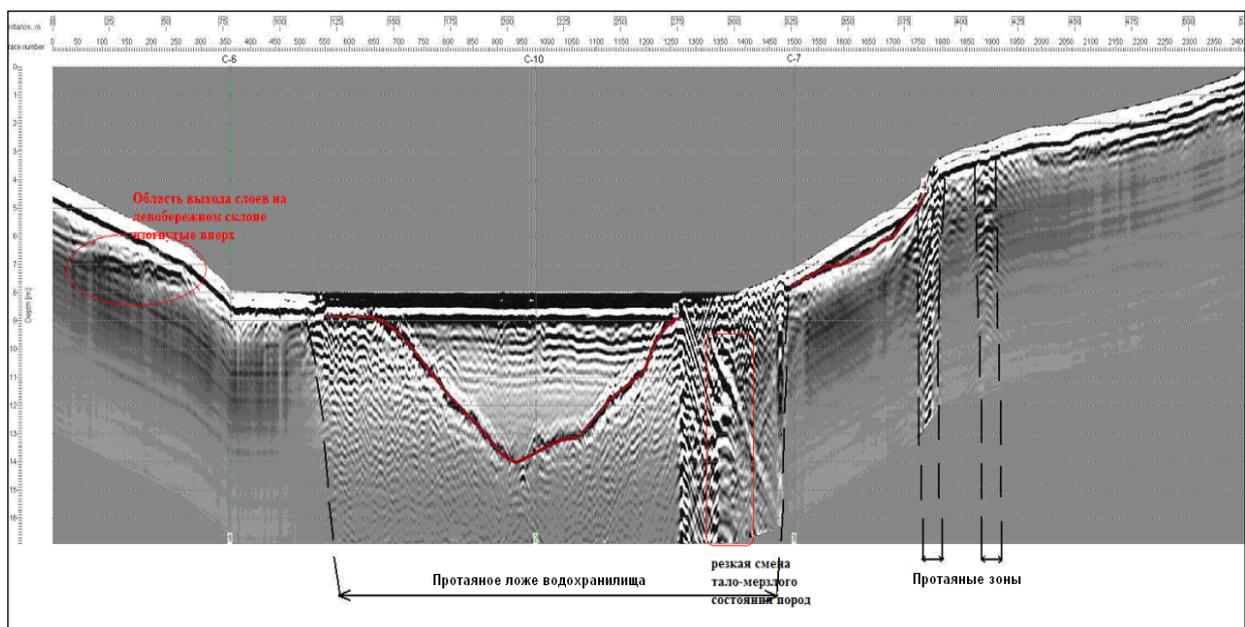


Рисунок 23 – Волновой георадарный разрез. ПР05

На георадарных разрезах хорошо прослеживается протаянное ложе водохранилища и отдельные области на правом склоне, связанные с сменой тало - мерзлого состояния пород. По данным термометрии скважины С-14 2013 г, на правом борту происходит градиентальный скачек температуры, в остальных скважинах (С-9,С-13) градиентальных изменений нет. Исходя из совместного анализа, следует, что есть протаивающий локальный участок правого борта долины.

Участок осей синфазности на левом склоне долины (прослеживается по трем радарным профилям), загнутый вверх при выходе на поверхность, характеризует поведение слоев как остатки прошлых тектонических подвижек. Загнутые вверх дифракторы по ПР01 на обоих бортах долины, ничем, как внедрением дайки или силла на глубоких горизонтах, не объяснить.

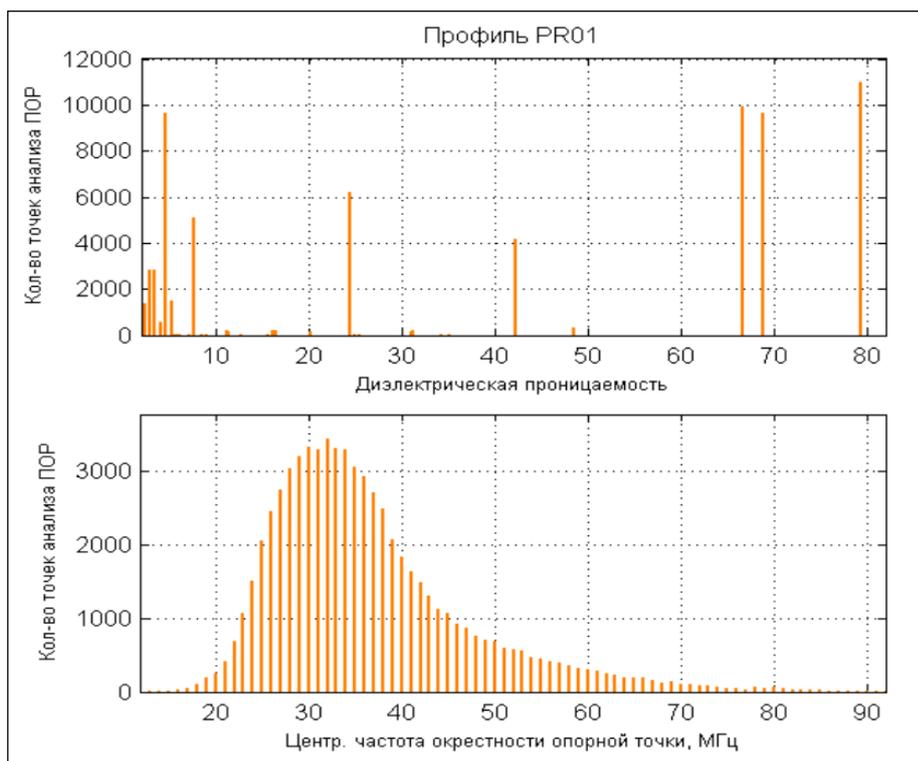


Рисунок 24 – Статистический анализ плотности распределения дифракторов от частоты. ПР01

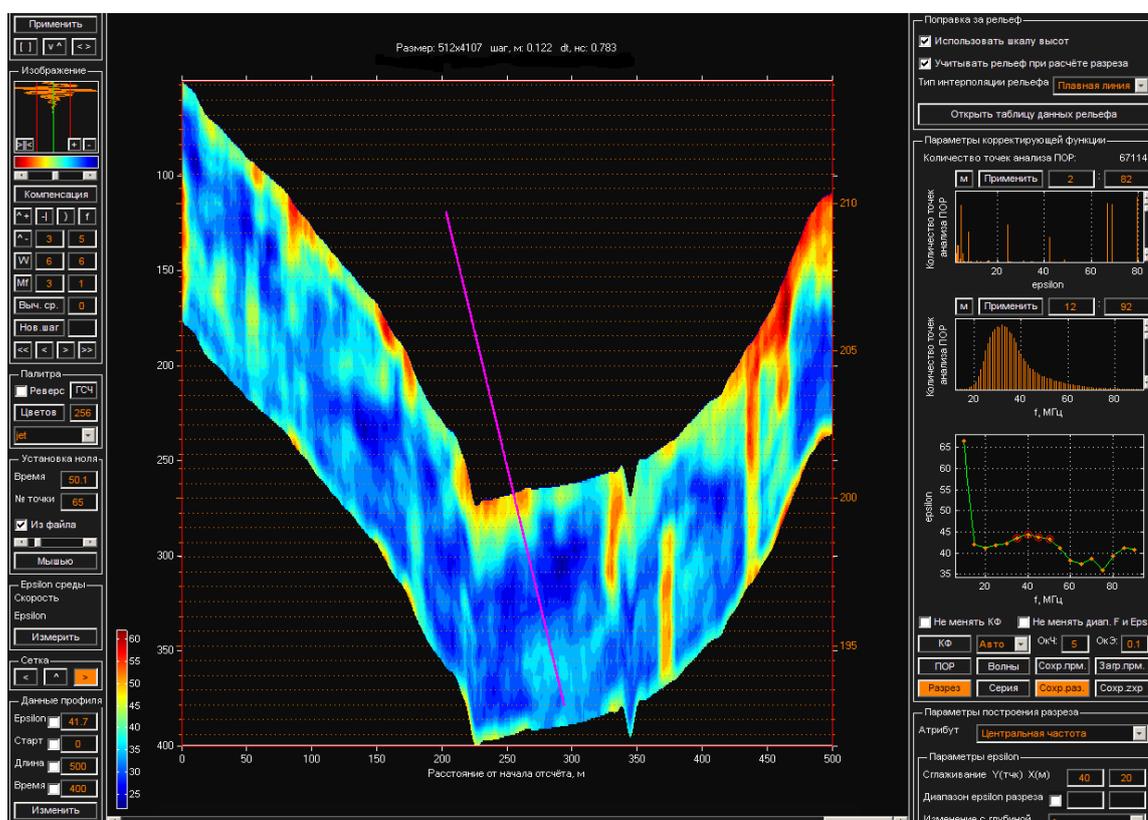


Рисунок 25 – Рабочая панель программы Георадар. Атрибут - центральная частота сигнала. ПР01

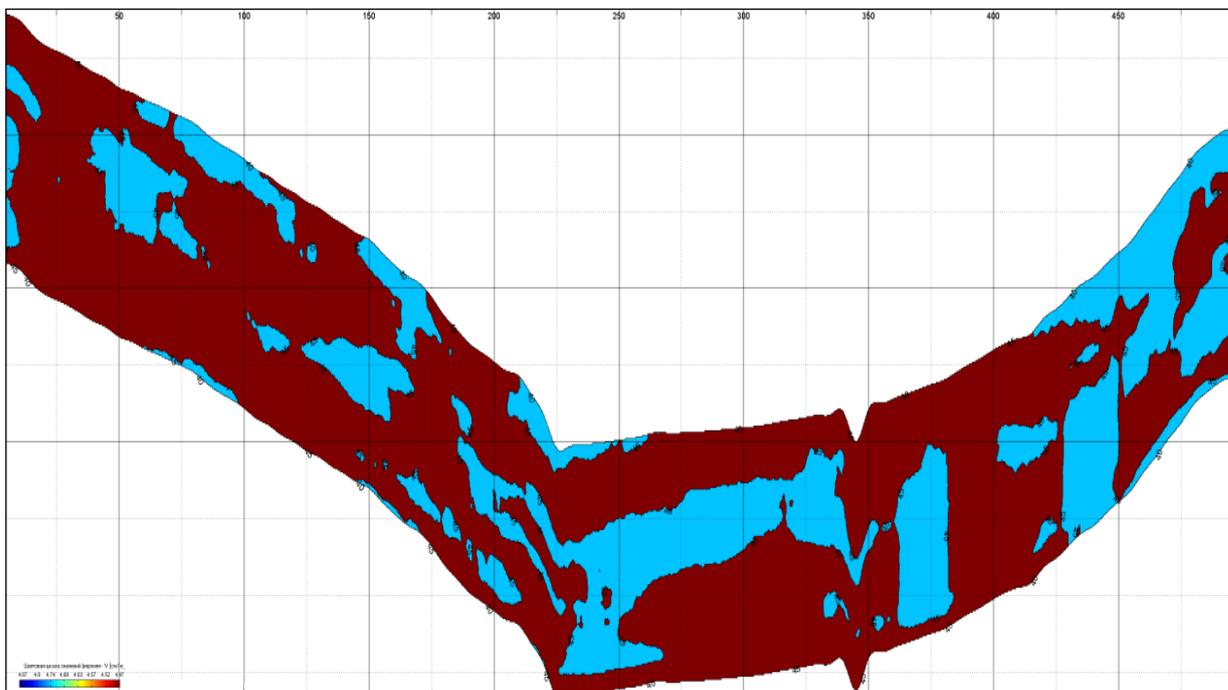


Рисунок 26 – Распределение диэлектрической проницаемости (ϵ) в разрезе.

ПР01

Атрибутов или трансформантов волновых полей может быть много (в программе возможен анализ 10 атрибутов) и не все они отражают геологический смысл.

Например, атрибут - амплитудный фактор, отражает наличие сильного сигнала в приповерхностном четвертичном слое и его мощность. Определение строения, более глубоких слоев по нему не возможно.

Распределение объемной влажности (льдистости) в разрезе представляет практический интерес. По нижнему бьёфу ПР01 его распределение выглядит в виде несообразных пятен повышенной льдистости: в основном концентрация в русле ручья и в верхах разреза.

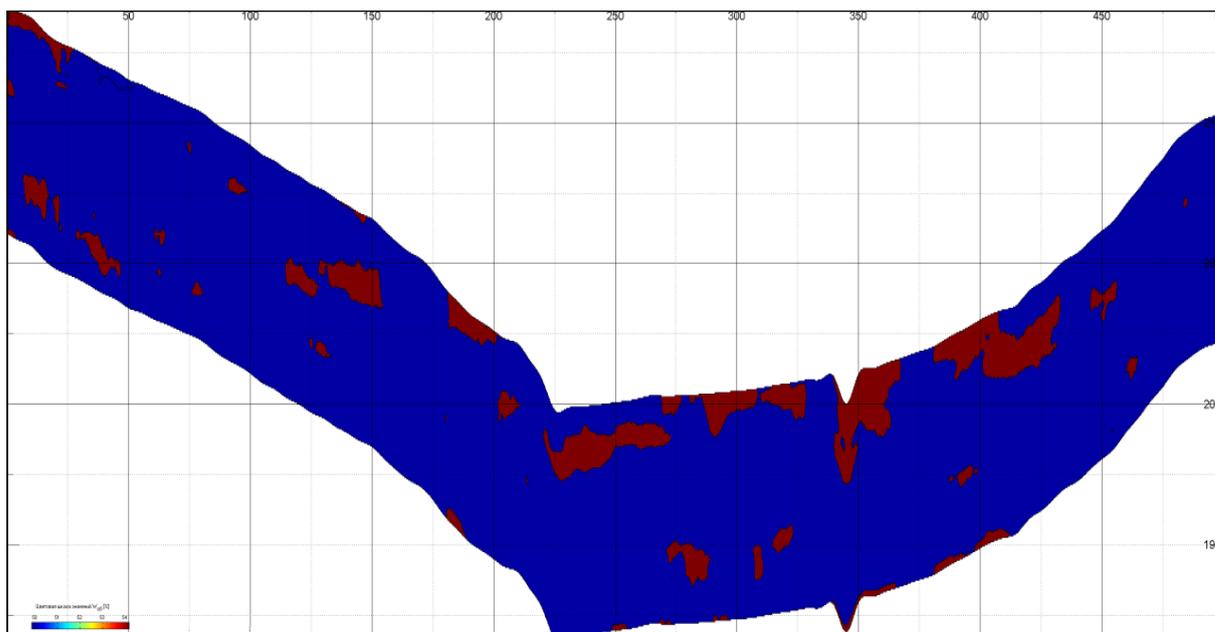


Рисунок 27 – Глубинный разрез объемной влажности (в %). ПР01

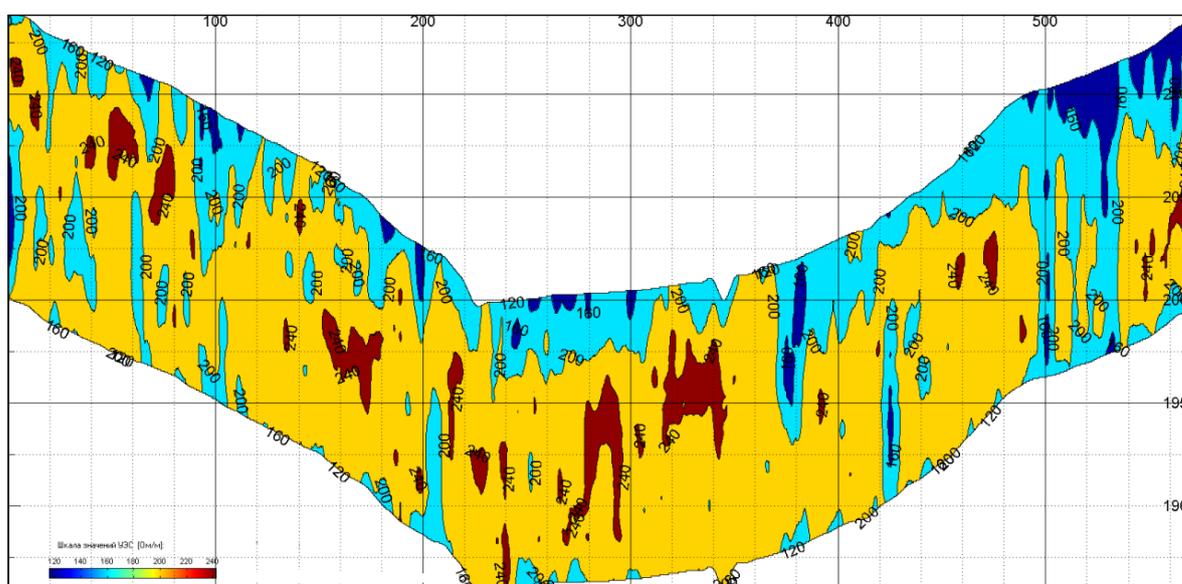


Рисунок 28 – Глубинный разрез атрибута эффективных электросопротивлений.
ПР01

Обратим атрибутное внимание на правый склон долины в месте перехода профиля через траншейный сброс: наиболее низкие электросопротивления в разрезе.

Поскольку поставлена определенная тектоническая задача, привлечем к интерпретации только те разрезы, которые должны отразить в физических полях зоны трещиноватости. Физически, с ними связаны:

диэлектрическая проницаемость пород и тесно связанная с ней природная влажность (льдиистость), их частотный отклик на импульсное воздействие, разрезы эффективных электросопротивлений.

Идентификационные признаки таких зон на атрибутивных разрезах - низкие значения электросопротивлений, пониженная диэлектрическая проницаемость, аномально высокое затухание электромагнитного импульса.

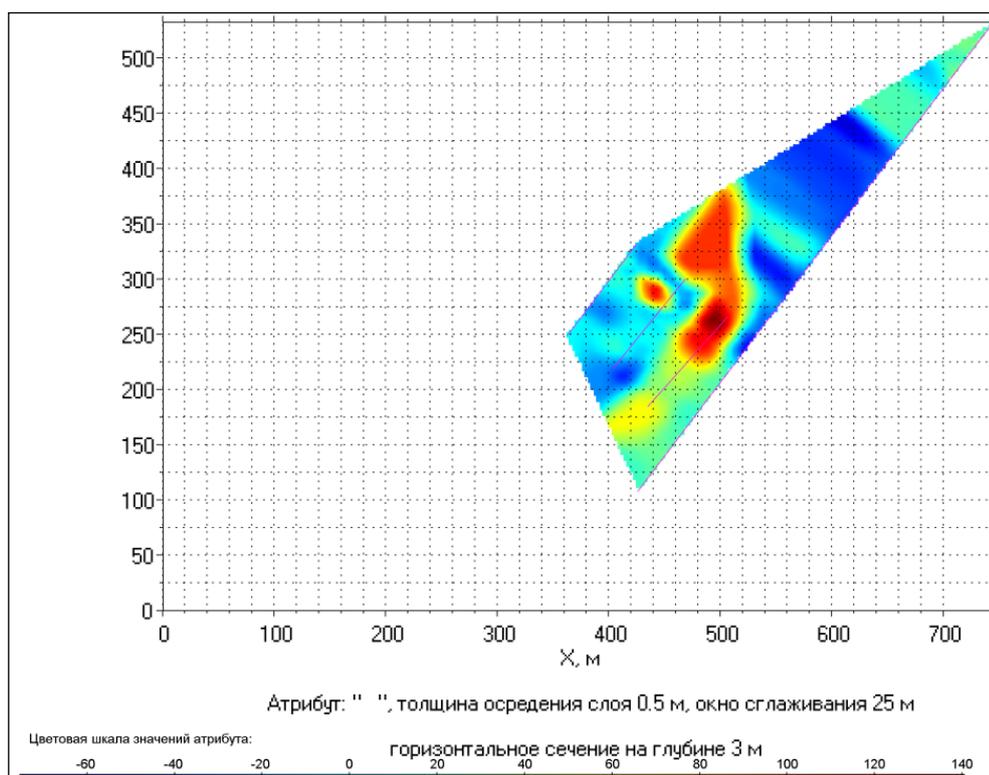


Рисунок 29 – Плановое положение яркого пятна по ϵ (линзы воды) на правом борту в месте законсервированного траншейного сброса на глубине 3 м (район скважины С-14)

На рисунке 34 представлена сборка - срез на глубине 3 м 4-х радарных профилей с атрибутом ϵ на месте законсервированного траншейного сброса, где скважиной С-14 вскрыта линза воды. Анализ по 4-м профилям показывает, линза воды локализована в одном месте, канализируется вверх по склону и не прослеживается соседними профилями. Срезы на глубинах 4 и более метров не выводят аномалию по диэлектрической проницаемости в глубину разреза. Интересно сравнить, проведенная термометрия скважины

С-14 выявила слабоположительную (в плюс 0,01 градусов Цельсия) температурную аномалию в грунтовом интервале 4-12 м.

Тем самым, подтверждается вывод предшественников об остаточном талике на правом борту долины, в виде локальной линзы воды.

Заключение

В данной работе был разработан проект по проведению электроразведочных работ в составе инженерно-геологических изысканий по обустройству Юрубчено-Тохомского месторождения, которые позволят более полно изучить криогенные физико-геологические процессы и явления, физико-механические свойства грунтов и, в конечном итоге, принять более обоснованные проектные решения. Период проведения работ запланирован на летний полевой сезон 2017 года.

Результатом проведенных работ на данной территории должны стать карты кажущегося УЭС, 2D разрезы диэлектрической проницаемости, карта наличия блуждающих токов, а также схема результатов комплексной интерпретации геофизических данных.

Проект дополняется расчетами экономической части (подсчет итоговой сметной стоимости работ). Также были рассмотрены условия и приведены нормы обеспечения безопасности на объекте, рекомендуемые в соответствии с государственными стандартами Российской Федерации.

В результате выполненной выпускной работы были изучены принципы проектирования наземных геофизических работ и, непосредственно, выбор самого комплекса для проведения данных работ, применяемые на сегодняшний день инженерами-геофизиками.

Список литературы

А. Опубликованная

1. Инструкция по электроразведке./М-во геологии СССР. - Л.: Недра 1984 352 с.
2. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (Физика горных пород): Учеб. Для вузов 2-е изд. перераб. и доп. Под редакцией Д.А. Кожевникова – М.: ФГУП Нефть и газ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004, 368 с. Ил.
3. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика.- М.: Недра 1989 252 с
4. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1980. – 446 с.
5. Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л. Электроразведка (5-е издание переработанное и дополненное).-М.: Недра 1988 395 с.
6. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах. Под ред. В. К.Хмелевского и В. М. Бондаренко. – М.: Недра, 1989.
7. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (Петрофизика). Справочник геофизика/Под редакцией Н.Б. Дортман, – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Недра 1984 455 с.
8. Инструкция по электроразведке. М. Недра.1984 г.
9. Интерпретация георадиолокационных данных. Старовойтов А.В. Изд. МГУ.2008 г.
10. Введение в георадиолокацию. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Изд. МГУ.2005 г.
11. «ГПКК «КНИИГиМС». Перевод буферной емкости в сооружение постоянной эксплуатации. Технический отчет по инженерно-геофизическим исследованиям. 2013 г.

Б. Нормативная

- 1) ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 2) ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

- 3) ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 4) ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 5) ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум.
Общие требования безопасности.
- 6) ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Оборудование производственное. Ограждения защитные.
- 7) ГОСТ 12.2.062-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Оборудование производственное. Ограждения защитные.
- 8) ГОСТ 12.4.125-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства
коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов.
Классификация.
- 9) ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 10) ОСПОРБ-99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной
безопасности.
- 11) ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни
напряжений прикосновения и токов.
- 12) СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату
производственных помещений.
- 13) СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и
нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным
машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 14) СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- 15) СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- 16) ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые
уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
- 17) Правила техники безопасности при геологоразведочных работах. М., Недра,
1979, 248с.
- 18) ГОСТ Р 2.2.2005-06. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей
среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
- 19) СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
- 20) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному,
искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

- 21) ГОСТ 17.4.3.04-85. ССБТ. Охрана природы. Почва. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
- 22) ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения.
- 23) НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 24) ПУЭ Правила устройства электроустановок. 7-е изд. с изм. и дополн. – Новос.: Сибирс. универ. изд-во, 2006. – 512 с.
- 25) ПТБ-88. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах.
- 26) Правила безопасности при геологоразведочных работах ПБ 08-37-93.
- 27) РСН 64 – 87 – Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка.
- 28) СП 11-105-97 Часть II - Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.
- 29) СП 11-105-97 Часть IV - Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. От 1 января 2000 г.
- 30) ГОСТ 9.602-2005 от 1 января 2007г.- Общие требования к защите от коррозии и старения.
- 31) СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. Госстрой СССР, 2004 г.