

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

Кафедра геофизики

**Особенности криогенных оползней скольжения по данным
электротомографии на Харасавэйском ГКМ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 261 группы

геологического факультета

направление 05.04.01 «Геология»

Профиль «Геофизика при поисках нефтегазовых месторождений»

Личманова Святослава Михайловича

Научный руководитель

к.г.-м.н., доцент

дата, подпись

В.Ю. Шигаев

Заведующий кафедрой

к. г.- м.н., доцент

дата, подпись

Е.Н. Волкова

Саратов 2024

Введение. Харасавэйское газоконденсатное месторождение (ГКМ) представляет собой уникальный объект, где исследователям приходится сталкиваться со сложными гидрогеологическими, климатическими, инженерно-геологическими условиями. Так на месторождении развиты многочисленные опасные инженерно-геологические процессы, осложняющие его безопасное освоение. Опасным типом неустойчивости считаются, например, и участки развития криогенных оползней скольжения (КОС), которые поражают природно-территориальные комплексы изучаемой территории, причем наиболее сильно на вогнутых склонах.

КОС осложняют и без того не простые условия строительства объектов нефтегазовой инфраструктуры в криолитозоне. Об этом говорят результаты многочисленных исследований А.А. Огильви, Г.Г. Васильева, А.Е. Скапинцева, А.П. Попова, F. Wang, G. Li, S.A.Wilkie, R.M. Doblanko, S.J.Fladage и других отечественных и зарубежных специалистов. Поэтому своевременное выявление КОС, мониторинг их устойчивости, особенно при техногенном воздействии, является важной и актуальной задачей.

Актуальность темы исследований определяется необходимостью картирования КОС с высокой степенью достоверности и возросшими возможностями его проведения современными электроразведочными методами, в частности методом электротомографии (ЭТ).

Материалы, положенные в основу данной работы получены автором самостоятельно в ходе прохождения профильной производственной практики в компании ООО «Газпром проектирование» на Харасавэйском ГКМ, которое является основным **объектом** исследования.

Целью данной работы является изучение криогенных оползней скольжения (КОС) методом электротомографии и анализ особенностей их проявления на Харасавэйском месторождении.

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

1. Изучить геологические, гидрогеологические и криогенные условия Харасавэйского ГКМ, влияющие на формирование и строение КОС.

2. Изучить теоретические основы, преимущества и ограничения метода ЭТ, а также методику проведения полевых работ и программное обеспечение для обработки и интерпретации полевых материалов ЭТ, полученных на месторождении.

3. Привести результаты исследований в виде геоэлектрических разрезов и схематического отображения зон предполагаемого развития КОС на трех отработанных участках.

Автор благодарен ведущим инженерам отдела комплексных инженерных изысканий ООО «Газпром проектирование» А.С. Шабалину и А.Г. Власенко за неоценимую помощь при сборе материала для написания работы.

Работа состоит из введения, трех разделов, таких как, краткая характеристика района, электротомография: физико-геологические основы, методика полевых работ, аппаратура и оборудование, программы для интерпретации и результаты исследования, а также заключения и списка литературы, включающего 20 наименований. Объем работы составляет 56 страниц, включая 2 таблицы и 26 рисунков.

Основное содержание работы. Раздел 1. Краткая характеристика района. Харасавэйское газоконденсатное месторождение (ХГКМ) находится на западном побережье Северного Ямала в подзоне типичных субарктических (северных) тундр, севернее от Полярного круга (**подраздел 1.1**).

Наибольший интерес в геологическом строении месторождения представляют гидрогеологические особенности изучаемой территории и их связь с криогенными процессами, которые непосредственно влияют на формирование оползневых тел (**подраздел 1.2**). Известно, что на территории исследования четко фиксируются четыре морские террасы позднеплейстоценового и голоценового возраста. Усилиями А.В. Баранской, А.А. Губарькова, В.Д. Ломтадзе и др. установлено, что развитие криогенных процессов на полуострове Ямал во многом зависит от наличия в криолитозоне

сильнольдистых пород, залегающих ниже криогенного водоупоров в подошве сезонно-талого слоя. При этом в качестве поверхности скольжения здесь выступают льдистые осадки суглинистого состава, подстилающие оползающие сезонно-протаявшие грунты с крутизной склонов выше 19°.

Необходимость детального изучения ХГКМ по степени проявления криогенного оползания связана с выстраиванием разных типов подземных льдов на фоне роста окружающей температуры до -6,0° С (**подраздел 1.3**). Повышение температуры влияет на глубину распространения сезонноталого слоя грунтов, которая варьируется от 0,3 до 1,4 м, а внутригрунтовые льды, залегая близко к поверхности, интенсивно ускоряют криогенное оползание.

Раздел 2. Электротомография: физико-геологические основы, методика полевых работ, аппаратура и оборудование, программы для интерпретации. Изучение оползневых явлений является одной из сложных категорий инженерно-геологических исследований. В связи с этим вполне объяснимо привлечение для этого передовых электроразведочных методов, в частности метода электротомографии (ЭТ). Уникальность ЭТ, по мнению А.А. Горбунова И.Н. Модина, В.А. Шевнина и др., заключается в многократном использовании в качестве питающих и измерительных одних и тех же электродов, фиксированных в точках наблюдения. Этот подход позволяет изучать геологические среды, отличающиеся от «классических» горизонтально-слоистых (**подраздел 2.1**).

В методе ЭТ применяются многоэлектродные электроразведочные косы с набором электродов, как правило, от 48 до 96 штук. Каждый электрод используется и как приемный, и как питающий, что дает возможность провести комплекс электроразведочных измерений по профилю, установив и подключив электроды один раз. Оптимальной для полевых работ является комбинированная трёхэлектродная установка, которая имеет максимальную глубинность и высокое разрешение за счет использования прямой (AMN) и встречной (MNB) конфигурации электродов. При этом обеспечивается

повышенное количество измерений, в 3 раза больше, чем в установках Шлюмберже, Веннера, дипольно-осевой.

В качестве объектов изучения методом ЭТ выбраны криогенные оползни скольжения (КОС) №№ 50, 51, 60, изображенные на рисунке 1, как наиболее типичные для криолитозоны ХГКМ (**подраздел 2.2**).



Условные обозначения
60 номер КОС
▾ обозначение КОС
□ участок проведения электротомографических работ

Рисунок 1 – Спутниковый снимок участка исследований

На каждом КОС отработано по три профиля, два из которых были проложены в крест протирания, один вдоль по направлению развития оползня, общая протяженность профилей всех участков составила 1224 м. Общее количество пикетов ЭТ – 11. Шаг электродов с общим количеством от 48 до 54 на всех профилях ЭТ составил 2 м. Длина профилей подбиралась исходя из программы работ и формы рельефа.

В поле использовалась электротомографическая станция «SYSCAL Pro Switch-72» производства IRIS Instruments (Франция) с коммутатором Pro Switch-72. Аппаратура позволяет делать одновременно 10 замеров и выполняет коммутирование автоматически.

Обработка и интерпретация полевых материалов ЭТ проводилась с использованием специальных компьютерных программ x2ipr, RES2DINV (**подраздел 2.3**). Они позволяют: изучить литологический состав верхней части инженерно-геологического разреза; расчленить разрез на слои различного литолого-петрографического состава; определить в плане и разрезе положение границ мерзлых и не мерзлых пород; определить удельное электрическое сопротивление (УЭС) грунта.

Раздел 3. Результаты исследований. Для отображения информации на геоэлектрических разрезах использованы условные обозначения, показанные на рисунке 2.

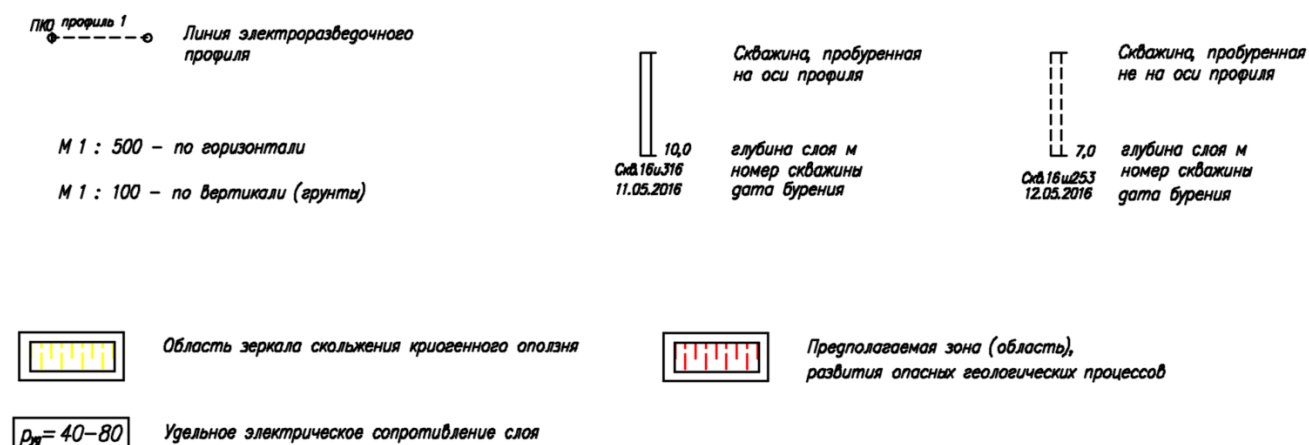


Рисунок 2 – Условные обозначения на геоэлектрических разрезах

Для примера рассмотрим результаты обработки и интерпретации полевых данных ЭТ на участке КОС 60. Геоэлектрические разрезы по трем профилям на этом участке являются типичными для всей площади исследований. Основной информацией на разрезах являются предполагаемая зона развития КОС и зеркало скольжения оползня.

Так на разрезе по профилю 1 (расположен перпендикулярно направлению развития оползня) в верхней части выделяется низкоомный слой, изображенный на рисунке 3, который является предполагаемой зоной развития КОС мощностью до 1 м (отмечена красной штриховкой), с УЭС 25-70 Ом*м. Предположительно, данный слой сложен слабо льдистыми суглинками.

Критерием для выделения зоны являются углы залегания отложений в 29-30°, которые указывают на низкую устойчивости склона. Ниже этого слоя, ближе к западной части профиля, предположительно залегает слой мерзлых льдистых глин, мощностью не менее 9 м, с УЭС 2900-4500 Ом*м.

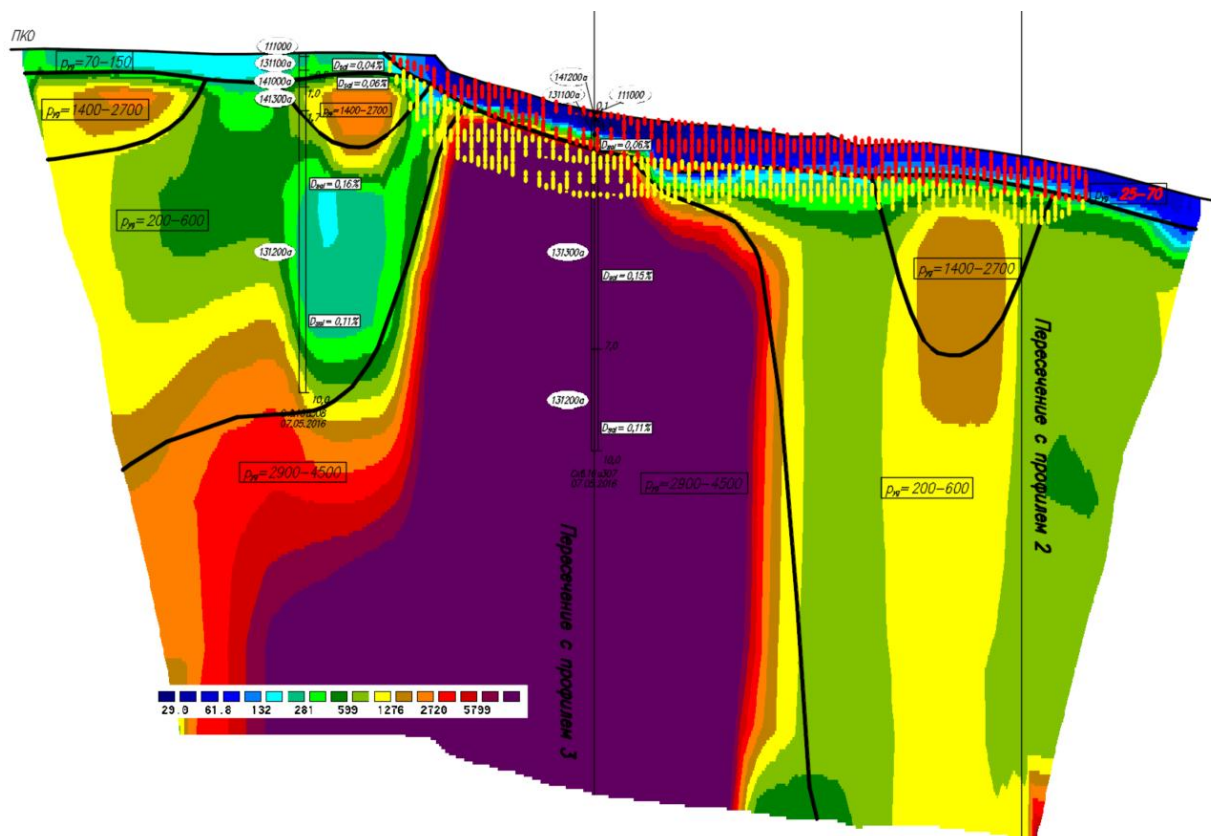


Рисунок 3 – Геоэлектрический разрез по профилю 1 КОС 60
Условные обозначения см. рисунок 2

Этот слой формирует поверхность скольжения (отмечена желтой штриховкой) для вышележащего слоя. В восточной части разреза на глубинах от 1 до 5 м залегает высокоомный слой с УЭС порядка 1400-1700 Ом*м, который так же может быть сложен мерзлыми льдистыми глинами и будет служить зеркалом скольжения (отмечено желтой штриховкой) для вышележащего слоя. Наличие высокоомных зон в разрезе, сложенных предположительно мерзлыми глинами, важно учитывать при проектировании инженерных сооружений.

Интересно, что все предположения о литологии пород, высказанные в ходе интерпретации полевых материалов, были в дальнейшем подтверждены результатами анализа кернового материала скважин 16и307и 16и308.

На геоэлектрическом разрезе по профилю 2 (расположен вдоль направления развития КОС), в южной части выделяется предположительная зона развития КОС (отмечена красной штриховкой). Поверхностный слой, изображенный на рисунке 4, с большой вероятностью, состоит из слабодистых суглинков с незначительной степенью засоления, с УЭС 25-70 Ом*м.

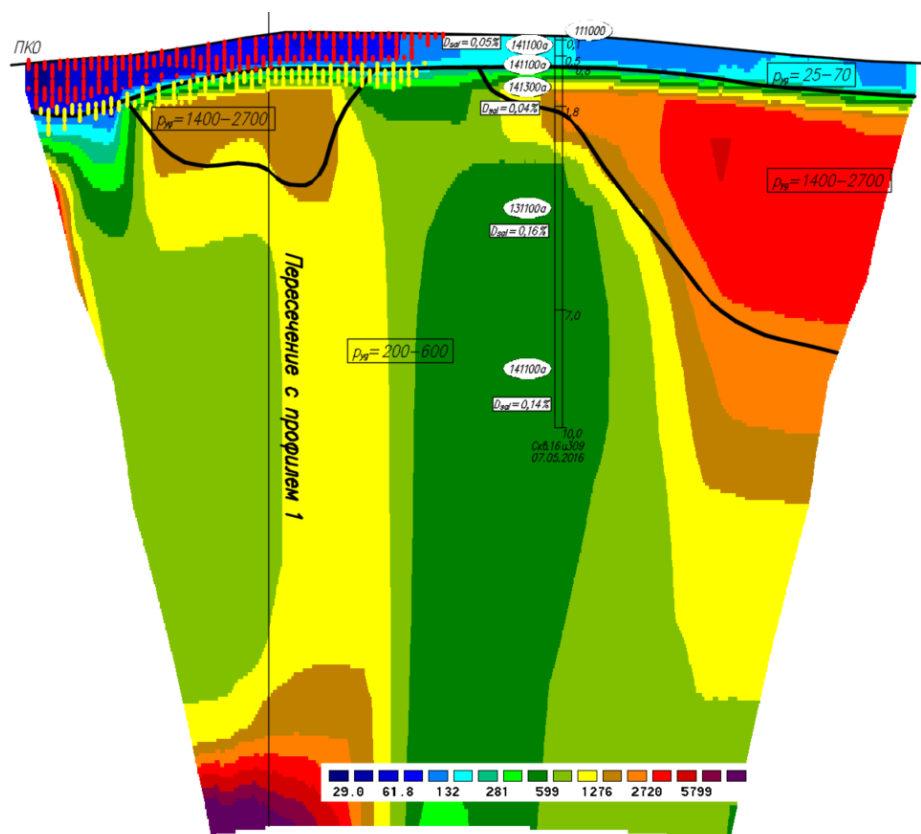


Рисунок 4 – Геоэлектрический разрез по профилю 2 КОС 60
Условные обозначения см. рисунок 2

Критерием для выделения зоны являются углы залегания отложений порядка 19° , которые указывают на низкую устойчивости склона. Ниже предположительно залегают более мерзлые суглинки, которые в случае оттайки верхних слоев могут послужить для них зеркалом скольжения (отмечено желтой штриховкой). УЭС слоя составляет 1400-2700 Ом*м. В северной окраинной части профиля на глубинах от 1 до 7 м выделен высокоомный слой с УЭС 1400-2700 Ом*м. Вполне вероятно, что этот слой сложен сильнольдитыми мерзлыми глинами, наличие которых в разрезе важно учитывать при проектировании инженерных сооружений.

Предположения о литологии пород, высказанные в ходе интерпретации полевых материалов, были в дальнейшем подтверждены результатами анализа кернового материала скважины 16и309.

На геоэлектрическом разрезе по профилю 3 (расположен вдоль направления развития КОС) выделен приповерхностный слой, изображенный на рисунке 5, с глубиной залегания до 2 м от поверхности, предположительно сложенный слабо льдистыми суглинками с УЭС 25-70 Ом*м.

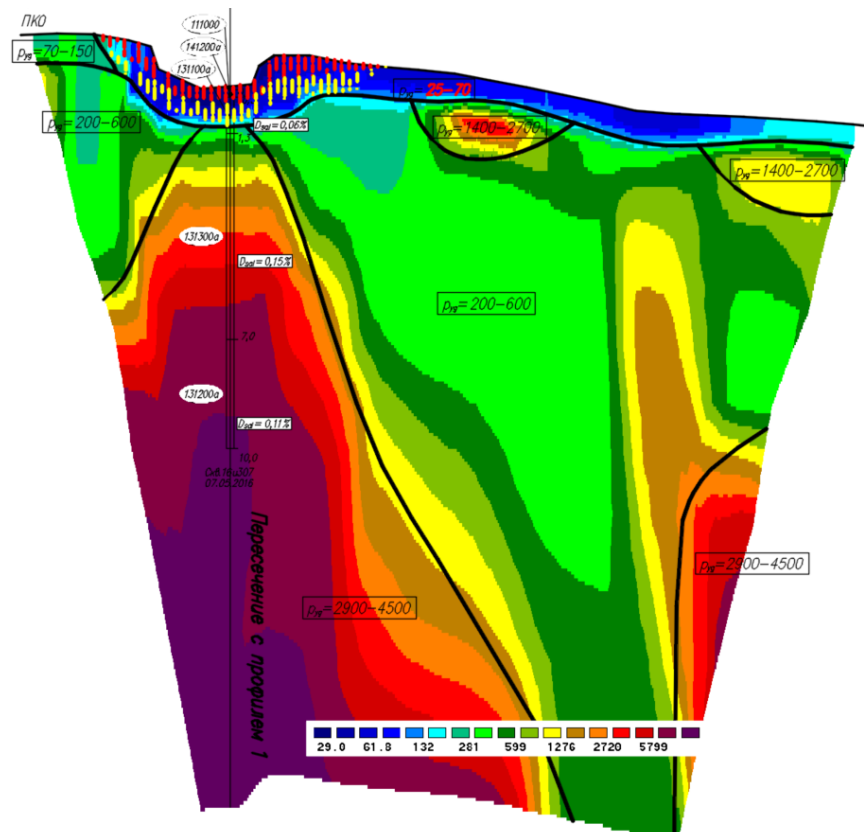


Рисунок 5 – Геоэлектрический разрез по профилю 3 КОС 60

Условные обозначения см. рисунок 2

Критерием для выделения этой зоны являются углы залегания отложений порядка 35-36°, которые указывают на низкую устойчивости склона. Нижележащий слой, в южной части профиля, могут слагать мерзлые льдистые глины, с УЭС 200-600 Ом*м. Они могут служить зеркалом скольжения (отмечено желтой штриховкой) для вышележащего слоя.

Кроме того, на разрезе выделяется несколько высокоомных зон. Две локальные зоны в приповерхностной центральной и северной части профиля,

на глубинах от 1 до 3 м, с УЭС 1400-2700 Ом*м, а так же в северной окраине профиля, на глубинах от 8 до 13 м с УЭС 2900-4500 Ом*м.

В южной оконечности профиля на глубинах от 2 до 20 м имеется участок сложенный сильно льдистыми мерзлыми глинами с УЭС 2900-4500 Ом*м, наличие которого также важно учитывать при проектировании инженерных сооружений.

Предположения о литологии пород, высказанные в ходе интерпретации полевых материалов, были в дальнейшем подтверждены результатами анализа кернового материала скважины 16и307.

На геоэлектрических разрезах пределах КОС №№ 50, 51 также выделены основные элементы, характерные для процесса оползнеобразования. Их характеристики во многом схожи с характеристиками соответствующих зон на КОС № 60. Так УЭС предполагаемой зоны развития КОС № 50 изменяется в пределах 5-150 Ом*м с углами залегания отложений порядка 19-32°. Зеркло скольжения имеет УЭС 40-80 Ом*м. УЭС предполагаемой зоны развития КОС № 51 изменяется в пределах 10-130 Ом*м с углами залегания отложений порядка 19-36°. Зеркло скольжения имеет УЭС 400-1900 Ом*м.

Таким образом, на разрезах выделяются две области с характерными геоэлектрическими свойствами: предполагаемая зона развития КОС (указывает направление развития возможных оползневых процессов) и зеркало скольжения оползня (позволяет определить объём и форму оползневого тела).

Полученные материалы позволяют определить возможную площадь распространения КОС на объектах №№ 50, 51, 60. Например, площадь предполагаемой зоны КОС на участке № 60 северо-западного простирания, занимает около половины исследуемого участка и приблизительно равна 7,2 км². Сравнительный анализ выделенных областей распространения КОС на всех объектах, показывает, что на участках 51 и 60 площадь распространения оползнеопасных участков максимальна и превышает аналогичную площадь на участке 50 в 1,5-2 раза. Предположительно это объясняется большими углами

наклона слоев и растеплением ММП в верхней части разреза из-за близости участков 51 и 60 к побережью Карского моря.

Заключение. Криогенные оползни скольжения (КОС) довольно широко развиты в пределах Харасавэйского ГКМ, чему, безусловно, способствуют благоприятные геоморфологические, климатические и гидрогеологические условия на месторождении. Особенно многочисленными являются КОС на побережье Карского моря, растепляющее воздействие которого на многолетнемерзлые породы (ММП) способствует активному формированию условий, благоприятных для формирования оползней.

Результаты полевых исследований методом ЭТ, полученные автором совместно с сотрудниками компании ООО «Газпром проектирование», подтверждают проявление оползневых процессов на трех изучаемых участках. Интересно, что площадь территории, охваченной КОС, возрастает по мере приближения к побережью Карского моря.

На построенных геоэлектрических разрезах по всем отработанным профилям выделяется поверхностный слой, толщиной до 2 м с углами наклона 19° и более. Отложения сформированы из слабодистых суглинков с незначительной степенью засоления, их УЭС составляет 25-70 Ом*м. Это слой подстилается мерзлыми суглинками, которые в случае оттайки верхних слоев являются для них зеркалом скольжения. УЭС этого слоя составляет 1400-2700 Ом*м.

Представленные материалы подтверждают высокую эффективность метода ЭТ при изучении оползней скольжения в массивах ММП на глубинах до 20 м. Выявленная контрастность в значениях УЭС криогенных водоупоров и оползневых масс, а также наличие больших углов наклона оползневых склонов позволяет прогнозировать направление дальнейшего распространения криогенных оползней на участках строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Выделенные КОС представляют собой потенциально опасные участки, не пригодные для возведения инженерных сооружений.

В ходе написания работы автором:

- изучены геологические, гидрогеологические и криогенные условия Харасавэйского ГКМ, влияющие на формирование и строение КОС;

- изучены теоретические основы, преимущества и ограничения метода ЭТ, а также методика проведения полевых работ и программное обеспечение для обработки и интерпретации полевых материалов;

- построены геоэлектрические разрезы, с выделением на них оползнеопасных зон, а также определены границы площадного распространения зон предполагаемого развития КОС.

Полученные результаты позволяют автору надеяться на их дальнейшее использование в ходе разработки мер по обеспечению безопасности и устойчивости инженерных сооружений на территории Харасавэйского месторождения.