

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОЭКОЛОГИИ им. Е. М. СЕРГЕЕВА РАН

На правах рукописи



Макарычева Елизавета Михайловна

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ТЕРМОКАРСТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ
МАГИСТРАЛЬНОЙ НЕФТЕПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ**

25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

Кандидат геолого-минералогических наук,

Сергеев Д. О.

Москва – 2018

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Условия и факторы распространения термокарстовых явлений.....	14
1.1 Тектонические условия.....	18
1.2 Геологические условия.....	26
1.3 Мерзлотные условия.....	32
1.4 Мерзлотно-ландшафтные условия.....	35
1.5 Ландшафтно-геоморфологические условия.....	43
1.6 Климатические факторы.....	50
Глава 2. Анализ региональных особенностей проявления и распространения термокарста.....	56
2.1 Усовершенствование метода аэровизуального обследования для оперативного получения данных о распространении термокарстовых форм и других геологических явлений.....	56
2.2 Обзор существующих представлений о термокарсте и его типах.....	63
2.3 Региональная типизация термокарстовых явлений.....	70
2.4 Оценка динамики термокарстовых явлений при помощи дистанционных методов.....	110
2.5 Анализ распространения термокарстовых явлений.....	117
Глава 3. Методические основы районирования территории по роли условий и факторов в распространении явлений термокарста.....	128
3.1 Вероятностно-статистический метод поиска закономерностей распространения явлений термокарста в различных природных условиях.....	128

3.2 Выявление зависимостей распространения явлений термокарста от природных условий и факторов.....	137
3.3 Влияние нефтепровода на распространение явлений термокарста.....	160
3.4 Выявление зависимостей между распространением явлений термокарста и ремонтными работами, компенсирующими мероприятиями.....	169
3.5 Районирование территории по роли условий и факторов в распространении явлений термокарста.....	173
Заключение	186
Основные обозначения и сокращения	189
Библиография	190
Приложение А	207
Приложение Б.....	249

Введение

Актуальность темы исследований: Индустриальное освоение криолитозоны, нарастающее с середины XX столетия, стало охватывать все большие территории.

Трассы нефтепровода, как и другие протяженные линейные объекты, в условиях Российской Федерации часто обладают рядом специфических особенностей, таких как:

- труднодоступность районов их прохождения;
- разнообразие природных условий;
- широкое распространение экзогенных геологических процессов (в том числе, криогенных).

Вышеуказанная специфика протяженных линейных объектов накладывает ограничения на возможности их изучения и детального обследования. Фондовые материалы не обеспечивают всю территорию прохождения трассы детальной информацией. Фондовые карты выполнены в различных масштабах и в разное время. Инженерно-геологические изыскания проводятся вдоль линии планируемого размещения объекта. Значительная протяженность объектов приводит к накоплению большого массива труднообрабатываемых данных. Таким образом, задача выбора методов исследования, позволяющих охарактеризовать природные условия территории в короткие сроки и с небольшими затратами, является актуальной.

Термокарст был выбран из общего количества опасных процессов не случайно. В ходе проведения работ было выявлено, что идентификация термокарстовых явлений вызывает большие трудности, так как на ранних стадиях развития процесса термокарстовые явления схожи с обводнением, затоплением, заболачиванием. Ввиду высокого разнообразия пересекаемых нефтепроводом природных условий было обнаружено большое количество различных по морфологии форм этого процесса. На специфику его проявления также повлияло

расположение района исследования вблизи южной границы криолитозоны. Характеристики проявлений термокарстовых процессов в ландшафтах южной геокриологической зоны освещены в современной научной литературе недостаточно и требуют дополнительного анализа и систематизации.

При эксплуатации нефтепровода в условиях распространения многолетнемерзлых пород невозможно полностью исключить воздействия на многолетнемерзлые грунты. Техногенное воздействие приводит к активизации как природных, так и техногенных процессов, в том числе оттаиванию мономинеральных включений льда и льдистых грунтов в основании нефтепровода при его эксплуатации и развитию термокарста. Оттаивание многолетнемерзлых пород разной льдистости влечет за собой неравномерные осадки поверхности, вследствие которых может измениться планово-высотное положение нефтепровода, сформироваться напряжения и изгибы трубных секций.

В ходе мониторинга осуществляется сбор и анализ данных о фактическом состоянии техногенных объектов и природной среды. Результаты наблюдений используются для проведения оценок текущего и расчетов прогнозного состояния объектов нефтепроводной системы и разработки защитных и компенсирующих мероприятий, при необходимости, планировании ремонтных работ.

Степень разработанности избранной темы:

Теоретические вопросы по проблемам мониторинга геологической среды и техногенных объектов изложены в работах Бондарика Г.К. [1], Бондарика Г.К., Ярг Л.А. [2], Шестакова В.М. [3], Герасимова И.П. [4], Королева В. А. [5], Ю.А. Израэля [6], Епишина В.К., Трофимова В.Т. [7], Павлова А.В. [8] и многих других авторов.

Общие требования и принципы размещения пунктов наблюдательных сетей мониторинга подробно описаны в работах Семенова С. М. [9, 10, 11, 12].

Из всех принципов стоит выделить принципы неравномерности размещения, информационной необходимости и достаточности, а также

репрезентативности. С.М. Семенов в свои работах также отмечает, что основой для размещения пунктов наблюдательных сетей мониторинга является районирование территории по условиям формирования процессов с учетом актуальных природных и техногенных условий и факторов.

На настоящий момент не существует единого подхода для районирования территории по условиям и факторам, как формирования, так и последующего развития процессов. Не решены проблемы сопоставления разномасштабных данных при районировании для размещения пунктов наблюдательной сети в крупном масштабе.

Объектом исследований: является буферная зона шириной 3 км (по 1,5 км от оси нефтепровода) вдоль трассы магистрального нефтепровода на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока протяженностью 2691 км. Площадь исследований более 8000 км².

Предметом исследований: является характеристика неоднородности распространения явлений термокарста в буферной зоне нефтепровода.

Целью работы: является разработка и обоснование методики районирования буферной зоны магистрального нефтепровода по условиям формирования термокарстового процесса с учетом природных и техногенных условий и факторов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи:**

- 1) Дешифрирование явлений термокарста в буферной зоне магистрального нефтепровода
- 2) Типизация приуроченности явлений термокарста к типам местности с выделением эталонов дешифрирования
- 3) Анализ неоднородностей распространения явлений термокарста
- 4) Разработка методики выявления зависимостей распространения явлений термокарста от природных и техногенных условий и факторов

5) Районирование буферной зоны магистрального нефтепровода по роли природных и техногенных условий в распространении явлений термокарста.

Методы исследования:

Специфика объекта исследования, а именно его большая протяженность, труднодоступность районов его прохождения, разнообразие природных условий и большое количество проявлений термокарста не позволяет выполнить исследование на основе наземных методов в короткие сроки.

Работа основана на дешифрировании термокарстовых явлений, проводившихся автором путем анализа топокарт, аэрофотоснимков, космических снимков и фотоснимков, полученных в ходе аэровизуальных обследований с применением усовершенствованного метода в период 2010 – 2012 гг.. При исследовании неоднородности распространения явлений термокарста по трассе нефтепровода были применены аэрокосмические, геоинформационные, картографические, картометрические и вероятностно-статистические методы, метод типизации, метод ключевых участков, районирование.

Для верификации полученных результатов проводились прямые маршрутные наблюдения, наземные геологические обследования, изучались результаты инженерно-геологических изысканий.

Степень достоверности результатов и апробация работы:

Достоверность результатов определяется надежностью математической модели, положенной в основу районирования, непротиворечивостью результатов с данными о геологическом строении территории, а также полевыми исследованиями, в которых автор принимал личное участие.

Результаты работ собраны в научно-исследовательских отчетах, хранящихся в фондах ПАО «Транснефть».

Помимо создания научно-исследовательских отчетов, данные и результаты, полученные автором в ходе работы, были опубликованы в материалах 12 научных конференций:

1. «Десятая Международная конференция по мерзлотоведению». Салехард, 2012 г.;
2. «15-ые Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты)». Москва, 2013 г.;
3. Международная конференция «Криология Земли: XXI Век». Пущино, 2013 г.;
4. «5-я Европейская конференция по мерзлотоведению». Эвора, Португалия, 2014 г.;
5. «XII Международный конгресс МАИГ «Инженерная геология для общества и территорий»». Турин, Италия, 2015 г.;
6. «9-я международная научно-практическая конференция по проблемам снижения природных опасностей и рисков «Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире ГЕОРИСК – 2015»». Москва, 2015 г.;
7. «Конференция Международного географического союза «География, культура и общество нашей будущей Земли»». Москва, 2015;
8. Международная конференция «Вечная мерзлота в XXI веке: фундаментальные и прикладные исследования». Пущино, 2015 г.;
9. «18-ые Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН». Москва, 2016 г.;
10. «XI Международная конференция по мерзлотоведению». Потсдам, Германия, 2016 г.;
11. Международная конференция «Криосфера Земли: прошлое, настоящее и будущее». Пущино, 2017;
12. Расширенное заседание Научного Совета по криологии Земли РАН «Актуальные проблемы геокриологии». Москва, 2018 г.

Использованные материалы и личный вклад автора:

Исходными данными для работы послужили результаты полученные в ходе трехлетнего цикла мониторинговых работ, выполненных Институтом геоэкологии РАН с участием автора и под его руководством в период с 2010 по 2012 гг. А именно, картографический блок и геопортал, включающие разномасштабные топографические карты, космоснимки и аэрофотоснимки высокого разрешения (2010-2012 гг.). Результаты аэровизуальных обследований, более 7000 изображений трассы нефтепровода ежегодно в период 2010-2012 гг. Материалы наземных геологических обследований и маршрутных наблюдений на трассе нефтепровода.

Научно-исследовательские отчеты по результатам мониторинговых работ ИГЭ РАН в период 2010-2012 гг. и крупномасштабные карты нефтепровода, построенные в 2010 г. Карта морфоструктурного районирования и Карта природных комплексов (масштаба 1:100 000).

В работе также были использованы инженерно-геологические профили на 2691 км трассы нефтепровода, полученные по результатам изысканий. Данные с 13 метеостанций с наблюдениями за период с 2000 по 2011 гг.

Фондовые материалы и мелкомасштабные карты: Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Федоров А.Н., 1991 г. и Геокриологическая карта СССР, 1996г. (масштаба 1:2 500 000).

Защищаемые положения:

1) Разработанная региональная типизация приуроченности явлений термокарста к типам местности позволяет получить пространственное распространение различных типов природных и техногенных явлений термокарста в буферной зоне магистрального нефтепровода.

2) Обоснована целесообразность использования вероятностно-статистического анализа для выявления зависимостей распространения явлений термокарста от природных и техногенных условий и факторов. Зависимости

распространения явлений термокарста от природных условий и факторов в южной геокриологической зоне проявляются по-разному в различных тектонических условиях.

3) Районирование территории на основе количественных критериев зависимости термокарстовых явлений от природных условий и факторов, является основой для эффективного выбора местоположения или оптимизации размещения пунктов наземного мониторинга термокарстового процесса.

Новизна работы:

- 1) Решена проблема сопоставления разномасштабных данных.
- 2) Разработаны подходы для работы с большими массивами данных.
- 3) Разработана методика районирования территории по роли природных и техногенных условий и факторов в распространении явлений термокарста.
- 4) Впервые предложены количественные критерии зависимости термокарстовых явлений от природных условий и факторов.
- 5) Впервые доказано, что зависимости распространения явлений термокарста от природных условий и факторов в южной геокриологической зоне проявляются по-разному в различных тектонических условиях.

Теоретическая значимость:

Большая протяженность магистрального нефтепровода, а также количество выявленных термокарстовых явлений не позволяют оценить опасность каждого термокарстового проявления наземными полевыми методами. Для оперативной оценки ситуации в настоящее время широко применяются дистанционные методы получения данных. Однако существующие методы анализа опасности зачастую базируются на универсальных критериях оценок, как то *пораженность* территории проявлениями процесса [13] или *близость* проявлений к инженерному объекту. При этом зачастую наличие термокарстовых форм связывают с развитием термокарстового процесса, тогда как форма может быть реликтовой и на территории может не быть условий для активизации процесса. Динамика процесса проявляется как в увеличении существующих, так и в образовании

новых явлений. Высокое разнообразие типов термокарстовых явлений с различной степенью активности, стадией развития и условиями формирования не позволяет применять универсальные критерии оценки и требует выработки новой методической базы.

В качестве решения существующей проблемы предлагается районирование территории по вкладу условий и факторов в формирование термокарста. Данный подход поможет уточнить имеющиеся системы оценки опасности, а также позволит повысить эффективность защитных мероприятий и точность прогнозных моделей.

Практическая значимость: Предложенный вероятностно-статистический метод может быть применен для обработки и анализа больших массивов данных. Выявленные количественные критерии зависимости термокарстовых явлений от природных условий и факторов, рекомендуется учитывать при анализе неоднородностей распространения термокарстовых явлений. Районирование территории на основе количественных критериев зависимости термокарстовых явлений от природных условий и факторов может быть использовано в качестве основы для эффективного выбора местоположения пунктов наблюдательной сети при планировании и оптимизации размещения пунктов наземного мониторинга термокарстового процесса, а также при прогнозировании развития ЭГП в районах Крайнего Севера при их промышленном освоении. Предложенная методика районирования может быть использована для районирования любых протяженных линейных объектов по условиям и факторам формирования экзогенных геологических процессов как в криолитозоне, так и за ее пределами.

Внедрение: Результаты исследования термокарста и других экзогенных геологических процессов по трассе нефтепровода, проведёны автором в рамках технических работ, выполненных в 2010-2012 гг. по темам: «Разработка системы мониторинга геологических процессов на участках прокладки МТ», «О результатах проведения аэровизуального обследования коридора трассы ТС ВСТО-1», «Определение температурного поля вокруг трубопровода и

прогнозирование планово-высотного положения трубопровода на участках с многолетнемерзлыми грунтами».

Описанная в работе модифицированная методика аэровизуального обследования протяженных линейных объектов с применением специального оборудования была использована в целях геотехнического мониторинга на объектах нефтепроводного транспорта ПАО «Транснефть».

Публикации: по теме диссертации опубликовано двадцать две научных работы, из них две статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК, и две статьи в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus.

Структура работы: Диссертация состоит из трех глав, введения и заключения. Общий объём работы – 255 страницы машинописного текста. Работа содержит 79 иллюстраций, 13 таблиц, 2 приложения. Список литературных источников содержит 148 наименований.

Благодарности: Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю, к.г.-м.н. Д. О. Сергееву за методическое руководство работой, ценные идеи и замечания. Автор выражает глубочайшую признательность к.т.н. В. П. Мерзлякову и к.ф.-м.н. О. К. Миронову за помощь в разработке методической основы работы, ценные рекомендации и замечания. Автор благодарен к.т.н. А. Н. Угарову и коллективу сотрудников ООО «ЦИЭКС» (к.т.н. П. А. Новикову, А. Д. Чижову, Д.А. Комарову и др.) за предоставленные материалы и помощь в их обработке. Автор выражает глубочайшую признательность к.г.н. Л.И. Зотовой за поддержку, ценные советы, замечания и консультации. Автор благодарит сотрудников ИГЭ РАН д.г.н. А. С. Викторова и лаборатории дистанционного мониторинга геологической среды, к.г.-м.н. В. Н. Капралову, д.г.-м.н. В. М. Макеева и лабораторию эндогенной геодинамики и неотектоники, научного сотрудника Ю.В. Станиловскую за критику, ценные советы и консультирование при выполнении работы. Автор благодарен младшему научному сотруднику ИГЭ РАН А.С. Войтенко за поддержку и помощь в оформлении работы. Отдельную благодарность автор выражает инженеру-

исследователю ИГЭ РАН Н. А. Бесперстовой за бесценную помощь в обработке огромного массива исходных данных, помощь в разработке технической основы работы, за ценные предложения в области автоматизации рабочего процесса, помощь в оформлении работы.

Глава 1. Условия и факторы распространения термокарстовых явлений

Трасса нефтепровода проходит по территории трех административных регионов России - Иркутской области, Республики Саха (Якутия) и Амурской области и имеет общую протяженность 2691 км (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 - Местоположение объекта исследований

Вопросами анализа природных условий и факторов севера и запада Иркутской области, Южной Якутии, Амурской области за последние десятилетия занимались многие авторы.

Систематическое геокриологическое изучение района исследований на территории Иркутской области и Южной Якутии началось лишь в советское время, в основном в 30-40-е годы. Исследования проводились Академией наук СССР, Главным геологическим управлением СССР, Советом по определению производственных сил Севера и другими ведомственными организациями. На территории исследования были созданы и начали работать первые научно-исследовательские мерзлотные станции в Братске и в Якутске. Эти стационары изучали распространение, мощность и температуру мерзлых толщ, особенности

физико-механических свойств грунтов, оказывая всемирную помощь промышленному, гражданскому и транспортному строительству.

В южных районах Якутии гидрогеологические исследования проводились сотрудниками Алданской НИМС Института мерзлотоведения АН СССР им. В.А. Обручева, в составе которой в разные годы работали В.М. Пономарев, С.Е. Суходольский, С.М. Фотиев, Н.А. Вельмина, Г.Н. Философов, Н.К. Полищук, В.Р. Алексеев и др.

Многочисленные экспедиции были организованы Институтом мерзлотоведения АН СССР им. В.А. Обручева. В 1953-1957 гг. совместно с Северо-Восточным (Якутским) отделением института организуются многолетние комплексные экспедиции, которые работают в районе г. Мирный (В.Т. Балобаев, Е.Б. Белопухова, Т.Н. Жесткова, Е.М. Катасонов и др.), в Южной Якутии (А.И. Ефимов, И.Д. Белокрылов, Н.А. Вельмина, В.В. Узембро и др.). В 70-80-е годы Институтом мерзлотоведения СО АН СССР постоянно проводилась термометрия в глубоких скважинах по всей территории Средней Сибири (В.Т. Балобаев и др.)

В 1961 г. под научным руководством В.А. Кудрявцева кафедрой геокриологии геологического факультета МГУ было положено начало мелкомасштабным комплексным мерзлотно-гидрогеологическим и мерзлотно-инженерно-геологическим исследованиям на территории Средней Сибири. Исследования такого размаха велись впервые. В Южной Якутии за пять лет работы, с 1961-1965 гг., включительно, была детально изучена огромная территория Алдано-Тимптонского междуречья. В таких работах принимали участие Г.М. Эпштейн, Л.С. Гарагуля, К.А. Кондратьева, Н.И. Труш, А.Б. Чижов, С.Ф. Хруцкий, П.Я. Смутьский, А.Н. Боголюбов, Ю.П. Зыков, Н.И. Чижова, О.П. Павлова, М.А. Всеволожская и др. Комплексные мелкомасштабные исследования проводились кафедрой геокриологии: в 1965-1967 гг. в районе г. Мирный (Н.Н. Романовский, А.Б. Чижов, Л.С. Гарагуля, К.А. Кондратьева, Г.И. Гордеева, Н.И. Чижова, О.П. Павлова и др.).

Средне – и крупномасштабные исследования небольших участков под конкретные строительные объекты кафедрой геокриологии проводились в 1956-1960 гг. в районе Бротской ГЭС и прилегающих территории (К.А. Кондратьева, Л.Н. Максимова); в 1973-1982 гг. – Южной Якутии (А.Б. Чижов, В.С. Мелентьев, А.В. Гаврилов, С.Н. Оспенников, Е.Н. Дунаева, Н.И. Чижова, Н.И. Труш, Л.Н. Максимова и др.) [14].

На Дальнем Востоке геокриологическая изученность территории крайне неравномерна. По времени раньше были начаты исследования в южной ее части, связанные со строительством Амурской ветви Транссибирской железной дороги в начале века. Впоследствии в этих районах проводили исследования М.И. Сумгин, Н.И. Толстихин и ряд других ученых, занимающихся изучением «вечной мерзлоты», мерзлотных процессов и явлений.

В 1927 г. начинает работать Сковородинская научно-исследовательская мерзлотная станция (НИМС). В тридцатых годах в связи с изысканиями и затем строительством отдельных участков БАМа были открыты пять ее филиалов, в том числе в Тынде. В 1976 г. Тындинский филиал был преобразован в Тындинскую мерзлотную станцию ЦНИИС Минтрансстроя СССР. Разработка вопроса о динамике мерзлоты (в частности ее аградации) была связана с анализом М.И. Сумгина, а затем П.Н. Каптевым, В.А. Кудрявцевым и другими исследователями «температурных кривых» по скважине, пробуренной в пос. Сковородино.

В дальнейшем, с начала 70-х годов и до настоящего времени, геокриологические исследования в южной части региона были так или иначе связаны с Байкало-Амурской железнодорожной магистралью.

ПГО «Гидроспецгеология» Мингео СССР и геологическим факультетом МГУ в зоне тяготения БАМ начиная с 1975 г. проводились мелкомасштабные инженерно-геологические и мерзлотно-гидрогеологические съемки.

На протяжении длительного периода исследования температурного режима и мощности криолитозоны преимущественно горных регионов Восточной Сибири проводились сотрудниками Института мерзлотоведения СО АН СССР (В.Т.

Балобаевым, В.Н. Девяткиным, И.А. Некрасовым, И.В. Климовским и др.). Они нашли свое обобщение в монографии И.А. Некрасова «Криолитозона Северо-Востока и юга Сибири и закономерности ее развития».

Проблемы формирования «ледового комплекса» также рассматривались на данной территории. Было доказано, что «ледовый комплекс» и его аналоги распространены далеко на юг, до южных склонов Станового нагорья в сарганское время и, возможно, подобные комплексы существовали до раннего плейстоцена. Изучением пород ледового комплекса, аллювия, таберальных комплексов аласов занимались Е.М. Катасонов, Н.Н. Романовский, Т.Н. Каплина, Г.Э. Розенбаум, А.Н. Котов, склоновыми образованиями (Г.Ф. Гравис, А.И. Тюрин, Н.Н. Романовский и др.) [15].

В дальнейшем материалы исследований послужили основой для составления специальных геокриологических карт. На кафедре геокриологии геологического факультета МГУ были составлены геокриологические карты масштаба 1:2 500 000, в том числе «Геокриологическая карта СССР».

Для описания и анализа условия и факторов распространения термокарстовых явлений были использованы фондовые материалы и мелкомасштабные карты: Геокриологическая карта СССР, 1991г. (масштаба 1:2 500 000) и Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Федоров А.Н., 1991 г. [16, 17, 18, 19].

Анализ условий и факторов распространения термокарстовых явлений выполняется на основе данных, полученных в ходе трехлетнего цикла мониторинговых работ, выполненных Институтом геоэкологии РАН с участием автора и под его руководством в период с 2010 по 2012 гг. [20, 21, 22, 23]. Были использованы научно-исследовательские отчеты по результатам мониторинговых работ ИГЭ РАН в период 2010-2012 гг. и крупномасштабные карты нефтепровода, построенные в 2010г.: Карта морфоструктурного районирования и Карта природных комплексов (масштаба 1:100 000) [24,25].

В работе также были использованы отчеты по инженерным изысканиям, проведенным на этапе проектирования и строительства по трассе магистрального нефтепровода [26, 27]. Данные с 13 метеостанций с наблюдениями за период с 2000 по 2011 гг. [23].

В работе А.А. Коноплянцева, С.М. Семенова (1974) разбирается содержание терминов «условия» и «факторы». В диссертационной работе при анализе распространения термокарстовых явлений вдоль трассы магистрального нефтепровода автор придерживается терминологии А.А. Коноплянцева, С.М. Семенова [10]. Под условиями подразумевается та природная обстановка, которая сама за период обследований практически не меняется, но существенно определяет особенности термокарстовых явлений и их распространение. Под факторами следует понимать те внешние воздействия, которые сами, изменяясь во времени, приводят к изменениям количества, качества и состояния явлений.

В качестве условий рассматриваются, тектонические (морфоструктурные) особенности территории, геологическое состояние, мерзлотные и мерзлотно-ландшафтные характеристики, природные комплексы территории. Как факторы в рамках данной работы рассматриваются климатические характеристики территории (осадки и температура воздуха) и характеристики техногенеза.

1.1 Тектонические условия

Характеристика тектонических условий нефтепроводной системы была получена с карты морфоструктурного районирования трассы ВСТО-1, составленной сотрудниками лаборатории эндогенной геодинамики и неотектоники ИГЭ РАН в 2010 году в масштабе 1:100 000.

Характер распространения явлений термокарста рассмотрен относительно древних региональных структур и неотектонических структур первого и второго порядка.

Имея значительную протяженность - 2691 км, трасса пересекает различные по условиям образования древние (донеотектонические) и неотектонические

структуры (морфоструктуры). Согласно карте морфоструктурного районирования, в буферной зоне трассы нефтепровода рассматривается два типа структур: донеотектонические (древние) региональные структуры и неотектонические (новейшие по возрасту образования) структуры и их формы рельефа.

Трасса нефтепровода пересекает две региональных структуры: Сибирскую древнюю докембрийскую платформу и Монголо-Охотскую позднепротерозойско-палеозойскую горно-складчатую систему (В), испытавшую в позднем мезозое тектоно-магматическую активизацию с образованием гранитоидных интрузий (таблицы 1.1.1). В пределах Сибирской платформы выделяются плита с осадочным чехлом (А), Алдано-Становой щит (Б). Внутри их выделяются субрегиональные структуры.

Таблица 1.1.1 - Древние (донеотектонические) региональные структуры трассы нефтепровода

Региональные структуры					
Индекс	Название структур		км трассы	Их возраст	Формы рельефа
А	Сибирская платформа	Плита с осадочным чехлом	0 - 2187,5	Дорифейский	Преимущественно платообразный рельеф
Б		Алдано-Становой щит	2187,5 - 2651,1	Верхнепротерозойско-фанерозойский	Алданское нагорье Становой хребет-поднятия
В	Монголо-Охотская складчатая система		2651,1-2691,0	Палеозой-мезозойский	Хребты-поднятия Тукурингра и Петровского

Формы рельефа и новейшие структуры первого порядка трассы нефтепровода

Формы рельефа первого порядка косвенно отражают характер развития новейших структур особо крупного размера и продолжительного развития. В их пределах фиксируются разновозрастные поверхности выравнивания мезозойского и более молодого возраста.

Согласно картам рельефа, трасса нефтепровода пересекает следующие главные структуры: 1) платформенные и 2) горно-складчатые. К первым относятся: Приангарское плато (включая Бирюсинскую впадину), Ангарский кряж, Приленское плато, Алданское нагорье (по другим представлениям, плоскогорье с гольцовыми грядами) и Становое поднятие-хребет. Эти структуры являются платформенными и приуроченными к южному краю Сибирской платформы. Плато рассматриваются как сводообразные поднятия (своды). Ко вторым относятся: поднятие-хребет Тукурингра и Петровский поднятие-хребет. Эти структуры являются горно-складчатыми и входят в состав обширной Монголо-Охотской палеозой-мезозойской складчатой системы (таблица 1.1.2).

Таблица 1.1.2 - Новейшие структуры первого порядка

Новейшие структуры 1-го порядка				
Индекс	Новейшие структуры I-го порядка	км трассы	Относительное превышение рельефа (м)	Интенсивность землетрясений (карта ОСП-С, I)
I	Приангарское плато (включая Бирюсинскую впадину)	0 - 122,0	от 241.9 до 502.7	7
II	Лено-Ангарское плато (в т.ч. Ангарский кряж)	122,0 - 872,1	от 266.4 до 750.5	6-7
III	Приленское плато	872,1 - 1940,0	от 132 до 639.1	6-7
IV	Алданское нагорье (в т.ч. Томмотская гряда)	1940,0 - 2402,6	от 389.1 до 1387.1	7-10
V	Становой хребет-поднятие	2402,6 - 2519,95	от 499.6 до 1181.7	9-10
VI	Хребет-поднятин Тукурингра	2519,9 - 2679,95	от 473.4 до 1027.2	9
VII	Петровский хребет-поднятие	2679,95 - 2691,0	от 449 до 853.7	8-9

Согласно новейшим геодинамическим условиям, Лено-Ангарское и Приленское платформенные плато отвечают новейшим сводообразным поднятиям, которые растут и расширяются за счет воздействия на южный край Сибирской платформы Байкало-Патомского и Станового горно-складчатых областей. Ангарский кряж, расположенный между этими плато, в рельефе представлен валами, сложенными осадочно-вулканогенными породами (траппами) пермско-триасового возраста. Алданское нагорье также сводового

типа заложилось на древнейшем складчатом основании - на платформенном докембрийском щите Сибирской платформы. Поднятие Тукурингра и Петровское поднятие являются горно-складчатыми палеозой-мезозойского возраста и выражены хребтами-поднятиями.

Неотектонические структуры второго порядка

Серьезные структурные преобразования произошли в позднекайнозойскую (новейшую) эпоху, в т.ч. и в ее четвертичную стадию. Для этого времени характерно образование относительно небольших по размеру структур второго и третьего порядка, которые пересекает трасса.

Структуры второго порядка представлены прогибами и поднятиями, которые районированы по условиям образования (таблица 1.1.3)

Таблица 1.1.3 - Неотектонические структуры второго порядка

Новейшие структуры 2-го порядка				
Индекс	Форма структуры и ее название	км трассы	Относительное превышение рельефа (м)	Геодинамическая зональность
<i>Приангарского плато (в т.ч. Бирюсинская впадина) (I)</i>				
I-1	Бирюсинский прогиб	0-14	от 276.1 до 397.6	Присянская перигоренная область
I-2	Бирюсинское поднятие	15-113	от 241.9 до 502.7	
I-3	Удский прогиб	113-122	от 266.4 до 415.2	
<i>Лено-Ангарское плато (в т.ч. Ангарский кряж) (II)</i>				
II-1	Братский свод	122-524	от 293.7 до 712	Верхнеангарское сводовое поднятие
II-2	Непский свод	525-872	от 266.3 до 750.5	
<i>Приленское плато (III)</i>				
III-1	Нюйский прогиб	872-1053	от 237.1 до 585	Байкальско-Патомское сводовое поднятие рифтогенного типа
		1137-1160		
		1210-1326		
III-2	Кададьское поднятие	1053-1137	от 325.9 до 495.7	
III-3	Пеледуйско-Меличанское поднятие	1160-1210	от 165.2 до 528.8	
		1326-1648		
III-4	Черепанихско-Олекминский прогиб	1648-1707	от 177.6 до 447.3	
		1778-1802		
III-5	Солянское поднятие	1707-1778	от 132 до 417.2	
III-6	Туолбачанское поднятие	1802-1897	от 357.7 до 639.1	
III-7	Туолбинский прогиб	1898-1916	от 318 до 607.5	

Новейшие структуры 2-го порядка				
Индекс	Форма структуры и ее название	км трассы	Относительное превышение рельефа (м)	Геодинамическая зональность
III-8	Удаганское поднятие	1916-1929	от 500.3 до 635.4	
III-9	Хангас-Сыалысардахский прогиб	1929-1940	от 457.6 до 612.3	
<i>Алданское нагорье (в т.ч. Томмотская гряда) (IV)</i>				
IV-1	Амгинское поднятие	1940-1997	от 396.2 до 666.1	Алданское сводовое поднятие
		2015-2046		
IV-2	Киенг-Юряхский прогиб	1997-2014	от 389.1 до 651.1	
IV-3	Алданско-Инаглийский прогиб	2046-2082	от 300 до 712.9	
IV-4	Алданско-Нимнырский свод	2083-2269	от 445.2 до 1387.1	
IV-5	Чульманский прогиб	2269-2322	от 641.2 до 1013	
IV-6	Олонгорское поднятие	2323-2349	от 724.2 до 1077	
IV-7	Беркавитский прогиб	2350-2360	от 820.2 до 1040.1	
IV-8	Горбыллахское поднятие	2360-2390	от 809.8 до 979.9	
IV-9	Иенгринский прогиб	2391-2402	от 790 до 1019.4	
<i>Становой хребет (V)</i>				
V-1	Тимптонское поднятие	2403-2487	от 582 до 1181.7	Коллизионное горно-складчатое сооружение
V-2	Моготское прогиб	2487-2497	от 499.6 до 811.9	
		2508-2520		
V-3	Гилюйское поднятие	2498-2508	от 524.7 до 780.4	
<i>Хребет Тукурингра (VI)</i>				
VI-1	Амунактинское поднятие	2520-2540	от 488.7 до 771	Коллизионное горно-складчатое сооружение
VI-2	Тындинский прогиб	2540-2552	от 473.4 до 775.3	
VI-3	Сосновское поднятие	2552-2589	от 529.7 до 936.2	
VI-4	Джелтулакский прогиб	2590-2595	от 802.4 до 972.3	
VI-5	Ононское поднятие	2595-2622	от 679.4 до 1027.2	
VI-6	Ольдогойский прогиб	2623-2632	от 630.1 до 1006.4	
VI-7	Урканское поднятие	2633-2672	от 501.6 до 903.4	
VI-8	Путакский прогиб	2672-2680	от 499.6 до 648.2	
<i>Петровский хребет (VII)</i>				
VII-1	Неверовское поднятие	2680-2701	от 449 до 853.7	Коллизионное горно-складчатое сооружение

Распространение термокарстовых явлений рассмотрено относительно донеотектонических (древних) региональных структур и неотектонических структур второго порядка. В полосе трассы в детальном масштабе морфоструктуры второго порядка максимально ярко выражены в рельефе. Фрагмент карты морфоструктурного районирования приведен на рисунке 1.1.1.

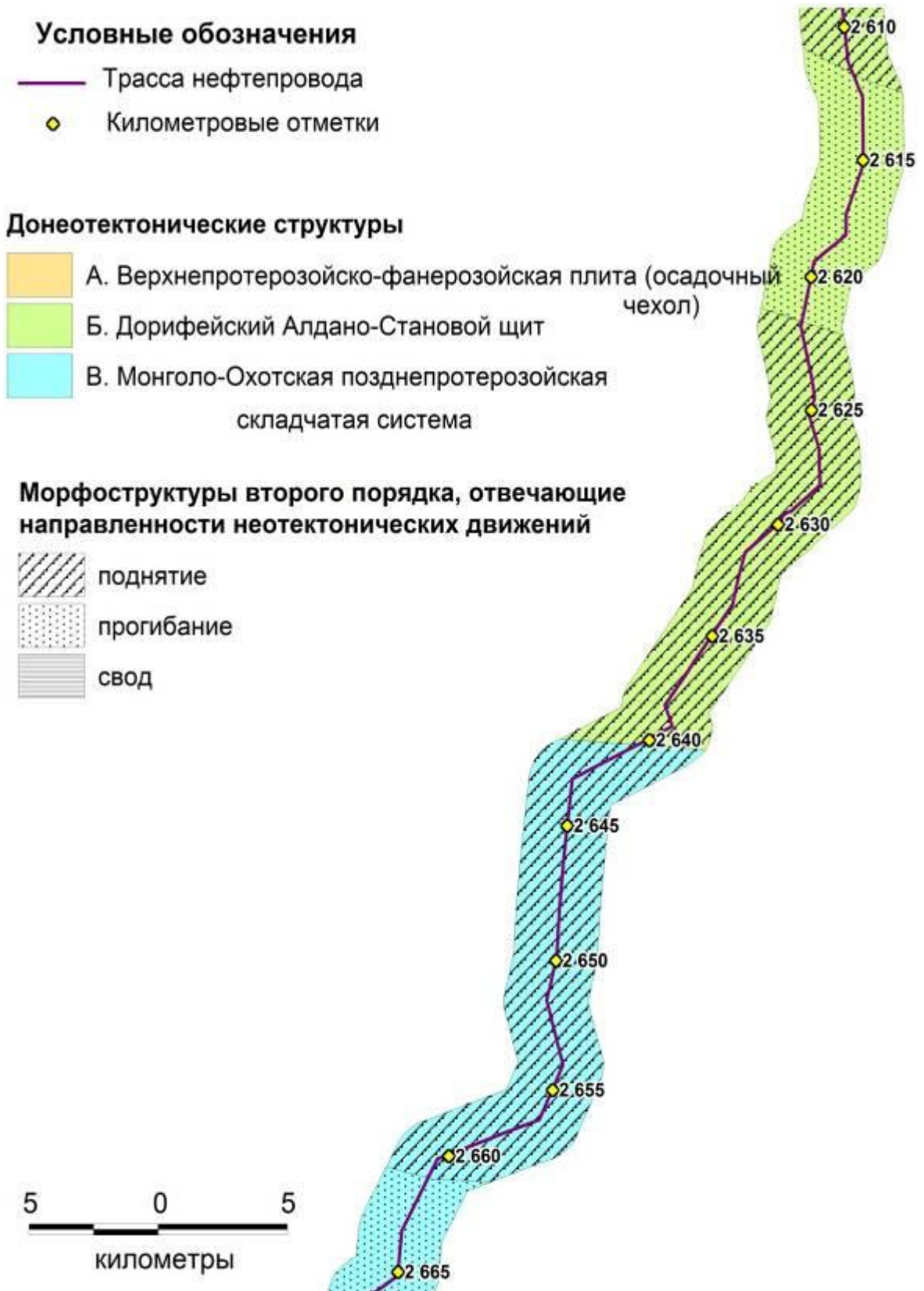


Рисунок 1.1.1 - Фрагмент карты морфоструктурного районирования, Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН).

Масштаб 1:100 000

По направленности (вертикальной и горизонтальной), интенсивности движений и особенностям их выражения в рельефе неотектонические структуры второго порядка можно разделить на три типа: свод, прогиб и поднятие. В пределах свода (сводообразное плато) осложняющие его поднятия и прогибы не рассматриваются из-за их незначительности по выражению в рельефе и интенсивности развития по сравнению со структурами перирогенной зоны.

Свод формируется преимущественно в результате вертикальных движений (напряжений) и в меньшей степени за счет субгоризонтальных. При этом он является относительно стабильной структурной формой, выраженной в виде овального и изометричного поднятия. В пределах платформ в рельефе свод может быть выражен в виде полого выпуклого плато (сводообразное плато) с хорошо проявленной лестницей геоморфологических поверхностей.

Поднятия и прогибы формируются по причине преимущественно субгоризонтальных движений (напряжений) и является более интенсивно развивающимися формами по сравнению со сводами. Они имеют протяженный и линейный тип развития. Как правило, поднятия и прогибы являются сопряженными формами и характеризуются зональным развитием, связанным с высокоактивными тектоническими областями.

Причины вертикальных и горизонтальных движений могут быть разными, но в данном случае лишь заметим, что сводообразные плато характерны больше для платформенных территорий, тогда как линейные интенсивно сжатые поднятия и прогибы больше характерны для горно-складчатых областей (хребты, впадины) и их перирогенной зоны.

Эти зоны приурочены к сочленению горно-складчатых областей с платформенными областями и характеризуются повышенной тектонической активностью, которая приводит к образованию ярко выраженных в рельефе поднятий и прогибов в краевой части платформ [24].

Эти структуры характеризуются не платформенными, а периророгенными амплитудами и скоростями деформаций. Рассматриваемая полоса трассы нефтепровода как раз проходит вдоль таких зон, рассматриваемых как периророгенные. Это важно учесть и оценить, поскольку фторланд (периророген) горно-складчатых областей часто характеризуется повышенным разрывообразованием и сейсмичностью, не характерной для типично платформенных структур.

Неотектонические прогибы и поднятия различаются по характеру осадконакопления. Прогибы заполняются неоген-четвертичными отложениями часто большой мощности. Как правило, они наследуются долинами рек, в которых развиты речные террасы. Поднятия являются источником для этого накопления, поэтому в их пределах развиты геоморфологические разновозрастные ступени, изучение которых позволяет судить об их активности (амплитуда, скорость) поднятий и прогибов.

Формирование прогибов и поднятий в пределах периророгенной зоны Сибирской платформы и рассматриваемой территории в частности происходит за счет бокового давления, наводимого со стороны Монголо-Охотской складчатой области (область активного новейшего орогенеза). Интенсивность неотектонического давления постепенно угасает вглубь Сибирской платформы, что сказывается и на величине амплитуд в поднятиях и прогибах. Суммарная амплитуда за новейшее время на Сибирской платформе в пределах западной Якутии не превышает 150-300 м, тогда как в окраинной (периророгенной) зоне платформы на территории южной Якутии она составляет 500-600 м.

В границах позднеолигоцен-четвертичного (новейшего) времени интенсивность неотектонических движений может сильно различаться. Здесь следует лишь отметить, что новое нарастание движений началось в конце верхнего плейстоцена и продолжается поныне.

Тесная связь современного рельефа с древней структурой Сибирской платформы особенно ярко проявляется в преобладании денудационного рельефа

над аккумулятивным. Это свидетельствует о преимущественном поднятии территории и подчиненностью седиментации. Древность геологической структуры в сочетании с молодостью движений является важнейшей морфоструктурной особенностью, наилучшим образом характеризующей специфику современного рельефа Сибирской платформы. Устойчивая тенденция к поднятию платформы, впервые ясно наметившаяся еще в конце нижнего кембрия, привела в течение палеозоя и мезозоя к резкому увеличению площади денудации за счет сокращения площадей седиментации. В настоящее время Сибирская платформа продолжает оставаться преимущественно областью поднятия и денудации [28].

1.2 Геологические условия

На основании особенностей геологического строения и неотектонических структур (морфоструктур) полосу трассы нефтепровода можно разделить на три части: 1) равнинную (0-800 км), 2) плоскогорную (800-1800 км) и нагорную (1800-2691 км).

1) Тайшет – Киренск (км 0 – км 800)

В геологическом строении территории проектируемой трассы принимают участие осадочные образования кембрийской, ордовикской, силурийской и девонской систем палеозойской эры, а также рыхлые отложения четвертичной системы. Руслу, поймы и надпойменные террасы рек сложены аллювиальными, аллювиально-делювиальными отложениями. Практически вся территория склонов, изрезанных балками (падами) временных водотоков, покрыта элювиально-делювиальными и делювиальными образованиями разной мощности, поверхности выравнивания и останцы перекрыты элювием коренных пород.

Сибирская платформа имеет двухъярусное строение: кристаллический фундамент, сложенный метаморфическими и изверженными породами архейского и протерозойского возраста, и осадочный чехол, представленный разновозрастными отложениями от венда до современных четвертичных отложений [14].

Четвертичная система (Q) представлена на исследуемой территории осадками верхнечетвертичного и современного возраста. Они маломощным чехлом перекрывают отложения девона, силура, ордовика и кембрия. По генетическому признаку четвертичные отложения подразделяются на элювиальные, элювиально-делювиальные, аллювиально-делювиальные и аллювиальные отложения.

Аллювиальные отложения развиты в долинах рек и представлены осадками русел, пойм и низких надпойменных террас. Широкого распространения они не имеют, так как эрозионная деятельность рек преобладает над аккумулятивной. В составе пойменного и руслового аллювия преобладает песчано-глинистый материал, реже встречается валунно-галечниковые отложения с супесчаным, песчаным и суглинистым заполнителем. Мощность аллювиальных отложений колеблется от 0,2 до 5,0 м.

Делювиальные отложения развиты на склонах рек, представлены щебнем, глыбами осадочных пород и песчано-глинистого материала, мощность отложений достигает 5–10 м.

Элювиальные отложения имеют ограниченное распространение, они приурочены к плоским вершинам водоразделов. Мощность элювия колеблется от 0,5 до 10–15 м.

Аллювиально-делювиальные отложения приурочены к долинам рек и нижним частям склонов долин, они представляют результат фациального переслаивания речного аллювия и сползающих по склонам делювиальных образований.

Элювиально-делювиальные отложения имеют наибольшее распространение, они залегают на пологих склонах. Состав их соответствует составу подстилающих коренных пород и коренных пород, залегающих гипсометрически выше, и представлен суглинками, глинами, реже песками и обломками осадочных пород. В составе отложений преобладают глины и суглинки, в которых часто содержится

различное количество песчаного и глыбово-щебенистого материала. Мощность отложений 1,5–3,0 м, реже достигает 5,0–10,0 м.

2) Киренск – Олекминск (км 800 – км 1800)

Район расположен в пределах Среднесибирского плоскогорья и входит в состав низкого Приленского плато со сглаженными формами рельефа. В геологическом строении трассы нефтепровода на данном участке принимают участие преимущественно кембрийские и ордовикские образования, локальное распространение в районе Талаканского месторождения получили юрские образования. В пределах изученной глубины разрезов наиболее широко развиты четвертичные отложения.

В геологическом строении осадочного чехла участка принимают участие преимущественно кембрийские, ордовикские и силурийские отложения, так же встречаются юрские и девонские. Отдельно выделены образования позднеплейстоценового – раннеплейстоценового возраста, специфичные по составу и условиям залегания.

Четвертичные отложения (Q) представлены современными и позднечетвертичными аллювиальными, озерно-болотными, элювиально-делювиальными и элювиальными отложениями различного литологического состава.

Делювиальные отложения имеют повсеместное распространение на склонах возвышенностей. Представлены супесями, суглинками и глинами с включением обломочного материала, дресвяно-щебенистыми грунтами с супесчано-суглинистым заполнителем.

Аллювиальные отложения развиты в долинах рек. Представлены они песками, гравийными грунтами с супесчаным заполнителем и супесями.

Элювиальные отложения, представленные выветрелыми доломитами и аргиллитами, залегают на кровле скальных грунтов. Представлены они

щебенистыми грунтами с суглинистым заполнителем и суглинками с включением обломочного материала.

Озерно-болотные образования развиты на низких заболоченных участках, в поймах рек, днищах ручьев и временных водотоков. Иногда встречаются в понижениях на уплощенных водоразделах. Представлены торфами осоково-сфагнумовыми среднеразложившимися.

3) Олекминск – Сковородино (км 1800–2691)

От Олекминска до Алдана трасса проходит по территории, где распространены породы палеозойского структурного подъяруса (нижнего кембрия). На юге на дневную поверхность выходят метаморфические породы архейского возраста. Последние слагают основную часть Алданского щита, образуя Алдано-Тимптонскую и Становую складчатые системы. Среди архейских пород выделяют четыре серии: иенгрская, тимптонская, джелтулинская, курультинская, каждая из которых по петрографическому признаку расчленены на свиты.

Палеозойская группа пород, слагающая нижний ярус платформенного чехла представлена карбонатной толщей нижнекембрийского возраста, залегающей с резким угловым несогласием на кристаллических породах фундамента.

Четвертичные отложения (Q) представлены образованиями следующих генетических типов: аллювиальными, элювиальными, склоновыми, озерно-болотными, ледниковыми, в формировании которых значительная роль принадлежит процессам криолитогенеза. Среднечетвертичные отложения представлены валунно-галечным аллювием, 40-50-метровыми террасами крупных рек. К нерасчлененным средне-верхнечетвертичным отложениям отнесены широко развитые элювиально-делювиальные и другие склоновые отложения, в том числе курумы. Верхнечетвертичные образования включают в себя аллювий III надпойменной террасы (мощность отложений 20-30 м), представленный валунно-галечными и песчано-галечными отложениями, I и II надпойменных террас, представленный песками.

Современный отдел представлен элювиальными, склоновыми, озерно-болотными отложениями. Широко распространены элювиальные рыхлые образования. Состав их полностью зависит от характера коренных пород. На метаморфических породах и гранитах элювий представлен щебнистыми и щебнисто-глыбовыми супесями и песками, а также глыбами со щебнем и песчаным и супесчаным заполнителем (10-30%). Реже наблюдаются средние суглинки и супеси со щебнем и дресвой. В некоторых случаях на заболоченных поверхностях отмечаются отложения тяжелого суглинка с небольшим содержанием дресвы и щебня (10-18%). Элювий, развитый на кембрийских известняках и доломитах, представлен щебнистыми суглинками, от легких до тяжелых, иногда с глыбами размером до 0,5-0,7 м. На мергелистых пачках унгелинской и пестроцветной свит суглинки принимают характерный шоколадный оттенок и нередко приближаются к глинам. Мощность суглинистого элювия достигает 2-3 м.

Делювиальные отложения весьма сходны по составу с элювием, но отличаются от него большим содержанием мелкозернистого материала и меньшим содержанием обломков - обычно в пределах 20-56%. Распространен этот генетический тип на пологих приводораздельных склонах, на пологовогнутых нижних частях склонов долин плато в плоскогорья. Делювиальные отложения на кристаллических породах докембрия в верхней части склона состоят обычно из песчано-щебнисто-глыбового материала, а в нижних - из щебнисто-дресвяных легких и средних суглинков. В этих же условиях на кембрийских и реже юрских породах образуются тяжелые суглинки с меньшим содержанием обломков по сравнению с элювиальными (10-15%). Мощность отложений равна обычно 2-5 м.

Гравитационные и гравитационно-делювиальные отложения имеют, как правило, мощность 0,5-2,5 м. Чисто гравитационными отложениями являются свежие осыпи крутых, усиленно отступающих склонов. Гравитационно-делювиальные отложения покрывают склоны средней крутизны (15-25%) и

представляют полузадернованные осыпи, состоящие из щебня с супесчано-суглинистым заполнителем. Содержание последнего большей частью равно 20-25%.

Солифлюкционные отложения отмечаются на пологих мерзлых склонах долин. Представлены они обычно суглинками желтовато-серыми, тиксотропными, с дресвой, мелким и крупным щебнем (15-20%), Мощность суглинков 1,0-1,5 м, а в солифлюкционных шлейфах нижних частей склонов - до 3-4 м.

Пойменные отложения отмечаются во всех долинах рек и крупных ручьев. Низкая пойма сложена обычно галечно-валунным материалом с примесью песка (15-30%), реже суглинисто-супесчаным материалом пойменной фации. Высота низкой поймы 0,5-0,8 м, высокая пойма имеет высоту до 1-2 м. В основании пойменных террас обычно залегают галечники, вверх по разрезу сменяющиеся песками. Верхняя часть разреза представлена илстыми образованиями с прослоями глин и торфов. Мощность пойменных отложений колеблется в пределах 0,5-6,0 м. Русловые отложения представлены валунами, галечниками и песками.

Озерно-болотные отложения широко распространены на плоских водоразделах в верховьях долин слаборасчлененной части Алданского плоскогорья, а также на поверхности пойменных и низких надпойменных террас. У русел ручьев, по краям старичных и термокарстовых озер накапливается осоковый или осоково-гипновый торф мощностью до 2-3, реже до 4-5 м. На некоторых полностью заросших озерах под слоем торфа залегает сапрпель. Мощность сфагнового торфа болот верхового типа обычно не превышает 1-2 м, ниже залегает кустарничково-зеленомошный торф.

В зависимости от характера теплообмена пород с атмосферой рыхлые отложения указанных комплексов в зонально-климатических условиях отдельных частей территории находятся как в талом, так и в мерзлом состоянии. Сезонно- и многолетнемерзлые поверхностные отложения рассматриваемого района

характеризуются различной льдистостью и криогенной текстурой, обуславливающими в значительной мере их инженерно-геологические свойства [26, 14].

1.3 Мерзлотные условия

Согласно «Геокриологической карте СССР» под ред. Э.Д. Ершова, К.А. Кондратьевой (МГУ) [16], в масштабе 1:2 500 000, 1991 года, буферная зона нефтепровода характеризуется разнообразными геокриологическими условиями и распространением многолетнемерзлых пород (ММП) (рисунок 1.3.1).

Многолетнемерзлые толщи представлены, в основном, эпигенетически промерзшими разнообразными метаморфическими, магматическими и осадочными коренными породами. Сингенетические и реже эпигенетические многолетнемерзлые толщи супесчано-суглинистых и торфянистых поверхностных четвертичных образований распространены ограниченно.

В мерзлотном отношении Южная Якутия является наиболее изученной территорией, что предопределено ее богатейшими природными ресурсами и интенсивным освоением территории, как в советский период, так и в настоящее время. Анализ мерзлотных условий формирования термокарстовых процессов был выполнен на примере территории Южной Якутии (984-2442 км). Общая протяженность изучаемой территории составила 1459 км.

По мерзлотным условиям буферную зону трассы нефтепровода на территории Южной Якутии можно разделить на семь частей:

1. На самом западном участке исследуемой территории от устья р. Витим (984-1300 км) до юго-западной окраины Приленского плато на протяжении 120 км на восток мерзлота имеет массивно-островное распространение, до 50% площади. Мощность составляет 0-50 м. Среднегодовая температура пород близка к -10°C на подошве слоя колебаний.

2. Далее (1420-1490 км) нефтепровод пересекает область прерывистой мерзлоты до 80% с температурами в районе -2°C . Мощность составляет 0-100 м.

3. Восточнее расположен отрезок (1490-1690 км) преимущественно сплошного распространения мерзлоты. Талики до 5%. Температура на подошве слоя годовых колебаний около -2°C . Мощность мерзлоты в районе 100-200 м. Она заканчивается в 60-80 км западнее устья р. Олёкма.

4. Участок в районе устья р. Олёкма (1690-1750 км) характеризуется прерывистой многолетней мерзлотой с температурами в районе -2°C , распространение до 80%. Мощность составляет 100-200 м. Относительно близко от нефтепровода зафиксировано наличие повторно-жильных льдов мощностью до 10 м. Нефтепровод переходит на территорию плоскогорья (1750-2060 км.)

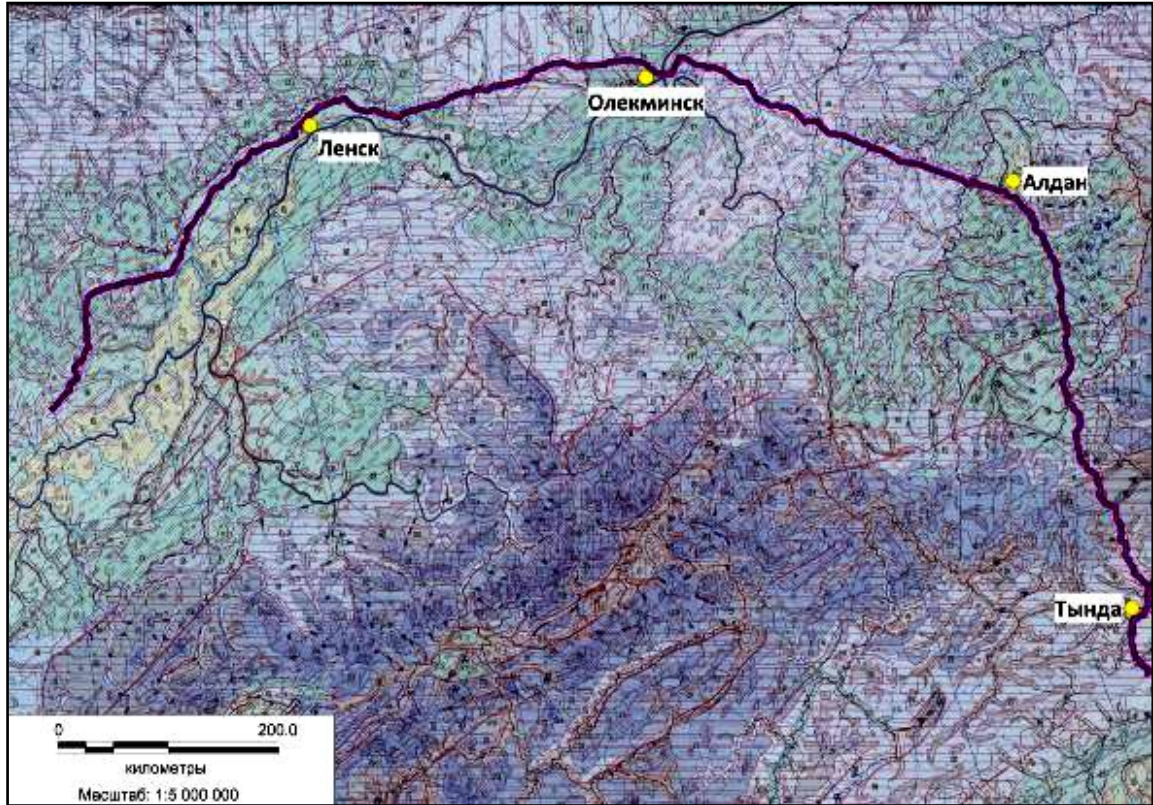
5. Следующие 200 км трассы нефтепровода (1750-1950 км) простираются на юго-восток до р. Амга, где характерна мерзлота преимущественно сплошного распространения, с долей таликов до 5%, мощностью 50-150 м с температурами с температурами от -1 до -3°C .

6. От р. Амга (1950 км) до р. Алдан (2060 км) мерзлота носит прерывистое распространение (до 80%) с мощностью 0-50 м с температурами от 0.5 до -2°C .

7. С 2060 км по 2495 км нефтепровод проходит по горной территории На коротком участке от р. Алдан до р. Бол. Нимныр чередуется массивно-островная (до 50%) и преимущественно сплошная мерзлота (до 97%) с глубинами от первых десятков до первых сотен метров. Южнее на протяжении 200 км до р. Тимптон (2150-2400 км) простирается участок с преимущественно сплошной мерзлотой (доля несквозных таликов до 3%, сквозные талики отсутствуют) с температурами -1 - -3°C и мощностью до 100 м. В некоторых местах вклиниваются участки с аналогичной по характеристикам мерзлотой, но большей мощности (до 200 м). От р. Тимптон до границы Якутии (2400-2442 км) мерзлота характеризуется теми же свойствами, что и на участке, расположенном к Северу. Разница состоит лишь в мощности. Тут она составляет до 200 м.

Подводя итоги анализа карты можно сделать следующие выводы: на всей территории мерзлота характеризуется высокими температурами (-1 - 3°C), о чем свидетельствует большое количество таликов, мощность мерзлоты

не превышает первые сотни метров. Мерзлотная обстановка территории участка трассы нефтепровода довольно сложна благодаря непростой геолого-тектонической обстановке и многообразия ландшафтной структуры.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Распространение и среднегодовая температура мерзлых и талых пород. Типы сезонного промерзания и оттаивания пород

Несплошное распространение мерзлых пород			Преимущественно сплошное распространение мерзлых пород			Сплошное распространение мерзлых пород					
Редко-островное, до 20%	Массивно-островное, до 50%	Прерывистое, до 80%	Радиационно-тепловые талики								
			Сквозные и несквозн. до 5%	Сквозные до 3%	Несквозные до 1%						
2--0,5	1--1	0,5--2	0,5--2	1--3	2--4	3--5	4--6	5--7	7--9	9--11	11--13
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Мощность мерзлых пород, м



Рисунок 1.3.1 - Фрагмент геокриологической карты СССР на участке прохождения нефтепровода по территории республики Саха (Якутия), 1996г.

Масштаб 1:2 500 000

1.4 Мерзлотно-ландшафтные условия

О «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР»

Анализ мерзлотно-ландшафтной структуры территории был выполнен на территории Южной Якутии. Использование мерзлотно-ландшафтного районирования буферной зоны трассы нефтепровода позволяет выполнить анализ мерзлотных условий на геолого-геоморфологической основе.

Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР масштаба 1:2 500 000 (1991) [17] составлена на основе мерзлотно-ландшафтных исследований, проведенных в Институте мерзлотоведения СО АН СССР. Авторы – А.Н. Федоров, Т.А. Ботулу, С.П. Варламов и др. За основу ландшафтных построений принята таксономическая схема Ф.Н. Милькова, а в качестве объекта картографирования выбраны типы местности и типы ландшафтов из ряда типологических комплексов и мерзлотно-ландшафтные провинции из ряда региональных комплексов.

Основная единица районирования на карте – мерзлотно-ландшафтная провинция – характеризуется определенным сочетанием типов местности. Таким образом, мерзлотно-ландшафтная характеристика рассматривается с трех точек зрения: геолого-геоморфологической (на уровне типов местности) и региональной геолого-геоморфологической (на уровне провинций).

Легенда к карте даётся в табличной форме. Каждый тип местности охарактеризован по распространению мерзлоты, температуре ММП, мощности СТС и СМС (таблица 1.4.1). «Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР» масштаба 1:2 500 000 [17] является первой мерзлотной картой на ландшафтной основе. Карта сопровождается объёмной монографией в виде Пояснительной записки (Мерзлотные ландшафты Якутии, 1989) [18], в которой каждый тип поясности (плакорный, склоновый, мелкодолинный – всего 13) охарактеризован генезису, литологическому составу и по льдистости отложений [28].

Рассмотрим специфику ландшафтной структуры каждой провинции и их основные мерзлотные характеристики на участке трассы нефтепровода с 980 км по 2495 км, проходящем по территории республики Саха-Якутия.

На участке трассы нефтепровода, проходящем через территорию Южной Якутии, выделяется 7 ландшафтных провинций, 4 равнинные и 3 горные.

К равнинным провинциям относятся: Нюе-Олекминско увалистая провинция (А.V.1), Приленская увалистая провинция (А.VI.1), Средневилуйская полого-увалистая провинция (А.IV.2), Олекмо-Алданская увалистая провинция (А.V.2). К горным относятся: Олекмо-Тимптонская плоскогорная провинция (Б.II.1), Чульманская плоскогорная провинция (Б.II.2), Становая среднегорная (Б.III.1) (рисунок 1.4.1).



Рисунок 1.4.1 - Фрагмент мерзлотно-ландшафтной карты Якутской АССР.

Федоров А.Н., 1991 г. Масштаб 1:2 500 000

Таблица 1.4.1 - Мерзлотно-ландшафтная характеристика якутского участка трассы нефтепровода

РАВНИННЫЕ

распространение ММП	сплошное		прерывистое				островное	
подзона	Среднетаежные							
провинции типы местности	A.IV.2 (1511-1565, 1611-1655 км)		A.V.1 (984-1160, 1486-1510, 1566-1610 км)		A.V.2 (1656-2080)		A.VI.1 (1161-1485 км)	
плакоры (e, ed, кор.породы)	5	-0,5÷-3,0 (-1,0÷-2,5)	6	0÷-1,5 / 0÷-2,0	6	0÷-1,5 / 0÷-2,0	7	0÷-0,5 / 0÷3,0
		СТС 0,8-4,0 (1,3-2,0)		СТС 2,5-3,5 СМС 2,5-3,5		СТС 2,5-3,5 СМС 2,5-3,5		СТС 1,5-2,5 СМС 2,5-3,5
склоны (ds, dc, c, кор.породы)	5	-0,5÷-7,0 (-1,0÷-3,0)	6	0÷-1,5 / 0÷2,0	6	0÷-1,5 / 0÷2,0	7	0÷-0,8 / 0÷3,0
		СТС 0,5-4,3 (1,0-2,5)		СТС 0,6-4,5 (1,5-3,5) СМС 2,0-3,0		СТС 0,6-4,5 (1,5-3,5) СМС 2,0-3,0		СТС 1,5-2,5 СМС 2,0-5,0
мелкодолинный (aIV)	17	0÷-5,0 (-1,5÷-4,0)	18	0÷-2,5 / 0÷2,0	18	0÷-2,5 / 0÷2,0	19	нет данных ПЖЛ, термокарст
		СТС 0,4-3,2 (0,8-1,5) подрусловые талики		СТС 0,5-2,5 СМС 2,5-4,5		СТС 0,5-2,5 СМС 2,5-4,5		
		ПЖЛ, термокарст		ПЖЛ, термокарст		ПЖЛ, термокарст		
низкотеррасовый (aIV, III-IV)			18	0÷-2,0 / 0÷2,5			19	0÷-2,0 / 0÷3,0
				СТС 0,5-2,5 СМС 2,0-5,0 (2,5-3,5)				СТС 0,5-2,5 СМС 2,0-5,0 (2,5-3,5)
				ПЖЛ, термокарст				ПЖЛ, термокарст
приводораздельный слабодренированный (bIV, e, ed)	25	-0,4÷-4,0						
		СТС 0,3-1,2 (0,4-0,8) подозерными талики						
		ПЖЛ, термокарст						

Продолжение таблицы 1.4.1

ГОРНЫЕ

распространение ММП	сплошное		прерывистое		сплошное с подозерными таликами	островное
подзона	подгольц. кустарн.	горно-редколесные		горно-таежные		
провинции типы местности	Б.П.1 (2081-2225); Б.П.1 (2400-2442)	Б.П.2 (2226-2400)*; Б.П.1 (2400-2442)**	Б.П.1 (2081-2225)	Б.П.1 (2081-2225); Б.П.2 (2226-2400)*	Б.П.1 (2081-2225)	Б.П.1 (2081-2225); Б.П.2 (2226-2400)
плоскогорно-привершинный (e, ed, кор. породы)		11** -3,0÷-7,0 СТС 0,6-2,2 (0,8-1,6)	12 0÷-3,0 / 0÷2,0 СТС 1,5-3,5 СМС 2,0-5,0			14 0÷-0,5 / 0÷2,0 СТС 1,0-4,5 СМС 3,0-6,0
горно-склоновый (с, dc, ds, кор. породы)	10 -3,0÷-9,0 СТС 0,3-2,5 (1,2-1,8)	11** -2,0÷-9,0 (-3,0÷-6,0) СТС 0,3-3,2 (0,6-1,8)	12 0÷-4,0 / 0÷2,0 СТС 1,0-4,0 (1,5-2,5) СМС 1,0-4,0 (1,5-3,0)	13 0÷-3,5 / 0÷2,0 СТС 1,0-4,0 (1,5-3,0) СМС 1,0-5,0 (1,5-3,0)		
плоскогорный слабодренированный (bIV, e)					26 -1,0÷-3,0 СТС 0,3-1,0 (0,4-0,6) термокарст	
горно-долинный (aIV)				21* 0÷-3,0 / 0÷2,0 СТС 0,5-2,5 СМС 2,5-3,5 термокарст		

Нюе-Олекминско увалистая провинция (А.V.1) характеризуется среднетаежными ландшафтами с прерывистым распространением ММП. В пределах провинции распространены 4 типа местности: плакоры, склоны, мелкодолинный и низкотеррасовый. Разнообразие условий предопределяет развитие мерзлых пород с температурами 0° - $2,5^{\circ}\text{C}$. и мощностью СТС от 0,5 до 4,5 м, а также и талых - с температурами до 2°C , с мощностью СМС 2-5 м. В пределах мелкодолинного и низкотеррасового типов местности распространены ПЖЛ (таблица 1.4.1).

Приленская увалистая провинция (А.VI.1) характеризуется среднетаежными ландшафтами с островным распространением ММП. В пределах провинции распространены 4 типа местности: плакоры, склоны, мелкодолинный и низкотеррасовый. Мощность СТС равна 0,5-2,5 м, СМС 2-5 м. Температура мерзлых пород изменяется от 0° до -2°C , в талых от 0 до 3°C . В пределах мелкодолинного и низкотеррасового типов местности распространены ПЖЛ.

Средневиллюйская полого-увалистая провинция (А.IV.2) характеризуется среднетаежными ландшафтами со сплошным распространением ММП с подрусловыми таликами в долинах крупных рек. В пределах провинции распространены 4 типа местности: плакоры, склоны, мелкодолинный и приводораздельный слабодренированный. Мощность СТС изменяется от 0,3 до 4,3 м, а температура мерзлых пород колеблется от $-0,4^{\circ}$ до -7°C . Низкотемпературные ММП распространены на склонах (до -7°C). В пределах мелкодолинного и приводораздельного слабодренированного типов местности распространены ПЖЛ.

Олекмо-Алданская увалистая провинция (А.V.2.) характеризуется среднетаежными ландшафтами с прерывистым распространением ММП. В пределах провинции распространены 3 типа местности: плакоры, склоны и мелкодолинный. Мощность СТС изменяется от 0,5 до 4,5 м. Температура мерзлых пород изменяется от 0° до $-2,5^{\circ}\text{C}$, в талых - до 2°C . В пределах мелкодолинного типа местности распространены ПЖЛ.

Олекмо-Тимптонская плоскогорная провинция (Б.П.1) характеризуется подгольцовыми кустарниковыми, горно-редколесными и горно-таежными ландшафтами. В пределах подгольцовых кустарниковых ландшафтов распространение ММП сплошное. В горно-редколесных ландшафтах - прерывистое. В пределах горно-таежных ландшафтов от сплошного с подозерными таликами до прерывистого и островного.

Чульманская плоскогорная провинция (Б.П.2) характеризуется горно-редколесными и горно-таежными ландшафтами. Распространение ММП от сплошного до островного.

Становая среднегорная (Б III.1) характеризуется подгольцовыми кустарниковыми и горно-редколесными ландшафтами. Распространение ММП сплошное.

Горно-редколесный тип ландшафта сплошных ММП занимает пологоволнистые поверхности эрозионно-денудационных плоскогорий и возвышенных предгорий, сложенных породами метаморфической, интрузивной, реже, эффузивной формаций (провинции Б.П.2 и Б.Ш.1.) Скудность растительного покрова объясняется суровостью условий его местообитания, определяющими при этом являются факторы климатического и литологического порядка. Приподнятость поверхностей и разреженность растительного покрова обуславливают неравномерное накопление снега, выступающего в данном регионе в роли основного утепляющего фактора. Совокупность этих и других условий приводит к формированию довольно низких температур горных пород (-3° - 7° С) и сравнительно небольшой мощности СТС: ее средние значения составляют 0,8-1,6 м при экстремумах от 0,6 до 2,2 м. Из мерзлотных образований здесь развиты формы криогенной сортировки грунтов: каменные многоугольники, пятна-медальоны.

Олекмо-Тимптонская плоскогорная провинция - Б.П.1 и Чульманская плоскогорная - Б.П.2 по внешним признакам имеют много общего с рассмотренным выше типом, но ему присущ и ряд отличительных черт. ПТК

данного типа ландшафта распространены на породах терригенной, карбонатной, метаморфической и интрузивной формаций, обычно сильно трещиноватых. Покровы рыхлых образований представлены литологическими разностями, характеризующимися хорошими фильтрационными свойствами. Таким образом, существующие геологические условия благоприятствуют формированию на отдельных участках таликов за счет инфильтрационного растепления горных пород. Этому способствует и довольно мощный с малой плотностью снежный покров, который выступает в роли хорошего теплоизолятора, препятствующего сильному охлаждению поверхности пород в зимний период. Совокупность этих факторов оказывает отепляющее влияние на температурный режим горных пород. На участках развития ММП температура пород составляет 0° - 3°C , а в пределах таликов - до 2°C . Мощность СТС составляет 1,5-3,5 м и варьирует, в основном, в зависимости от литологического состава рыхлых отложений. Ввиду преобладания в покровных образованиях на талых массивах несвязанных грунтов, существуют условия для проникновения в их толщу зимнего холода на значительную глубину. В целом мощность СМС изменяется в диапазоне от 2 до 5 м, редко - более.

Горно-таежный тип ландшафта островных ММП в плоскогорно-привершинном типе местности распространен в пределах пониженных участков, водораздельных пространств плоскогорий, плато и низких гор (провинции Б.П.1 и Б.П.2). Как и в предыдущем типе ландшафта, здесь существуют те же благоприятные условия для формирования положительных температур пород. В пределах ПТК горно-таежного типа острова ММП имеют температуру 0 - 0.5°C , а окружающие их талые породы – до 2°C . Мощность СТС изменяется в значительных пределах – от 1 до 4,5 м, что часто связано с изменением характера увлажненности поверхности. На талых массивах глубина сезонного промерзания составляет 3-6 м, что является характерным для естественных природных условий Южной Якутии. Большие мощности СМС в пределах водораздельных поверхностей с маломощным грубообломочным элювиальным и элювиально-делювиальным покровом связаны с конвекцией холодного воздуха в трещиноватых коренных породах [29].

Плоскогорный слабодренированный тип местности формируется в пределах высоких (свыше 1000 м) плоскоравнинных приводораздельных участков, характеризующихся ограниченными условиями дренажа. Обычно это крупные, тектонически дифференцированные блоки, в пределах которых формируются обширные замкнутые понижения, что способствует накоплению продуктов денудации и покровных биогенных отложений. Сочетание специфических природных условий способствует формированию в данном типе местности (провинция Б.П.1) особого интразонального водораздельно-маревого горно-таёжного типа ландшафта сплошных ММП с подозерными таликами. Растительность представлена лиственничными рединами и редколесьями кустарничково-сфагновыми с ерником. Редколесья чередуются с кустарничково-сфагновыми и пушицево-зеленомошными болотами и плоско бугристыми торфяниками. Температура пород изменяется от - 1 до -3°C. Сравнительно низкотемпературными (-2-3°C) ММП здесь являются льдонасыщенные торфяники.

Коллювиальные отложения (с) представлены преимущественно щебнисто-глыбовым материалом с суглинисто-супесчаным и песчаным заполнителем, редко – щебнистыми песками и суглинками. Делювиально-коллювиальные отложения (dc) на карбонатных породах представлены щебнистыми и дресвяно-щебнистыми суглинками, на терригенных - песками, супесями и суглинками со щебнем. Делювиально-солифлюкционные отложения (ds) на карбонатных породах – суглинки и глины с дресвой и щебнем, на терригенных — супеси, пески и суглинки с дресвой и щебнем. Льдистость супесчаных и глинисто-суглинистых отложений равна 30-65%, криотекстуры слоистые и линзовидные; льдистость песчаных отложений – 30-50%, криотекстура массивная; льдистость глыбово-щебнистого материала с заполнителем 30-50%, криотекстуры корковые, базальные, местами образуется гольцовый лед.

Элювиальные и элювиально-делювиальные отложения (е, ed) представлены щебнисто-глыбовым материалом с супесчано-суглинистым заполнителем. Элювиальные и элювиально-делювиальный комплекс (е, ed) часто перекрыт

торфяными отложениями мощностью до 2-2,5 м. Суммарная мощность рыхлых отложений составляет от нескольких до первых десятков метров. Характерными криогенными текстурами являются слоистые, линзовидные и сетчатые. Объемная льдистость глинистых грунтов 45-65%, а гравелистых песков – 30-40%.

В биогенных (торфяных) отложениях (b) развиты ПЖЛ вертикальной мощности 2-3 м. Льдистость (торфяных отложений изменяется от 75 до 90%) (с учетом ПЖЛ – 80-95%).

Современный комплекс аллювиальных отложений (a) представлен песчано-галечниковым материалом с валунами и гравием. Верхние горизонты разреза слагают супеси и суглинки, нередко перекрытые торфяными покровами. Мощность аллювия изменяется от первых до нескольких десятков метров. Для песчано-галечниковых отложений характерны массивные и корковые текстурообразующие льды, а для песчано-суглинистых и торфяных - слоистые, сетчатые и линзовидные. На участках распространения торфяников и супесчано-суглинистых пойменных фаций в условиях низкотемпературных ММП встречаются ПЖЛ вертикальной мощности до 3 м. В пределах горно-долинного типа местности встречаются наледные поляны и бугры пучения, нередки линзы инъекционных льдов. Объемная льдистость торфяных грунтов составляет 65-90% (с учетом ПЖЛ 70-95%), супесчано-суглинистых - 45-65% (с учетом ПЖЛ 50-75%) и песчано-галечниковых отложений – 25-45% (таблица 1.4.1).

1.5 Ландшафтно-геоморфологические условия

Анализ ландшафтно-геоморфологических условий был выполнен на основе карты природных комплексов, которая была составлена коллективом авторов ИГЭ РАН в 2010 году в масштабе 1:100 000 для буферной зоны магистрального нефтепровода общей протяженностью 2691 км.

Природный комплекс - это генетически единая однородная по зональным и азональным признакам местность, в которой все основные компоненты: рельеф, климат, воды, почвы, растительность и даже животный мир – находятся в сложном взаимодействии и взаимообусловленности, образуя однородную по

условиям развития единую неразрывную систему.

При составлении карты важнейшими стали два характерных признака - рельеф и растительный покров, так как по этим двум компонентам можно с достаточной уверенностью судить обо всех остальных составляющих природного комплекса - характере дренажа, почвах, местном климате и т.д. Таким образом, карта и легенда построены по зонально-генетическому признаку, то есть с учётом происхождения территории и зональной дифференциации природных комплексов в современных природных условиях.

На карте природных комплексов дается характеристика рельефа и современной растительности в границах буферной зоны нефтепровода. При разработке контурной части карты использовались космические многозональные сканерные снимки сверхвысокого разрешения (GeoEye-1, основной материал) и высокого (Landsat 7 ETM, дополнительный материал, 19 снимков, рис. 1.5.1.) и горизонталь топографической карты масштаба 1:25000. Для интерпретации выделов привлекались материалы аэровизуального обследования трассы нефтепровода, мелкомасштабные ландшафтные карты и карты растительности разных лет [30].

Дальнейшая обработка по составлению ландшафтной карты осуществлялась в программе MapInfo 8.0 и включала четыре нижеследующих этапа.

На первом этапе сводились результаты дешифрирования природных комплексов по разным снимкам в едином слое ГИС с ручным устранением перекрытий. Каждый контур характеризовался индексом снимка, по которому он был получен, и номером класса классификационного изображения.

На втором этапе выполняется интерпретация содержания полученных выделов. Название доминантных растительных сообществ определялось по составу древесного яруса, диагностируемого по изображениям снимков аэровизуального обследования и мелкомасштабных карт растительности. В некоторых случаях в название фитоценоза включались доминанты и эдификаторы травяно-кустарникового яруса. Характеристики контуров, не обеспеченных материалами

аэровизуального обследования, определялись по их аналогам классификационной принадлежности, полученных в ходе автоматического дешифрирования. Свойства рельефа для каждого выдела наделялись на основе визуальной интерпретации карт морфометрии и морфологии рельефа и горизонталей топографической карты масштаба 1:25000.

На третьем этапе выполнялась содержательная генерализация контуров природных комплексов, получившие при идентификации одинаковое содержание, и ручная коррекция контуров природных комплексов речных долин малых рек, днищ и низких речных террас и аквальных комплексов на основе визуального анализа космических снимков и горизонталей рельефа.

Всего получено 143 уникальных разновидности выделов природных комплексов. Цветовая схема легенды включает 66 подразделений, имеющих индивидуальный цвет и уникальных по условиям рельефа (рисунок 1.5.1). Дальнейшее разделение 66 основных категорий на классы формаций древесного яруса растительности показывается на карте с помощью индексов [25].

Карта природных комплексов была подготовлена в программе MapInfo 8.0 специалистами лаборатории дистанционного мониторинга геологической среды ИГЭ РАН. Информация, содержащаяся в таблице семантики карты природных комплексов, позволила средствами MapInfo с использованием тематических запросов построить 4 дополнительных тематических карты в масштабе 1:100 000 (карту типов местности, карту типов растительности, карту типов рельефа и карту заболоченности территории (рисунок 1.5.2)).

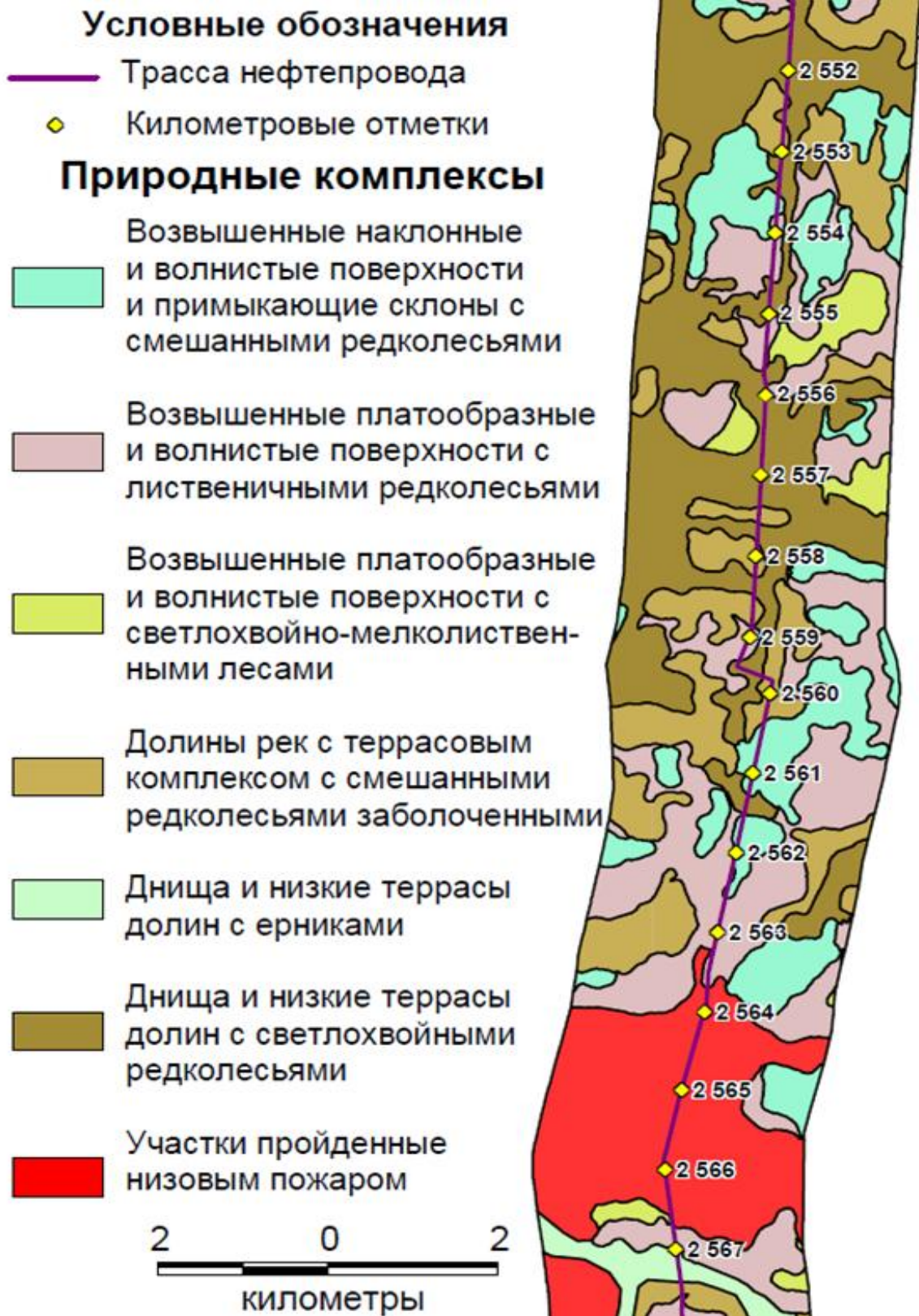
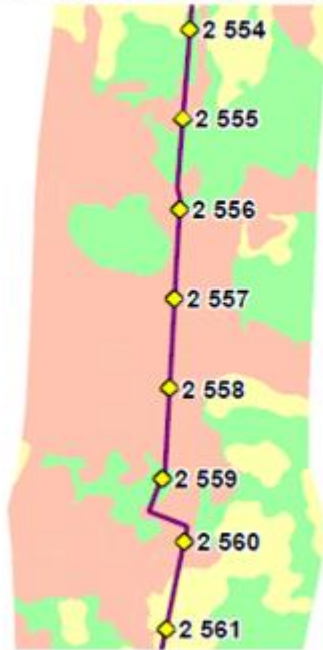


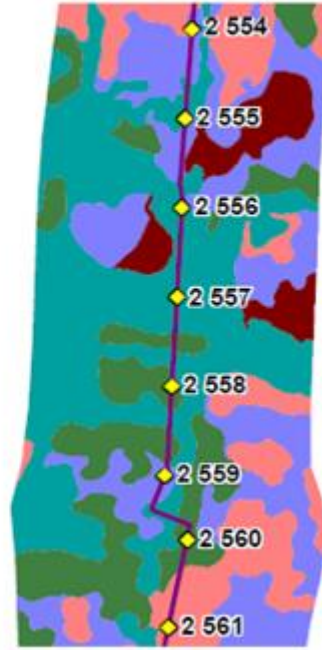
Рисунок 1.5.1 - Фрагмент карты природных комплексов на территорию вдоль нефтепровода. Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН).

Масштаб 1:100 000

Фрагмент карты типов местности (4 типа)

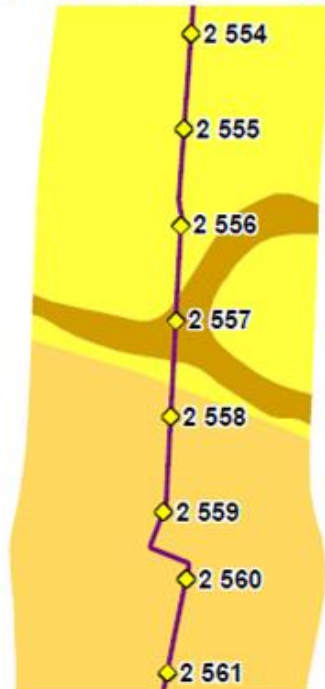


Фрагмент карты типов растительности (53 типа)



1 0 1
километры

Фрагмент карты типов рельефа (15 типов)



Фрагмент карты заболоченных территорий (2 типа)



1 0 1
КИЛОМЕТРЫ

Рисунок 1.5.2 - Фрагменты карт типов местности, растительности, рельефа и заболоченных территорий на участке нефтепровода Южной Якутии

Таблица 1.5.1 - Типы растительности

Индекс	Наименование типа растительности
1	Березняки заболоченные
2	Болота верховые и переходные
3	Гарь с группами лиственницы, реже сосны с выжженным наземным покровом
4	Гарь с сочетанием участков с подростом лиственницы и сосны с сухостоем и сохранившихся фрагментов лиственничных лесов с участием сосны
5	Гольцы с единичной растительностью
6	Гольцы с редкостойной растительностью
7	Елово-лиственничные и лиственнично-еловые зеленомошные редкостойные
8	Елово-лиственничные и лиственнично-еловые редкостойные
9	Елово-пихтовые леса
10	Еловые ольховниковые заболоченные леса
11	Еловые с примесью пихты и мелколиственных пород
12	Ерниковые и ивняковые сообщества, местами с единичными низкорослыми лиственницей, сосной и березой, с сухостоем на вырубках и гарях частично заболоченные
13	Ерниковые кустарничково-зеленомошные сообщества с единичными лиственницей, сосной и березой
14	Ерниковые разреженные заросли с низкорослой лиственницей и выходами коренных пород
15	Зарастающие гари с обильным подростом лиственницы и отдельными группами лиственницы, с развитым травянистым ярусом
16	Кедрово-стланиковые и ерnikово-кедровостланиковые разреженные сообщества с участками каменистого грунта
17	Кедрово-стланиковые и ерnikово-кедровостланиковые разреженные сообщества с участками каменистого грунта с единичной низкорослой лиственницей
18	Крупные водоемы
19	Кустарниковые, ерниковые кочкарные местами с единичной низкорослой лиственницей и березой, часто заболоченные
20	Лиственничники редкостойные ерниковые местами с участием кедрового стланика
21	Лиственнично-кедрово-еловые леса с примесью березы, заболоченные
22	Лиственничники редкостойные с пятнами каменистого грунта
23	Лиственнично-березовые и березовые леса с пятнами каменистого грунта
24	Лиственнично-березовые и березовые леса
25	Лиственнично-елово-кедровые леса
26	Лиственнично-сосновые с участием березы и осины
27	Лиственничные заболоченные редкостойные
28	Лиственничные кедрово-стланиковые зеленомошные редколесья
29	Лиственничные кустарниковые
30	Лиственничные кустарничково-сфагновые редкостойные
31	Лиственничные леса
32	Лиственничные ольховниковые
33	Лишенные растительности участки на территориях дражных переработок
34	Лишенные растительности участки по крупным дорогам
35	Лугово-болотный

36	Лугово-кустарниковые с отдельными мелколиственными деревьями
37	Мелколиственные леса с участием пихтово-кедрово-еловых лесов
38	Мелколиственные леса, преимущественно березовые
39	Пихтово-кедрово-еловые
40	Подрост мелколиственных и светлохвойных пород по вырубкам и гарям
41	Практически лишенные участки или участки с пионерной растительностью на территориях пройденных сильным низовым пожаром
42	Разнотравно-осоковые луга с фрагментами ивняков
43	Селитебные территории
44	Сельскохозяйственные угодья
45	Сельскохозяйственные угодья иногда зарастающие
46	Сельскохозяйственные угодья, частично зарастающие в сочетании с мелколиственными лесами
47	Смешанные елово-пихтово-березовые
48	Сосново-березовые и березово-сосновые кустарничковые
49	Сосново-елово-пихтовые леса
Индекс	Наименование типа растительности
50	Сосновые и березовые леса с отдельными заболоченными участками
51	Сосновые и мелколиственные леса, участки подроста лиственницы по гари
52	Сосновые леса
53	Сосновые, лиственничные и сосново-лиственничные

Карта типов рельефа содержит характеристику особенностей рельефа территории. На карте представлено 15 типов рельефа приведенных в таблице 1.5.2.

Таблица 1.5.2 - Типы рельефа

Индекс	Наименование типа рельефа
1	Возвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные поверхности
2	Возвышенные слаборасчлененные платообразные поверхности, осложненные эрозионными долинами
3	Области высоких межгорных впадин и сильнорасчлененных возвышенных платообразных поверхностей
4	Области горного расчлененного рельефа
5	Области низких долинных и межгорных впадин
6	Области низкого грядового и грядово-увалистого рельефа
7	Области низкого холмисто-увалистого рельефа
8	Области низкогорного расчлененного рельефа и приподнятого грядового рельефа
9	Области слабовозвышенного грядово-увалистого рельефа
10	Области слабовозвышенного сильнорасчлененного грядового рельефа
11	Области слабовозвышенного увалистого рельефа
12	Области слабовозвышенных ступенчато-платообразных останцовых поверхностей
13	Области средневозвышенного сильнорасчлененного грядового рельефа

14	Область расчлененного грядового и холмисто-грядового рельефа
15	Средневозвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные поверхности

Карта заболоченности территории содержит информацию о крупных болотных массивах территории. Цветовая схема легенды карты включает 2 цвета, темно- и светло-зеленый. Светло-зеленым обозначены дренированные ландшафты, темно-зеленым заболоченные.

В качестве особых категорий на картах выделены водные, площадные и линейные объекты, наиболее крупные дороги.

1.6 Климатические факторы

Согласно климатической классификации Б.П. Алисова [31], в основу которой положены циркуляционные процессы и преобладание отдельных географических типов воздушных масс, район нефтепровода находится в III-ем климатическом поясе (умеренная циркуляция) в 11-ой климатической области (Континентальная Восточносибирская). По классификации климатов М.И. Будыко и А.А. Григорьева [31], основанной на характеристиках теплового баланса деятельной поверхности, район работ находится в зоне действия климата с индексом П 3с. Расшифровка индекса такова: П – климат влажный (индекс сухости от 0,45 до 1,00), 3 – умеренно теплый (по температурным условиям теплого периода), с – умеренно суровая малоснежная зима (по температурным условиям и степени снежности зимы).

Вблизи территории трассы расположено 13 метеостанций, зоны наблюдения которых охватывают ее на всей протяженности от г. Тайшет до г. Сковородино.

Схема расположения метеостанций и выделение зон их влияния на трассу представлены на рисунке 1.6.1.

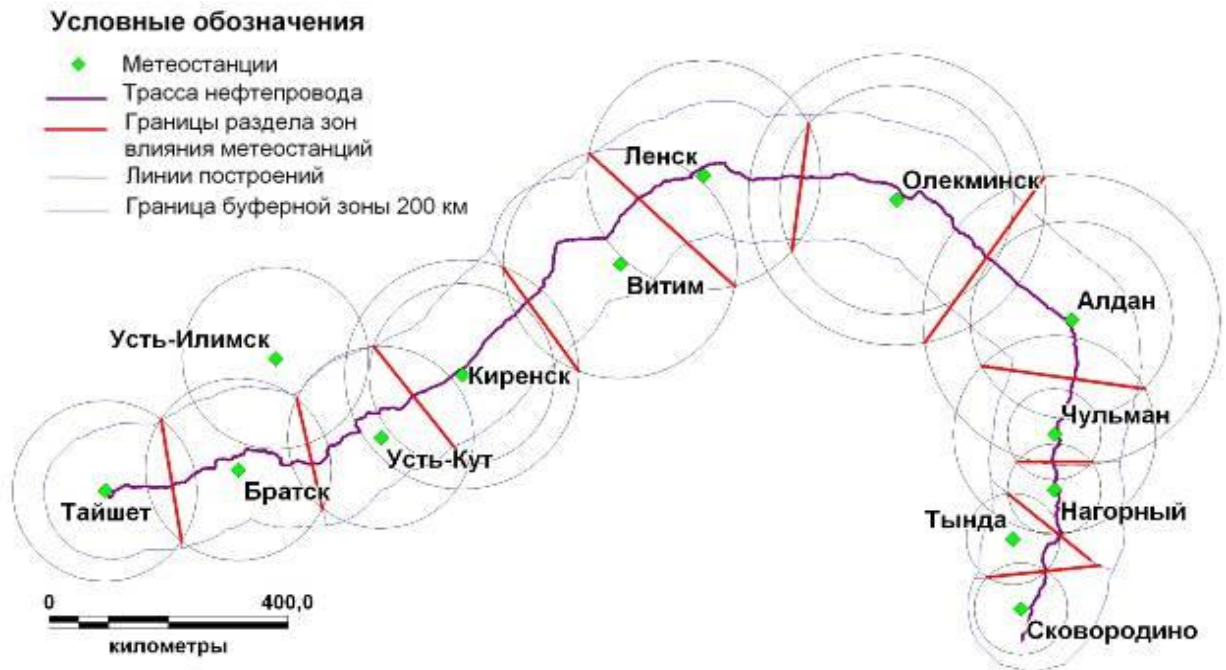


Рисунок 1.6.1 - Разделение трассы нефтепровода на зоны влияния метеостанции методом геометрических построений

Температура воздуха. Ввиду многообразия климатических условий в коридоре трассы, обусловленного сложным характером рельефа и разнообразием типов местности на территории ее пролегания, был проведен анализ изменения средних многолетних значений основных климатических характеристик (среднегодовой температуры t_{avg} , минимальной и максимальной температуры (t_{min} и t_{max}) и суммы годовых осадков Σ по метеостанциям (таблица 1.6.1).

Таблица 1.6.1 - Сравнение средних многолетних данных по метеостанциям, расположенным вдоль трассы нефтепровода за период с 2000 по 2011 г.

Метеостанции	Витим	Ленск	Олекминск	Алдан	Чульман	Нагорный	Тында
$t_{avg}, ^\circ\text{C}$	-4,4	-5,3	-5,8	-5,5	-6,7	-6,7	-4,5
$t_{min}, ^\circ\text{C}$	-55,5	-54,2	-52,9	-46,1	-48,6	-47,0	-45,8
$t_{max}, ^\circ\text{C}$	36,4	36,1	35,9	34,2	33,8	32,7	35,7
Σ, mm	435,7	493,2	310,8	652,3	546,7	595,1	646,9

Максимальная средняя многолетняя температура ($-4,4^\circ\text{C}$) характерна для метеостанции Витим, а минимальная ($-6,7^\circ\text{C}$) – для районов метеостанций Чульман и Нагорный, расположенных в восточной части нефтепровода (рисунок 1.6.2).

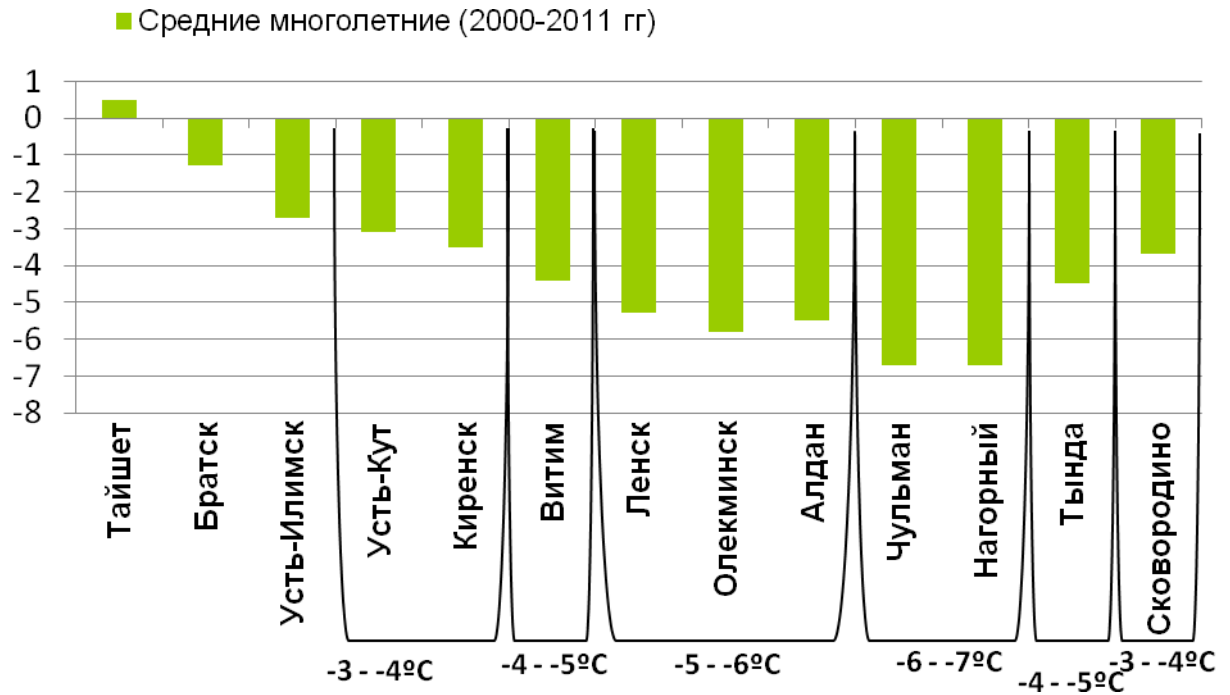


Рисунок 1.6.2 - Средние многолетние температуры воздуха вдоль трассы нефтепровода за период 2000-2011 г.

По средним многолетним температурам воздуха буферную зону нефтепровода на участке распространения термокарстовых явлений можно разделить на 4 зоны. Зоны со средней многолетней температурой воздуха $-3 - -4$ °C; $-4 - -5$ °C, $-5 - -6$ °C, $-6 - -7$ °C.

Осадки. Континентальность климата проявляется также в режиме осадков. Преобладающая часть осадков приходится на теплое время года: за три летних месяца выпадает около 50% их годового количества. К лету возрастает повторяемость арктических вторжений в сторону Тихого океана, в связи с чем происходит усиление гавайского антициклона. Последний расширяется к северу, а его западный отрог выдвигается далеко на запад [28].

Наибольшее количество осадков (652,3 мм) фиксировалось на метеостанции Алдан, расположенной в предгорном районе восточной части нефтепровода; наименьшее количество осадков (310,8 мм) наблюдалось в районе г. Олекминск.

По степени увлажнения рассматриваемая территория относится к зоне достаточного увлажнения. В районе выпадает сравнительно большое количество осадков (от 310 до 650 мм), которое по сезонам года распределяется крайне

неравномерно. Большая часть осадков выпадает в виде дождя в теплое время года (67-83%) в результате оживления циклонической деятельности. Наиболее дождливыми месяцами являются июль и август (31-44% от годовой нормы) (рисунок 1.6.3).

Анализируя данные метеостанций Алдан, Чульман, Нагорный, Тында, можно заключить, что для восточной части нефтепровода характерно большее количество осадков и более суровые температурные условия, чем для западной. Это объясняется горным характером рельефа восточной части нефтепровода. В частности, большое количество осадков в окрестностях г. Алдан обусловлено его расположением в предгорном районе, где благодаря наличию естественных преград скапливаются воздушные массы.

По средним суммам осадков буферную зону нефтепровода на участке распространения термокарстовых явлений можно разделить на 3 зоны. Зоны со средней многолетней суммой осадков 300-500 мм/год; 400-500 мм/год, 500-700 мм/год

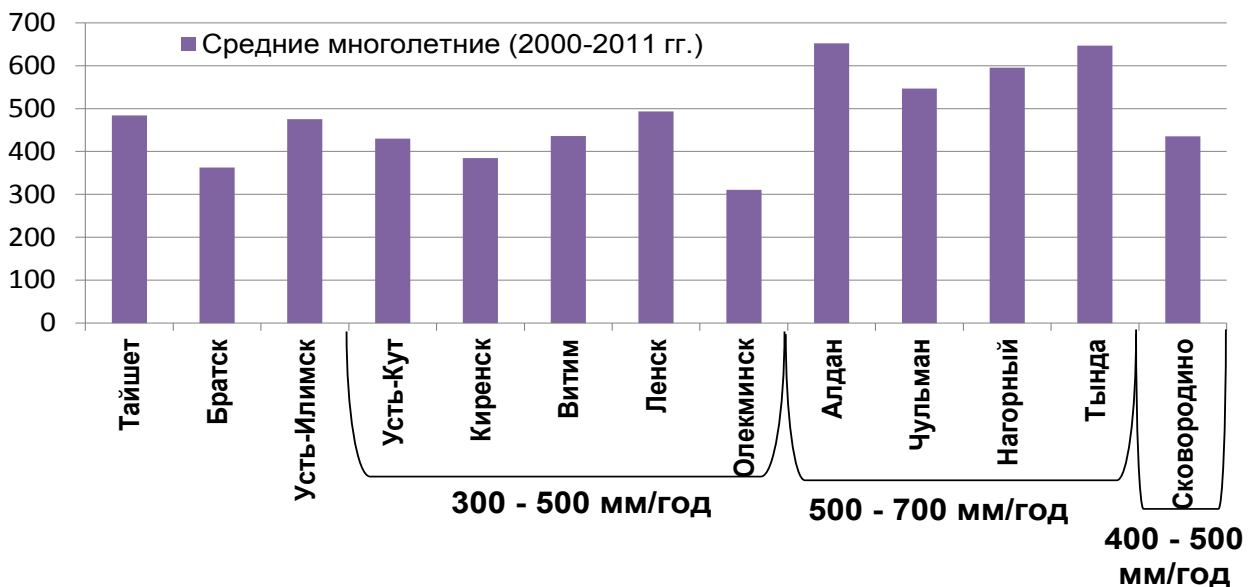


Рисунок 1.6.3 - Средние многолетние суммы осадков вдоль трассы нефтепровода за период 2000-2011г.

Выводы:

1. Природные особенности нефтепроводной системы (ТС) обусловлены современным климатом и историей развития существующих тектонических структур платформенного и горно-складчатого типа. Наиболее существенные отличия инженерно-геологических условий территории обусловлены тектонической природой рельефа и тесно связанными с ним мерзлотно-геологическими, ландшафтными и климатическими условиями и факторами.

2. Согласно карте морфоструктурного районирования, в буферной зоне трассы нефтепровода рассматривается два типа структур: донеотектонические (древние) региональные структуры и неотектонические (новейшие по возрасту образования) структуры второго порядка. Трасса нефтепровода пересекает две региональных структуры: Сибирскую древнюю докембрийскую платформу и Монголо-Охотскую позднепротерозойско-палеозойскую горно-складчатую систему. В пределах Сибирской платформы выделяются плита с осадочным чехлом и Алдано-Становой щит. По направленности (вертикальной и горизонтальной), интенсивности движений и особенностям их выражения в рельефе неотектонические структуры второго порядка можно разделить на три типа: свод, прогиб и поднятие.

3. На основании особенностей геологического строения и неотектонических структур (морфоструктур) полосу трассы нефтепровода можно разделить на три части: 1) равнинную (0-800 км), 2) плоскогорную (800-1800 км) и 3) нагорную (1800-2691 км). Тектоническое строение различных частей территории в значительной степени определяет характер покрова рыхлых отложений. В пределах депрессий происходит накопление аллювиальных, делювиально-солифлюкционных и озерно-болотных отложений, в том числе и формирование торфяников. Наоборот, в горных районах эти генетические типы пользуются весьма ограниченным распространением и широко развиты гравитационные образования.

4. На всей территории мерзлота характеризуется высокими температурами, о чем свидетельствует большое количество таликов, мощность

мерзлоты не превышает первые сотни метров. Многолетнемерзлые толщи представлены, в основном, эпигенетически промерзшими породами. По мерзлотным условиям буферную зону трассы нефтепровода на территории Южной Якутии можно разделить на семь частей по характеру распространения ММП, их мощности и среднегодовой температуре пород.

5. На участке трассы нефтепровода, проходящем через территорию Южной Якутии, выделяется 7 ландшафтно-мерзлотных провинций: 4 равнинные и 3 горные. Каждая провинция охарактеризована по типам местности и особенностям распространения в них мерзлоты, льдистости отложений, мощности СТС и СМС и температуре многолетнемерзлых пород.

6. На основании ландшафтно-геоморфологических особенностей в буферной зоне трассы нефтепровода выделены 4 типа местности (интразональные ландшафты, лесные, лесотундровые горные и лесотундровые равнинные), 53 типа растительности, 15 типов рельефа, ландшафты разделены на заболоченные и дренированные.

7. Методом геометрических построений буферная зона нефтепровода была разделена на зоны влияния тринадцати близлежащих метеостанций. По средним многолетним суммам осадков буферную зону нефтепровода на участке распространения термокарстовых явлений можно разделить на 3 зоны. По средним многолетним температурам воздуха буферную зону нефтепровода на участке распространения термокарстовых явлений можно разделить на 4 зоны.

8. Выделенные принципы районирования буферной зоны нефтепровода по тектоническим, геологическим, мерзлотным, мерзлотно-ландшафтным, ландшафтно-геоморфологическим и климатическим условиям и факторам являются основой для анализа распространения явлений термокарста.

Глава 2. Анализ региональных особенностей проявления и распространения термокарста

2.1 Усовершенствование метода аэровизуального обследования для оперативного получения данных о распространении термокарстовых форм и других геологических явлений

Для обеспечения устойчивого развития территории в условиях постоянной техногенной нагрузки необходим контроль состояния природно-техногенных систем не только на этапе строительства инженерных сооружений, но и в течение всего периода их эксплуатации. В настоящее время все больше внимания начинает уделяться вопросам мониторинга. Однако недостатки методов инженерно-геологических изысканий, компромиссы при выборе проектных решений и отклонения от проекта при строительстве переносят полный комплекс задач по информационному обеспечению безаварийной эксплуатации инженерных сооружений в сферу эксплуатационного мониторинга. Экзогенные геологические процессы являются главными источниками изменений, происходящих в природно-технической системе. Их развитие оказывает влияние на работоспособность инженерных сооружений и может привести к аварийным ситуациям.

В условиях ограниченности средств и быстро меняющейся геокриологической обстановки необходимы методы оперативного анализа ситуации для проектирования и реализации компенсирующих или защитных мероприятий по снижению воздействия геокриологических и других геологических процессов на инженерное сооружение. При обследовании протяженных линейных объектов оперативность анализа вызывает наибольшие трудности.

Аэровизуальное обследование является одним из немногих методов, позволяющих в короткие сроки и с относительно небольшими затратами получить обзорную, актуальную информацию о распространении и динамике экзогенных геологических процессов на протяженных линейных объектах.

Для получения информации о распространении и динамике экзогенных геологических явлений решаются следующие задачи:

- разработка методики обнаружения явлений;
- разработка методики пространственной привязки информации;
- разработка методики дешифрирования границ явлений с описанием их характеристик.

Методика обнаружения явлений

В ходе аэровизуальных работ выполняется перспективная фотосъемка явлений криогенных процессов, ориентиров на местности, природного (ненарушенного) ландшафта, развития природно-обусловленных экзогенных процессов, которые могут оказать влияние на нефтепроводную систему. Этот вид съемки ранее успешно использовался в ходе составления Ландшафтной карты СССР (масштаб 1:2500000) для создания эталонов каждого из выделенных видов ландшафта. Он позволяет более точно позиционировать криогенные явления на местности, дает возможность выявить взаимоотношения между элементами ландшафта. Получаемый в результате фотоматериал отличается наглядностью.

Операторы осуществляют съемку через открытый иллюминатор воздушного судна, непрерывно снимая трассу с небольшим отклонением оси объектива вперед. Ракурс съемки выбирается так, чтобы захватить в кадр охранную зону линейного объекта целиком. Увеличение изображения устанавливается так, что бы в кадр попадала полоса местности не шире 100-150 метров.

Вертолетный облет в двух направлениях обеспечивает ширину исследуемого коридора трассы до 3 км, что позволяет сравнивать состояние нарушенных и ненарушенных ландшафтов. Данное сравнение помогает в определении генезиса процессов, идентификация которых в ходе дистанционных исследований не всегда возможна.

Аэровизуальные работы проводятся дважды в год: весной, после схода снежного покрова, и в конце лета, в период максимального протаивания сезонноталого слоя (СТС) многолетнемерзлых пород. Наиболее представительным считается летний облёт. Основной целью весеннего облета является фиксация явлений сезонных геокриологических процессов, таких, как наледи и пучение.

Методика пространственной привязки информации

В течение всего полета производится непрерывная, с интервалом в одну секунду, регистрация навигационных координат с помощью GPS-приемника. На всех съемочных аппаратах и навигационном оборудовании выставляется синхронизированное время. В ходе работ выполняется контроль регистрации времени. Перед началом и в конце фотосъемки осуществляется фотографирование шкалы мирового времени навигационного приемника, а также фотографирование ориентиров (повороты трассы, сосредоточенные объекты, переходы через водные объекты).

Привязка точек фотографирования к картографической основе включает следующие технологические операции:

- проверка целостности и полноты архива первичных данных;
- вычисление поправок к времени регистраторов фотокамер;
- вычисление координат для каждого момента съемки;
- формирование карты фактического материала с контролем точности привязки фактического материала;
- формирование фототаблицы фактического материала.

Основным тематическим содержанием карты фактического материала являются координаты точек фотографирования экзогенных геологических явлений с подписанными названиями снимков, а также, при наличии, границы ареалов распространения явлений, зафиксированные в предыдущем цикле аэровизуального обследования.

Координаты точки фотографирования с указанием имени файла и исполнителя размещались на картографической основе. Картографическая основа была составлена в масштабе 1:25000, в симметричной относительно оси нефтепровода полосе шириной 3 километра. В состав картографической основы включались следующие элементы: населенные пункты, гидрография, рельеф, пути сообщения, линии электропередач, болота и заболоченные участки.

Картографическая основа служит для ориентирования при проведении аэровизуального обследования и является основой для карты фактического материала. Поверх картографической основы наносятся элементы нефтепроводной системы. На первом плане размещаются контуры явлений, выделенные по материалам предыдущих циклов обследования, а также центры фотографирования. Фрагмент карты фактического материала приведен на рисунке 2.1.1.

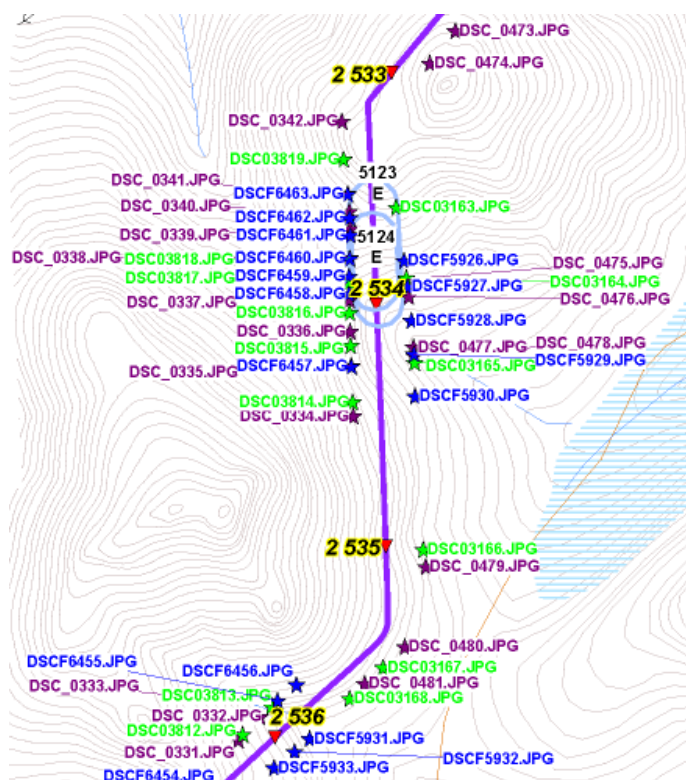


Рисунок 2.1.1 – Фрагмент карты фактического материала.

Пример легенды к карте фактического материала представлен на рисунке 2.1.2.



Рисунок 2.1.2.– Легенда к карте фактического материала

Методика дешифрирования границ проявлений с описанием их характеристик

Карта фактического материала в комплексе с материалами аэрофото- и космосъемки послужила основой для камерального дешифрирования явлений. Аэровизуальные обследования в комплексе с классической аэрокосмосъемкой позволяют обнаружить не только явления экзогенных геологических процессов, но и участки со сложными инженерно-геологическими условиями, например, участки с распространением повторно-жильных льдов.

Камеральное дешифрирование было реализовано с помощью программного комплекса ПМО ПОД специально разработанного ООО «ЦИЭКС» для этих задач (рисунок 2.1.3).

Данный программный комплекс обеспечил выполнение ряда процедур:

- просмотр изображения при помощи нажатия правой кнопки мыши на значок фотоснимка с определенным именем;
- дешифрирование контуров явления при помощи программного инструмента «полилиния»;

- занесение характеристик проявления в поля стандартной формы;
- автоматическое связывание ареала проявления с табличной формой и именем изображения [16, 21, 22, 23].

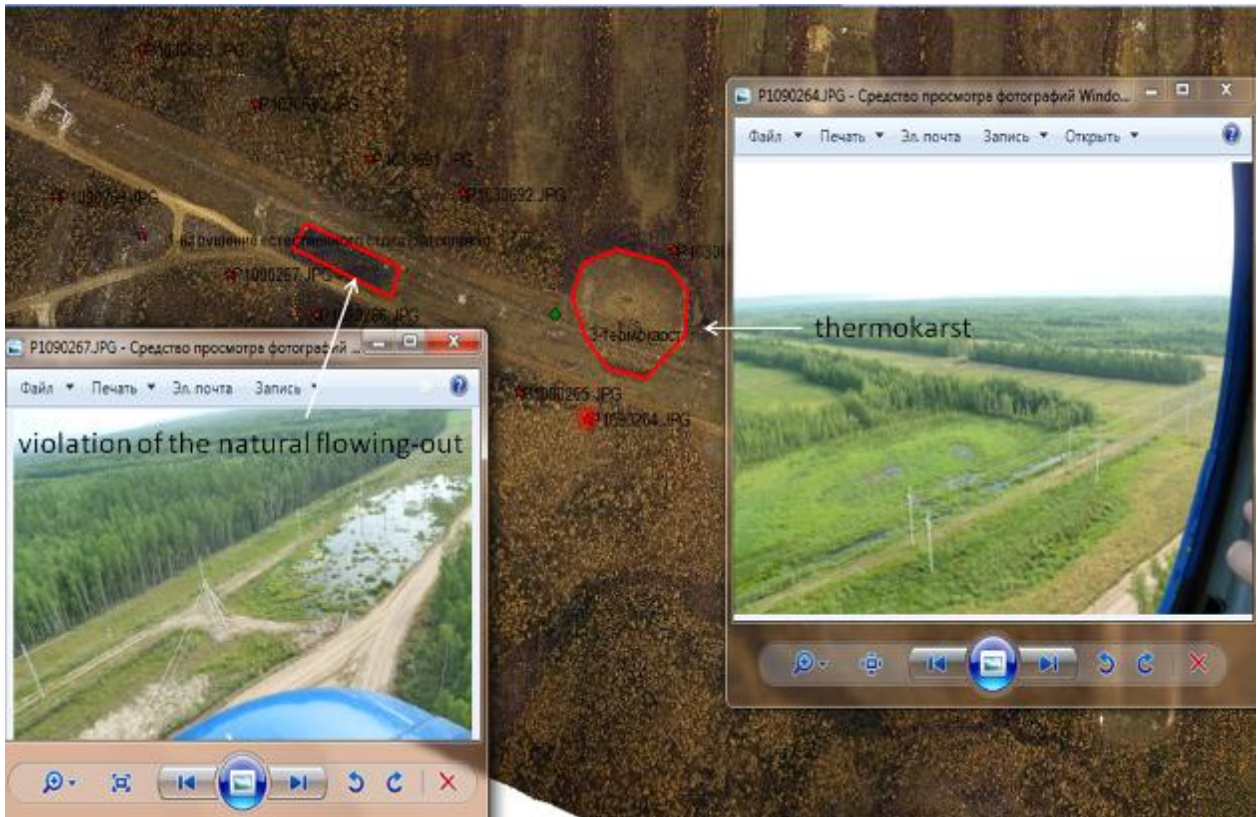


Рисунок 2.1.3 - Пример оцифровки контура явления в программе ПМО ПОД.

Выводы:

В результате аэровизуальных обследований, выполняемых сотрудниками ИГЭ РАН и ООО ЦИЭКС с участием автора данной работы в период с 2010 по 2012 гг., были получены:

- более 7000 изображений трассы нефтепровода ежегодно;
- карта фактического материала с изображением точек фотографирования и имен фотоснимков;
- карта распространения экзогенных геологических явлений в коридоре трассы нефтепровода шириной 50 м.
- изображения экзогенных геологических явлений по трассе с привязкой к контуру;

– морфометрические характеристики каждого проявления.

Преимуществами аэровизуального обследования являются:

1. Данный метод один из наиболее экономически выгодных методов, позволяющих в короткие сроки предоставить актуальную информацию о распространении геокриологических и других экзогенных геологических явлений вдоль протяженных линейных объектов.

2. В комплексе с другими дистанционными методами ошибка в нанесении контура явлений составляет 5 метров поперёк оси линейного сооружения и 30 метров вдоль него; в определении видимых размеров контура ошибка не превышает 10%.

3. Фотоизображения, получаемые в результате аэрофотосъемки, позволяют получить более детальную информацию о морфологических характеристиках явлений и ландшафтов, что облегчает вопрос идентификации явлений и выделения эталонов дешифрирования.

4. Разработанная методика аэровизуального обследования, предполагающая однотипность описания экзогенных геологических явлений, позволяет получать информацию о местоположении и динамике явлений. Данная информация может послужить основой для анализа региональных закономерностей распространения явлений.

Ограничениями аэровизуального обследования являются:

1. Аэровизуальное обследование не может обеспечить точной привязки объекта на местности и его необходимо использовать в комплексе с другими дистанционными методами (космосъемка, аэрофотосъемка). Однако в рамках многолетнего мониторинга повторного проведения космо- или аэрофотосъемки не требуется.

2. Этот вид обследований не несет детальной информации об объекте исследования и требует уточнения в ходе дополнительных исследований или полевых работ.

3. Данный метод обеспечивает получение информации о распространении и морфологии явлений, однако не всегда позволяет судить о развитии процессов. О развитии термокарстового процесса можно говорить лишь при обнаружении вторичных признаков (пьяный лес, деформационные трещины и пр.) или оценивая увеличение количества явлений на заранее заданном участке [32].

2.2 Обзор существующих представлений о термокарсте и его типах

Термокарсту посвящена обширная литература. Впервые термин введен в научную литературу М.М. Ермолаевым (1932) [33]. Позднее в литературе определению термину "термокарст" были даны многими исследователями Сумгиным с соавторами (1940 г.) [34], Поповым (1953 г.) [35], Качуриным (1961 г.) [36], Востряковым с соавторами (1974 г.) [37], Катасоновым (1978 г.) [38], John (1979 г.) [39], Щукиным (1980 г.) [40], Гречищевым с соавторами (1980 г.) [41], Ю.Л. Шуром [42] и другими. Термин «термокарст» в работе применен для описания процесса, связанного с вытаяванием подземных льдов, сопровождающегося просадками земной поверхности, что обуславливает появление отрицательных форм рельефа или микрорельефа. Следуя определениям вышеуказанных авторов, можно сделать обобщение, что термокарст представляет собой совокупность физико-геологических процессов, развивающихся многостадийно вследствие нарушения теплообмена между атмосферой и литосферой. Так же, вслед за Ю.Л. Шуром, следует отметить, что в более поздних определениях термокарста разделяется понятие явлений термокарста (некоторого временного среза процесса или его конечного результата) и собственно процесса термокарста.

В данном исследовании автор придерживается определения термокарста предложенного Ю.Л. Шуром [42] в котором говорится, что термокарст - комплексный инженерно-геологический или природный геологический процесс, состоящий из таяния залежеобразующего или текстурообразующего подземного льда и уплотнения оттаявшего грунта, результатом чего является деформация

грунтового массива и земной поверхности и образование ряда специфических форм мезорельефа области с многолетнемерзлыми породами.

Современные представления о термокарсте сводятся к тому, что он является комплексным физико-геологическим процессом при этом подразделяется на основные составляющие [42]:

- 1) консолидация оттаявшего грунта, состоящая из уплотнения грунтового скелета оттаявшего грунта и фильтрации воды к поверхности;
- 2) оттаивание грунта в результате теплообмена грунтового массива с атмосферой или гидросферой;
- 3) развитие термокарстового образования в стороны в результате денудации его бортов;
- 4) снос денудируемого материала в термокарстовую западину или термокарстовое озеро;
- 5) деформации земной поверхности.

Также Ю.Л. Шур в 1988г. подвергает критике определение термокарста предложенное Е.М. Катасоновым в 1978 г. [38], в котором к явлениям, связанным с термокарстом, относятся лишь крупные формы мезорельефа - котловины. Ю.Л. Шур считает, что термокарст следует понимать деформирование земной поверхности в результате вытаивания подземного льда независимо от масштаба процесса.

С.П. Качурин [36] также отмечает, что процесс термокарста может быть сезонным, когда цикл его развития заканчивается в один сезон протаивания почвы, и многолетним, когда цикл протаивания длится более двух лет.

Из вышеизложенного следует, что термокарстовый процесс отличается разнообразием форм своего проявления, которые зависят от времени развития процесса, его стадии, а также условий формирования. В работах С.П. Качурина (1961 г.) [36], Маккей (Маккау, 1970) [43], Уваркина с соавторами (1972 г.) [44],

И.И. Шамановой и Ю.Т. Уваркина (1974г.) [45], А.Л. Уошборна (1988 г.) [46] и других приводятся типизации, классификации термокарстовых явлений.

Лучшим знатоком термокарста в ИНМЕРО считается С.П. Качурин. Одной из первых обобщающих работ стала монография С.П. Качурина «Термокарст на территории СССР» [36], вышедшая в 1961 году. Позже он защитил по ней докторскую диссертацию. Проведенный им анализ форм термокарста и их распределения на территории страны позволяет С.П. Качурину дать морфологическую классификацию термокарста, указать на причины развития процесса как общие, так и местные, доказать возможность прогноза развития термокарста, объяснить практическую необходимость его исследования. С. П. Качуриным составлена мелкомасштабная схематическая карта распространения термокарста на территории СССР, на которой выделено три зоны и показано распространение основных форм термокарста. В основе разделения просадочных форм рельефа, выполненного С.П. Качуриным [36], положен генетический тип подземного льда.

Ю.Т. Уваркиным (Уваркин и др., 1972) [44] предложено деление термокарстовых образований по возрасту на: 1) реликтовые; 2) древние, связанные с климатическим оптимумом в среднем голоцене и потеплениями климата в позднем голоцене; 3) современные. Реликтовыми предложено считать термокарстовые образования на участках с глубоким залеганием ММП или полностью протаявшими ММП. Древними являются формы, сформировавшиеся на участках с ММП, но длительное время не развивающиеся вследствие неблагоприятных современных теплофизических условий. Однако, на практике, как отмечает Л.И. Вейсман, в каждом конкретном случае возраст термокарстовых образований устанавливается с большим трудом [47].

Ю.В. Мудров [37] приводит схему (рисунок 2.2.1), на которой показаны стадии развития термокарстовых форм.

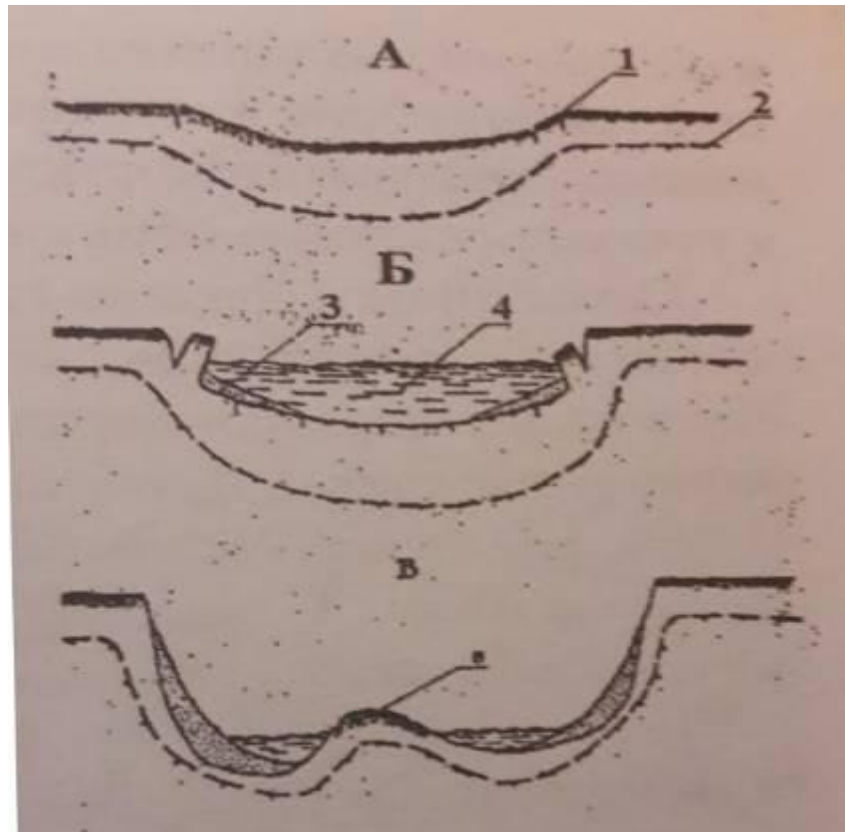


Рисунок 2.2.1 - Стадии развития термокарстовых форм в мерзлых озерных осадках: А- молодая, Б- зрелая, В- дряхлая формы. 1 - трещина, 2 - граница вечной мерзлоты, 3 - отложения термокарстовой просадки, 4 - вода, 5 - многолетний гидролакколит.

И.И. Шамановой и Ю.Т. Уваркиным в 1974г. [45] составляют классификацию термокарстовых образований, учитывающую морфологические особенности термокарстовых форм и типов вытаявающего льда (рисунок 2.2.2). Просадочные термокарстовые образования по генезису относятся к двум категориям, из которых каждая объединяет несколько видов просадочных форм рельефа: 1) собственно термокарстовые и 2) термокарстовые смешанного происхождения.

Роль подземных льдов в образовании термокарста изучается не только С.П. Качуриным, Ю.Т. Уваркиным [36, 44], но также и многими другими исследователями. Классической формой термокарста признаются аласные котловины Центральной Якутии, исследование которых сотрудниками ИНМЕРО продолжается постоянно. Стадии развития аласных котловин, характер таликов

под ними описаны в работах многих авторов (П.А. Соловьев [48, 49], А.И. Ефимов [50], Н.П. Анисимова [51], Н.А. Вельмина [52] и др.), аласные таберальные отложения Е.М. Катасонов и др. [38].



Рисунок 2.2.2 - Классификация термокарстовых образований, развитых на севере Западно-Сибирской плиты [45].

Ю.Т. Уваркин [44] важную роль в развитии термокарста на Европейском Северо-Востоке отводит режиму снежного покрова. Н.А. Вельмина [52] предлагает гипотезу образования аласных котловин Центральной Якутии, как реликтов пойменных озер. В 1953 г. сотрудниками Яно-Индибирской экспедиции специально для изучения процесса термокарста на льдистых грунтах на площадке 50x50 м² был снят растительный покров. Результат эксперимента оказался отрицательным: к 1957 г. средняя осадка поверхности составила всего 18 см, площадка заросла мхами, а потом травой и кустарником; процесс термокарста ограничился самым верхним горизонтом.

Классификация термокарстовых образований созданная Ю.Т. Уваркиным и др. (1972) [44], была дополнена Л.И. Вейсманом [53] по результатам исследований в Пур-Надымском районе. Бугристые торфяники этого района Л.И. Вейсман предлагает рассматривать, как термокарстовые образования. Близкая к этой точка зрения на бугристые торфяники высказывалась и ранее. Многими исследователями признавалось, что бугристые торфяники - сложное природное образование, в формировании которого принимали участие несколько криогенных процессов, последовательно сменявших друг друга. Однако роль криогенных процессов в формировании бугристых торфяников исследователи оценивали по-разному Евсеев, 1976 [54], Л.И. Вейсман [55] и Н.Г. Украинцева [56]. Однако, изучив динамику процесса по аэрофотоматериалам периода 1949-1972 г, Л.И. Вейсман [53] сделал вывод, что условия для естественного развития процесса в указанный период были неблагоприятны и все установленные термокарстовые образования находятся в стадии консервации. Отдельные случаи развития термокарста Л.И. Вейсман отмечал при наземных работах по берегам некоторых озер, где происходит отступление берегов со скоростью 0,2-2 м/год и на некоторых буграх пучения, вследствие перемещения нижней границы ММП в ядре бугра [57].

Маккей (Маскау, 1970) [42] предложил различать термокарстовое проседание и термическую эрозию. В первом случае процесс происходит без участия текучей воды, во втором обязательно при ее воздействии. И хотя такое толкование не всегда используется, важно понимать, что эволюция депрессии протаивания может протекать по-разному в зависимости от того, имеется текучая вода или нет. Ю.Л. Шур (1988) [42] при классификации криогенных процессов разделяет термокарст, возникающий при оттаивании на контакте с атмосферой или с гидросферой.

А.Л. Уошборн в своей работе "Мир холода. Геокриологические исследования" (1988) [46] выделяет такие термокарстовые формы, как разрушенные пинго, оползни протаивания, линейные и полигональные ложбины,

четковидную систему стока, озера протаивания (в том числе ориентированные озера), аласы.

Термокарст широко исследуется на территории России, США, Канады, Китая и других стран. В Западной Сибири изучением термокарста занимались такие исследователи как А. И. Попов [35, 58], В.В. Баулин, Е.Б. Белопухова, Г.И. Дубиков, Л. М. Шмелев [59], В.Т. Трофимов [60, 61], В.Т. Трофимов, Ю.Б. Бадю, Ю.К. Васильчук, Г.И. Дубиков [62], [63] и др. и Восточной Сибири Н.Н. Романовский [64], Н.И. Мухин [65], С.В. Томирдиаро [66], Ф.Э. Арэ [67], В.Е. Тумской [68], Е. Н. Оспенников, Н .И. Труш, А .Б. Чижов, Н .И. Чижова [69], А. Morgenstern [70, 71] и др.

На специфику его проявления термокарста в буферной зоне нефтепровода влияет расположение района исследования вблизи южной границы криолитозоны. Анализа существующих подходов к типизации данного процесса и описаний отдельных типов явлений термокарста, представленных в российской и зарубежной литературе вышеуказанными авторами, а также в работах D.Hopkins [72], А.М. Тарбеевой [73], А.А. Губарьковой [74], Б.И. Втюриным [75], В.А. Кудрявцев [76], С.С. Коржуева [77], Т.Л. Реве [78], Л.С. Гарагуля [79] и других, позволили составить представление о морфологических особенностях проявления термокарста.

В ходе проведения аэровизуальных работ было выявлено, что идентификация термокарстовых явлений дистанционными методами вызывает большие трудности, так как на ранних стадиях развития процесса термокарстовые явления схожи с обводнением, затоплением, заболачиванием. Ввиду высокого разнообразия пересекаемых нефтепроводом природных условий было обнаружено большое количество различных по морфологии форм этого процесса.

Характеристики проявлений термокарстовых процессов в ландшафтах южной геокриологической зоны освещены в современной научной литературе слабо и требуют дополнительного анализа и систематизации. Таким образом, возникла необходимость разработки региональной типизации термокарстовых

явлений в буферной зоне нефтепровода, выделения эталонных изображений явлений термокарста на фотоснимках, аэровизуальных снимках, космоснимках с целью последующей идентификации и типизации всех обнаруженных явлений.

2.3 Региональная типизация термокарстовых явлений

Исходными данными для исследований послужили материалы аэровизуальных обследований, ежегодно получаемые в течение трех лет, данные космо- и аэрофосъемки, материалы изысканий и наземных геологических обследований территории.

На основе дистанционных методов не всегда удается обнаружить четкие идентификационные признаки для каждого термокарстового явления. Осложняет задачу и разнообразие морфологических типов проявлений, находящихся на разных стадиях своего развития.

В ходе анализа термокарста вдоль трассы была обнаружены формы его проявления как в полосе землеотвода (шириной около 50 м), так и в естественных условиях, за пределами зоны влияния нефтепровода (шириной 3 км).

Все проявления термокарстового процесса были разделены на природные и техногенные. Критерием их разделения явилось местоположение проявления относительно нефтепровода. Все проявления, попадающие в полосу землеотвода нефтепровода или в зону его влияния (шириной 250 м), были отнесены к техногенным. Проявления за пределами зоны влияния считались природными.

Термокарстовые явления техногенного генезиса, находящиеся на ранней стадии своего развития (строительство нефтепровода началось 2009 г), сложно отделить от обводнения поверхности или заболачивания.

Основным критерием выделения термокарста является наличие высокольдистых грунтов, повторно-жильных или пластовых льдов, обнаруженных при изысканиях. В условиях, когда достоверность данных инженерных изысканий ставится под сомнение, существует вероятность ошибок в определении генезиса данного процесса.

Термокарст – просадки поверхности, как правило, сопровождающиеся обводнением понижений с признаками отседания береговых блоков грунта (трещины, параллельные береговой линии и смена приглубых и отмелых участков подводной части вдоль берега). Более уверенно термокарст идентифицируется, если в ненарушенной зоне присутствуют природные термокарстовые озёра. Дополнительным идентификационным признаком термокарста служит стабильная или положительная динамика обводненности явления в течение всего периода обследований, несмотря на климатические осцилляции.

В ходе проводимых аэровизуальных работ, к термокарсту была отнесена также тепловая осадка грунта, как начальная стадия развития процесса.

Ввиду необходимости углубленного понимания динамики ЭГП, наблюдавшейся в ходе циклов аэровизуальных обследований 2010 – 2012 гг., был проведен анализ изменения климатических характеристик для каждой из метеостанций. Особое внимание уделялось дождевым осадкам весеннего и летнего периода, влияющим на активизацию и распространение эрозионных процессов и обводненность территории. За период начала выпадения жидких осадков принимался первый весенний месяц со средними температурами выше нуля. При анализе влияния климатических условий на степень обводненности территории также необходим учет максимальной мощности снежного покрова, который влияет на объемы стока в период весеннего снеготаяния, однако в рамках данных работ это не представляется возможным.

По итогам проведенного автором специального анализа данных аэровизуальных обследований 2012 года (в нарушенных условиях) было выявлено 696 обводненных участков и 23 заболоченных. Из общего количества выявленных явлений признаки развития термокарстового процесса были обнаружены только у 100 явлений.

Наличие вышеуказанного материала, а также материалов аэрофото- и космосъемки в коридоре трассы шириной более 3 км позволило произвести

повторное дешифрирование термокарстовых явлений в буферной зоне шириной 3 км и нанести на карту 2146 термокарстовых форм.

С целью идентификации природного термокарста была разработана региональная типизация термокарстовых явлений вблизи южной границы криолитозоны и выделены эталоны дешифрирования для каждого типа.

Были выявлены различия в морфологии термокарстовых явлений в зависимости от ландшафтно-климатических и инженерно-геологических условий территории и вида техногенного воздействия.

В основу типизации были положены обнаруженные закономерности ландшафтной приуроченности термокарстовых явлений к типам местности, зависимости морфологии термокарстовых явлений от геологического строения и истории развития территории, а также от характера техногенных нарушений. Термокарстовые явления рассматривались как в зоне влияния нефтепровода, так и за его пределами в буферной зоне шириной 3 км.

Анализ закономерностей распределения термокарстовых явлений позволил разделить все обнаруженные явления на две группы по их приуроченности к участкам изменений природных ландшафтов и к участкам приложения техногенной нагрузки.

По итогам проведенного анализа была разработана типизация термокарстовых явлений в районе южной границы криолитозоны. Общее количество типов составило 12 (рисунок. 2.3.1).

К термокарстовым явлениям, приуроченным к участкам изменений природных ландшафтов, относятся явления, имеющие природное происхождение и выявленную приуроченность к долинному комплексу, ложбинам подповерхностного стока, заболоченным участкам, залесенным участкам, бугристым торфяникам и группам ландшафтов с ПЖЛ.

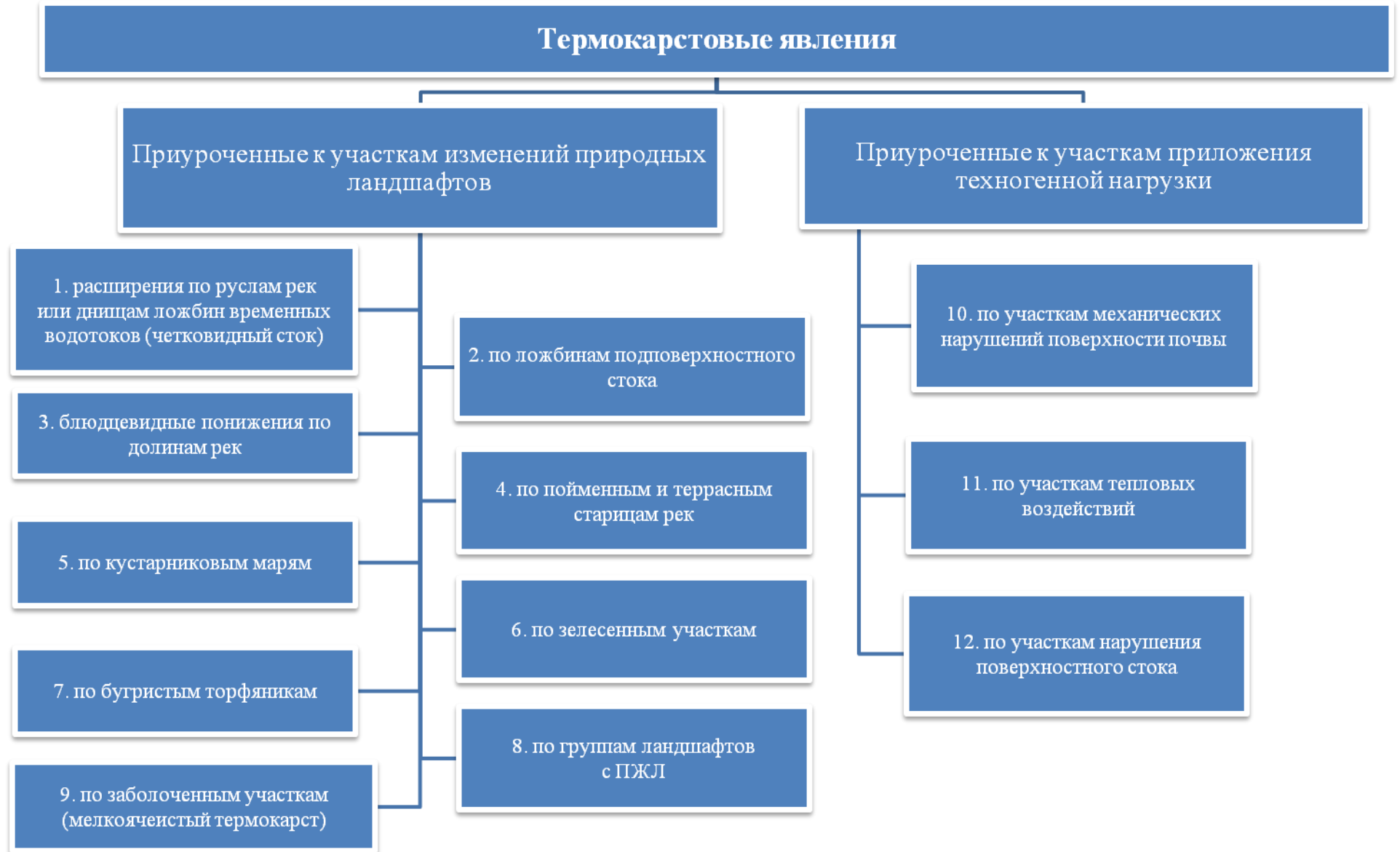


Рисунок 2.3.1 - Региональная типизация термокарстовых явлений в буферной зоне трассы магистрального нефтепровода

Общее количество выделенных в ненарушенных условиях типов равняется девяти. Это расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток) (тип 1), термокарст по ложбинам подповерхностного стока (тип 2), блюдцевидные понижения по долинам рек (тип 3), термокарст по пойменным и террасным старицам рек (тип 4), термокарст по кустарничковым марям (тип 5), термокарст по залесенным участкам (тип 6), термокарст по бугристым торфяникам (тип 7), термокарст по группам ландшафтов с повторно-жильными льдами (ПЖЛ) (тип 8), термокарст по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст) (тип 9).

Морфологические и морфометрические характеристики явлений термокарста имеют зависимости типа ландшафта на которой они развиваются и как следствие от формы рельефа, строения территории, типа подземного льда и источника теплового воздействия.

К термокарстовым явлениям, приуроченным к участкам приложения техногенной нагрузки, относятся термокарстовые явления, происхождение которых связано с хозяйственной деятельностью человека, они не имеют четкой приуроченности к типам местности. Фактором развития явлений этой группы является тип хозяйственной деятельности человека. В пределах исследуемой территории обнаружены группы явлений, развитие которых связано с механическими нарушениями в результате хозяйственной деятельности человека, тепловыми воздействием нефтепровода и нарушениями поверхностного (естественного) стока на участках возведения автодорожных насыпей, оборудования нефтепроводной траншеи или земляного вала над траншеей.

Было 3 типа техногенных явлений термокарста: термокарст по участкам механических нарушениями поверхности почвы (тип 10), термокарст по участкам тепловых воздействий (тип 11) и термокарст по участкам нарушения поверхностного стока (тип 12).

Выделенные типы явлений характеризуются различной стадией развития и интенсивностью протекания процесса.

Каждому из выделенных типов термокарстовых явлений, общее количество которых составило двенадцать, была дана характеристика. Также, для каждого типа был подобран эталонный фотоснимок или аэровизуальный (космо-) снимок и опорный разрез с целью последующей идентификации и типизации всех обнаруженных явлений [80].

На основе выделенных эталонов дешифрирования, для каждого из 2146 термокарстовых явлений был определен тип в соответствии с разработанной региональной типизацией (рисунок 2.3.1).

Явления термокарста, приуроченные к участкам изменений природных ландшафтов

1. Расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)

Чётковидная система стока широко описана как российскими, так и зарубежными исследователями. Согласно Хопкинсу четковидный сток состоит из серии небольших водоемов, соединенных короткими протоками [72]. Водоемы образуются в результате протаивания ледяных тел, часто в узлах решетки повторно-ледяных жил. Соединяющие их водотоки, как правило, закладываются по направлению ледяных жил и поэтому обычно состоят из коротких прямых участков, сходящихся под углом. Глубина водоемов порядка 1-3 м, размер в поперечнике - до 30 м. Чётковидные системы стока были описаны на севере Аляски и в других районах развития вечной мерзлоты. Их зарождение или увеличение в ряде мест было спровоцировано антропогенным нарушением тундровой растительности [81]. Сходный рисунок гидросети встречается в некоторых болотистых местностях, где вечной мерзлоты нет, поэтому для идентификации чётковидной системы стока могут быть полезны следующие критерии:

1. Водоемы и протоки чётковидной системы стока имеют резкие границы: в болотистых местностях без вечной мерзлоты эти границы размыты и постепенны.

2. Протоки в четковидной системе обычно прямые или состоят из прямолинейных участков, сопрягающихся под углом; в условиях отсутствия вечной мерзлоты протоки прямолинейны или плавно извилисты.

3. Направление четковидных систем в целом связано с повторно-жильными льдами и, локально, с пинго и озерами протаивания [73].

Для данного типа характерно наличие русла. Формирование явлений связано с отепляющим воздействием движущегося потока воды. Зарегулированность русла говорит о длительно развивающейся форме.

Форма может существовать и при отсутствии многолетнемерзлых пород, т.е. быть реликтовой.

Расположение форм в изголовье меандра исключает возможности их возникновения в результате развития русловой эрозии. Внешняя скорость потока является наибольшей, что доказывает невозможность застоя воды в этой области.

Пример четковидной системы стока приведен на рисунке 2.3.2.



Рисунок 2.3.2 - Эталон дешифрирования для расширений по руслам рек и днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток) (фотоснимок)

Опорный разрез для явлений «Расширения по руслам рек и днищам ложбин временных водотоков» характеризуется широким распространением льдистых суглинков местами заторфованных с включениями щебня (рисунок 2.3.3).

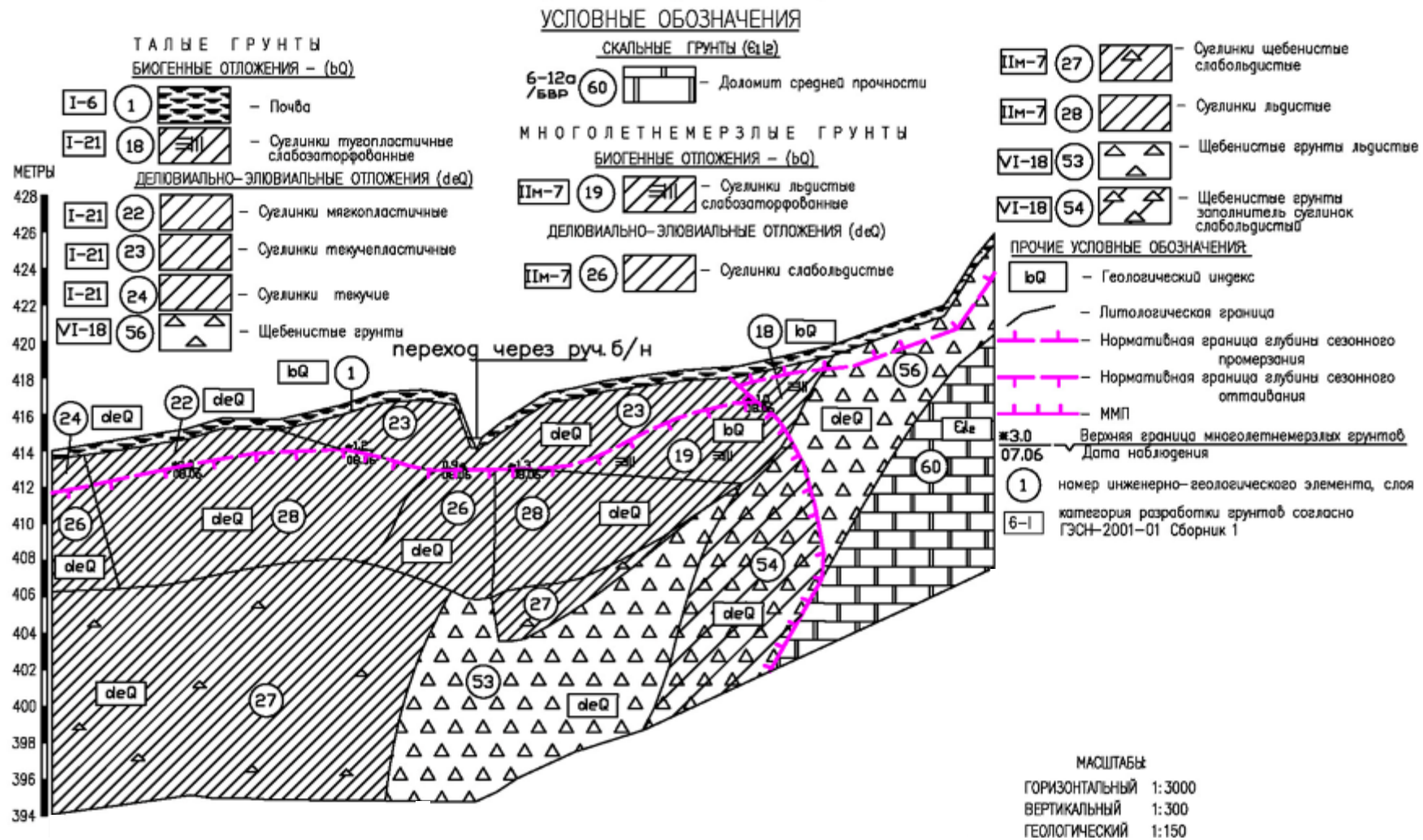


Рисунок 2.3.3. Опорный разрез для явлений «Расширения по руслам рек и днищам ложбин временных водотоков»

2. Термокарст по ложбинам подповерхностного стока

Данный тип представляет собой понижения, распространенные в пределах ложбин стока. Явления имеют округлую форму, а не повторяют форму ложбины (рисунок 2.3.4). Происхождение ложбин также может быть связано с развитием термокарста. Ложбина обычно спрямлена, хорошо дешифрируется по растительности, может представлять собой часть бугристо-западинного рельефа. Имеются признаки грунтового стока, однако водоток не сформирован.

Данный тип явлений, предположительно связан с повторным протаиванием грунтов в термокарстовой ложбине. Опорный разрез для явлений «термокарст по ложбинам подповерхностного стока» характеризуется распространением слабольдистых супесей, за пределами ложбины распространен преимущественно среднеразложившийся льдистый торф (рисунок 2.3.5).

На пересечении ложбины с трассой нефтепровода выявлены тепловые осадки грунта (техногенный термокарст), что доказывает распространение льдистых грунтов в ее пределах.



Рисунок 2.3.4 - Эталон дешифрирования типа термокарста по ложбинам подповерхностного стока (фотоснимок)

Локальные просадки в пределах ложбины, очевидно, возникают на участках концентрации влаги, приводящей к нарушению теплового баланса. Увлажненность поверхности предопределяет количество льда.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

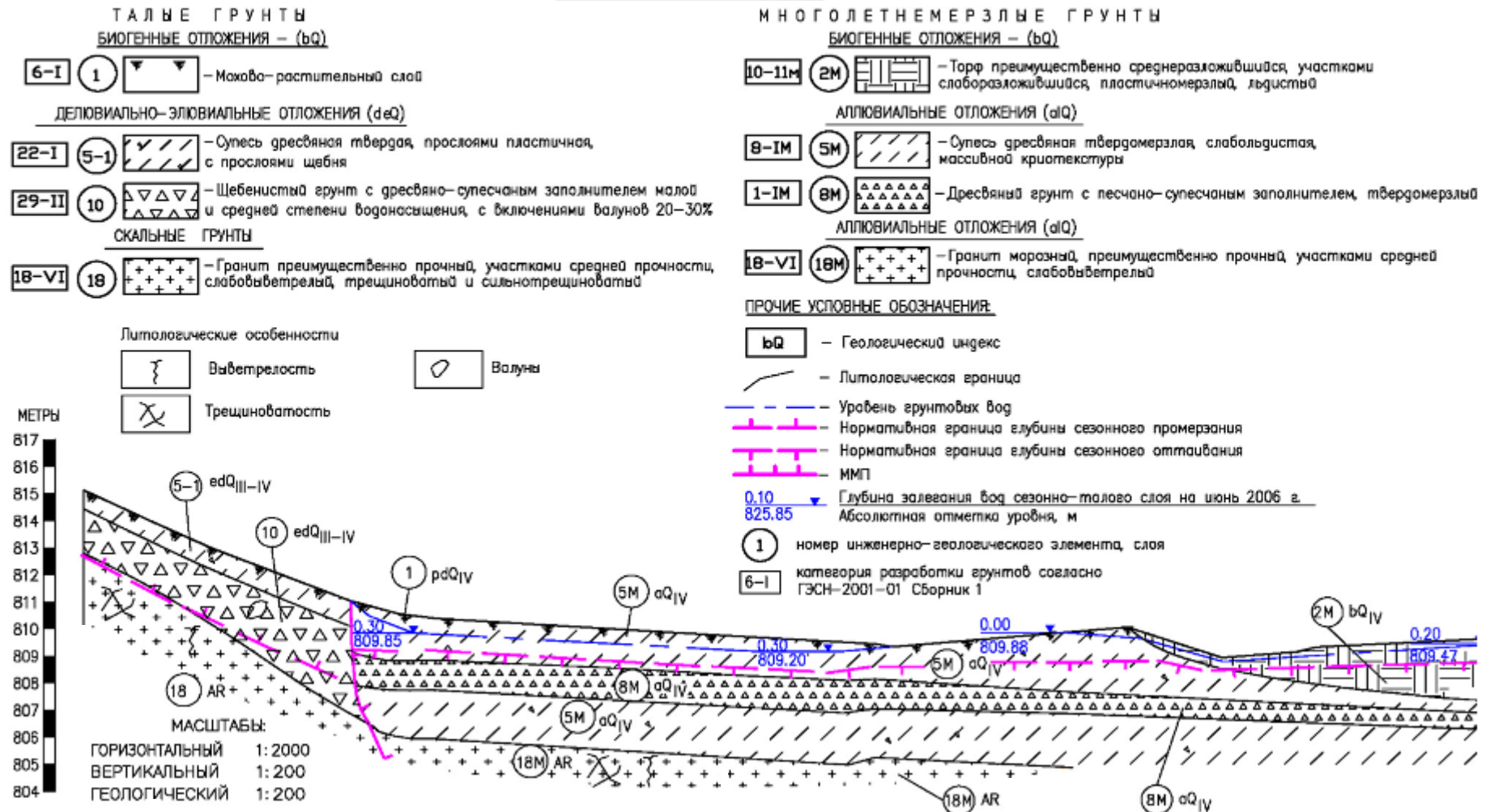


Рисунок 2.3.5. Опорный разрез для явлений «Термокарст по ложбинам подповерхностного стока»

3. Блюдцевидные понижения по долинам рек

Явления термокарста по долинам рек представлены небольшими блюдцевидными понижениями глубиной до 0,5 м и диаметром до 3 м. Понижения формируются за счет вытаявания льдистых аллювиальных отложений. При этом наиболее низкие температуры грунтов отмечаются в долинах малых водотоков, особенно тех, что прорезают северные склоны долин. В долинах крупных рек температура грунтов более высокая за счет хорошей фильтрации грунтов и хорошего прогрева их в летний период [27].

Эталон данного типа описан на примере участка, расположенного в долине реки Мулисьма, обрамленной холмами по обе стороны (рисунок 2.3.6, 2.3.7). Территория участка покрыта сосновыми и лиственнично-сосновыми лесами с участием березы и осины и местами с гарями, на фоне которых хорошо дешифрируются округлые часто вытянутые понижения. Растительность в их пределах представлена травяно-моховыми видами. Часть понижений обводнена, однако большинство являются относительно дренированными. Понижения распространены по долине неравномерно, а их диаметры колеблются от первых метров до первых сотен метров. Явления часто встречаются большими группами. Они распространены как в зоне влияния нефтепровода, так и в естественных условиях. Предполагается, что обнаруженные блюдцевидные понижения представляют собой следы термокарстового процесса, развивающегося на этой территории в прошлом. Их развитие было обусловлено высокой влажностью и, как следствие, повышенной льдистостью отложений в долине реки, что в совокупности с климатическими условиями привело к протаиванию верхней части отложений и формированию термокарстовой просадки.

Предполагается, что на данный момент в естественных условиях возможная часть льда вытаяла и термокарстовый процесс остановился. Опорный разрез для явлений характеризуется распространением слабольдистых глин, песков и суглинков (рисунок 2.3.8). Однако техногенное воздействие может привести к

повторным просадкам в пределах реликтовых термокарстовых понижений или возникновению новых форм в пределах данного типа местности (рисунок 2.3.9).



Рисунок 2.3.6 - Эталон дешифрирования для типа блюдцевидные понижения по долинам рек (р. Мулисьма) (фотоснимок)

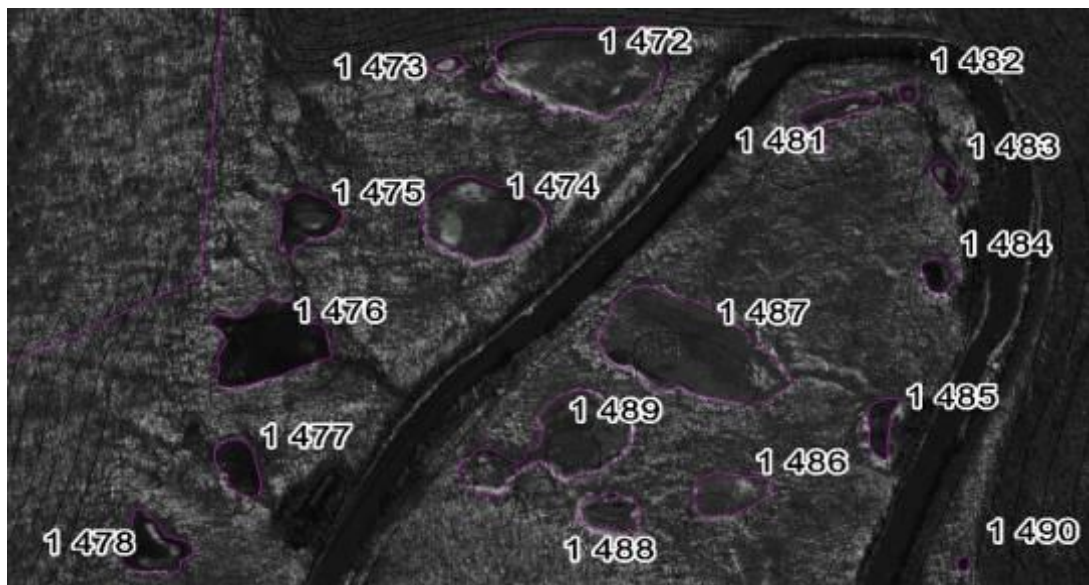


Рисунок 2.3.7 - Эталон дешифрирования для типа блюдцевидные понижения по долинам рек (р. Мулисьма) (космоснимок).

На космоснимке, представленном на рисунке 2.3.7, цифрами обозначены порядковые номера явлений, присвоенные им в ходе дешифрирования.

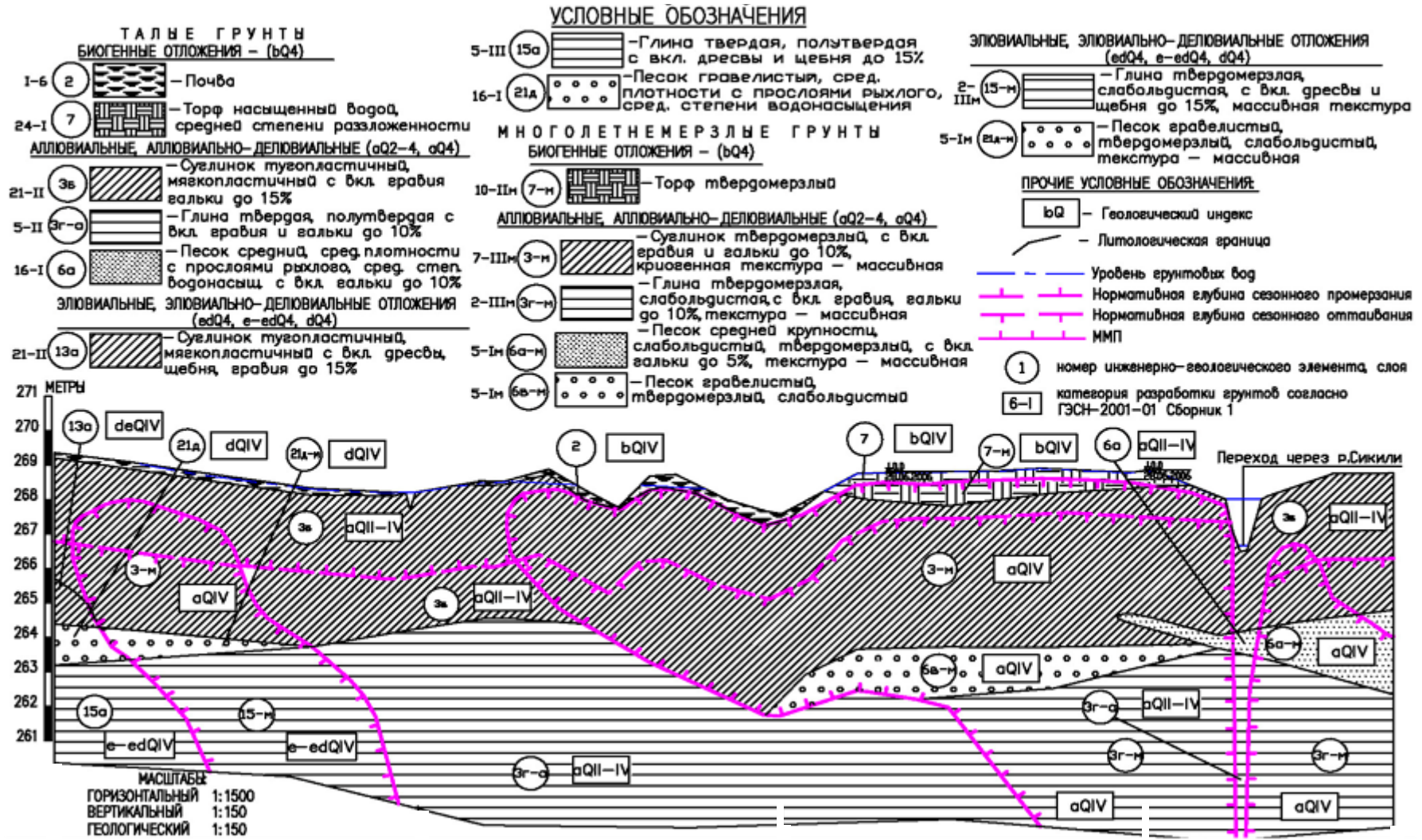


Рисунок 2.3.8. Опорный разрез для явлений «Блюдцевидные понижения по долинам рек»

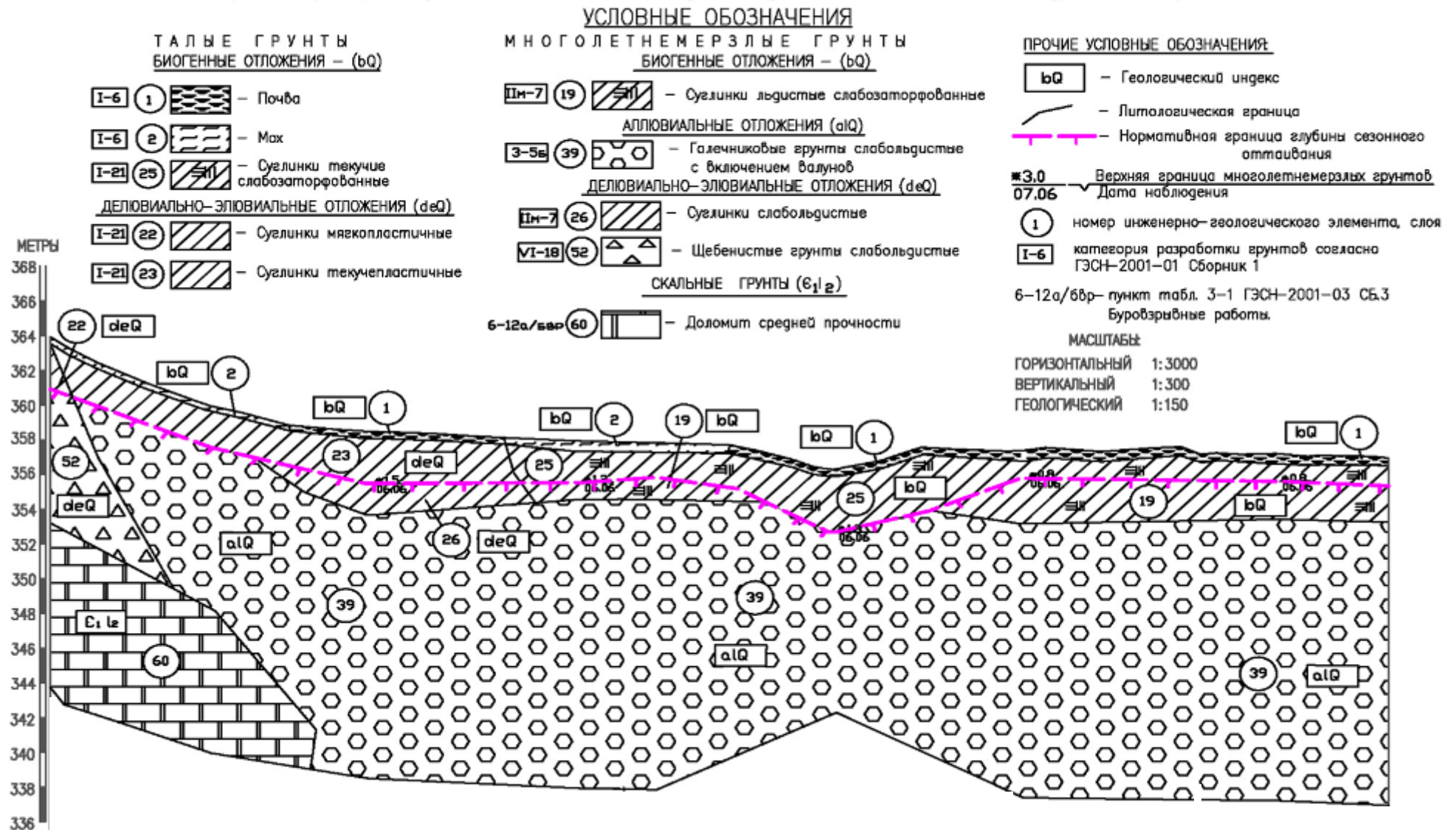


Рисунок 2.3.9. Опорный разрез для явлений «Блюдцевидные понижения по долинам рек»

4. Термокарст по пойменным и террасным старицам рек

В позднеолигоцен-четвертичное (новейшее) время на исследуемой территории произошла резкая перестройка водоразделов. Под влиянием новейших движений земной коры сильно сместился главный водораздел между Северным Ледовитым и Тихим океанами. Его перемещение сопровождалось перестройкой речных систем Лены и Амура, оставившей яркие следы в виде молодых перехватов и многочисленных стариц. Постепенное усыхание старых русел приводило к формированию старичных озер по форме повторяющих элементы русел.

Однако дальнейшее развитие данного типа местности шло по-разному. На отдельных участках буферной зоны трассы нефтепровода, развитие термокарстового процесса преобразовало изначальные формы старичных озер, где-то в пределах стариц возникли изначальные термокарстовые явления. Признаки развития термокарстового процесса, в изначальных старичных озерах, проявляются в изменениях их размера и геометрии. Озера теряют подобие русловым формам и становятся округлыми (рисунок 2.3.10).



Рисунок 2.3.10 - Эталон дешифрирования термокарста по пойменным и террасным старицам рек

Вокруг озер начинается преобразование растительного покрова и формируется своеобразный буфер. Растительность в пределах буфера представлена травяно-моховыми видами. Данный тип представляет собой округлые понижения, распространенные в пределах пойменных и террасных стариц рек. Встречаются явления, границы которых выходят за пределы старичного русла.

Опорный разрез для явлений «термокарст по пойменным и террасным старицам рек» характеризуется распространением льдистых суглинков, щебнистых грунтов с заполнителем, представленным слабольдистыми и льдистыми суглинками (рисунок 2.3.11).

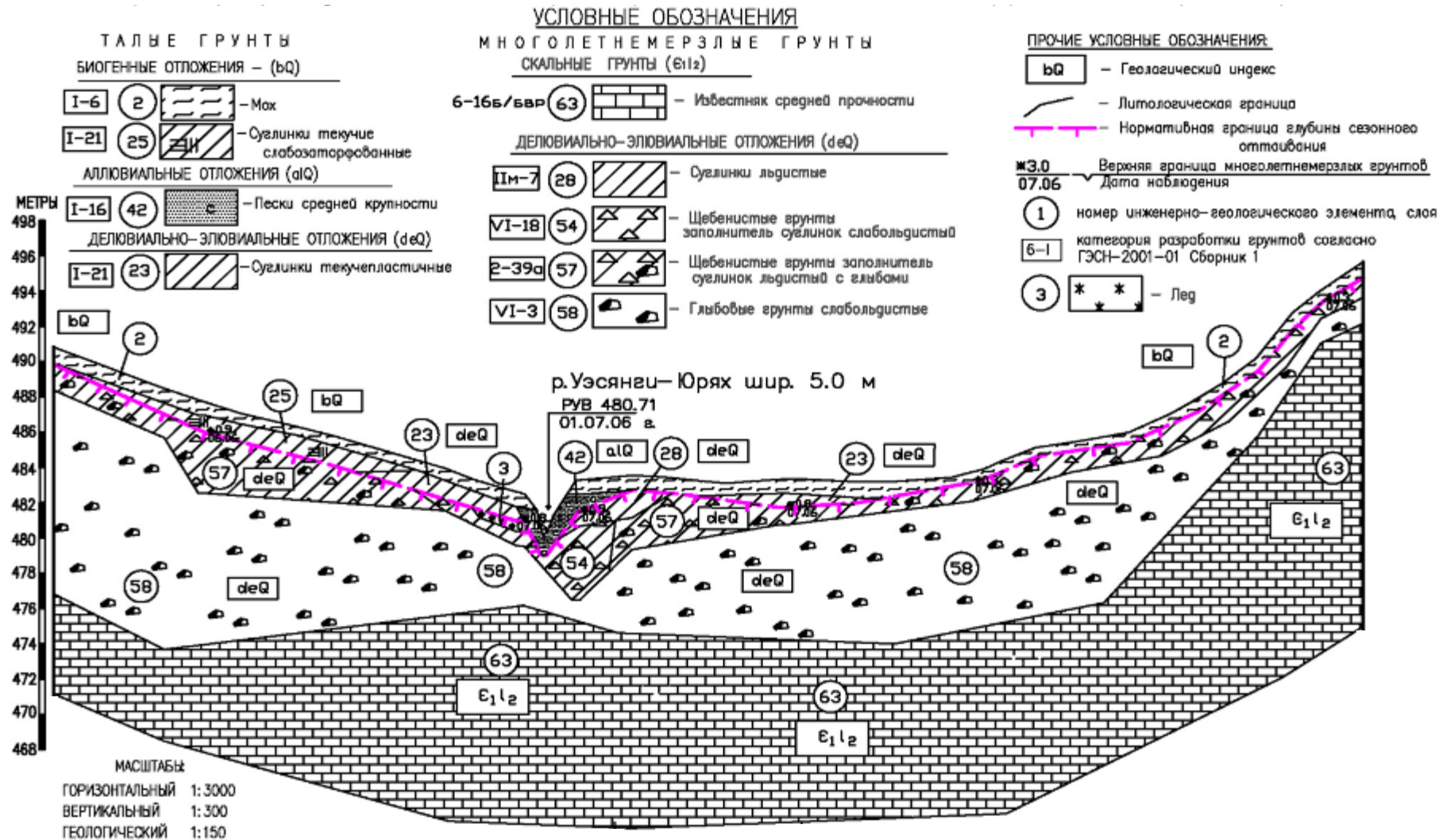


Рисунок 2.3.11. Опорный разрез для явлений «Термокарст по пойменным и террасным старицам рек»

5. Термокарст по кустарниковым марям

Округлые понижения, распространенные на участках с ерниковыми кустарничково-зеленомошными сообществами с единичными лиственницей, сосной и березой, как в долинах рек, так и на водоразделах, заболоченные (рисунок 2.3.12, 2.3.14).



Рисунок 2.3.12 - Эталон дешифрирования термокарста по кустарниковым марям (фотоснимок)

Опорный разрез для явлений «термокарст по кустарниковым марям» характеризуется распространением льдистых суглинков заторфованных в верхней части разреза, слабольдистых щебнистых суглинков, щебнистых грунтов с заполнителем, представленным слабольдистыми суглинками (рисунок 2.3.13).

Долинная марь занимает плоское днище широких долин. В долинах рек мари занимают обширные пространства, иногда покрывая всю долину. На водоразделах мари представлены грядами или пятнами округлой или вытянутой формы, окруженными лесным массивом.

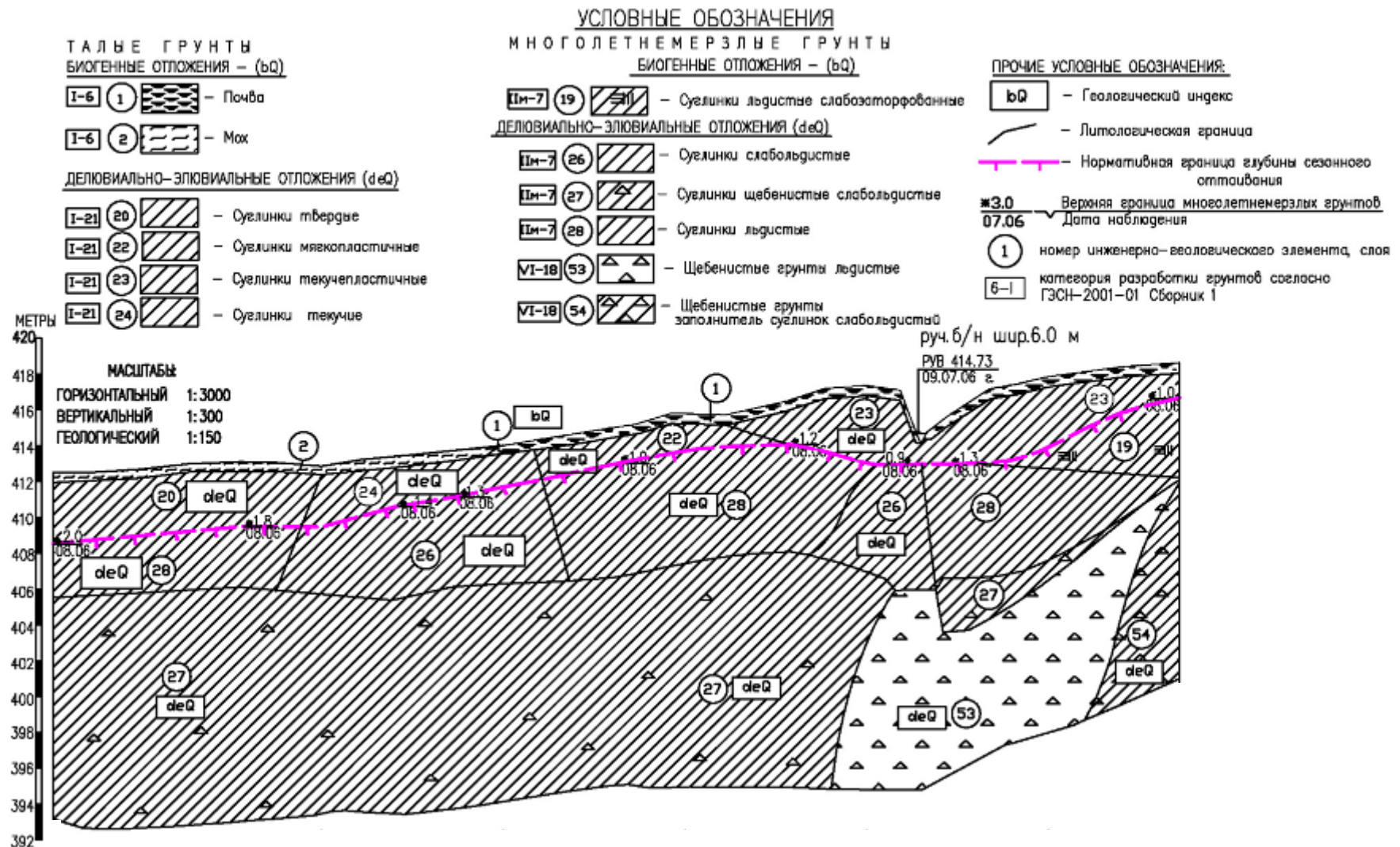


Рисунок 2.3.13. Опорный разрез для явлений «Термокарст по кустарниковым марям»

Термокарстовые явления в пределах данного типа ландшафта встречаются как единичными формами, так и отдельными небольшими группами. Озера имеют сопоставимые размеры с термокарстовыми блюдцевидными понижениями в долинах рек. Термокарстовые формы могут как дренированными, так обводненными.



Рисунок 2.3.14- Эталон дешифрирования термокарста по кустарниковым марям (космоснимок)

На участках пересечения с трассой нефтепровода на основе анализа повторных снимков за период с 2010-2012гг. были обнаружены признаки активизации процесса, выраженные в увеличении размеров проявления и увеличении обводненности, под воздействием хозяйственного освоения территории.

б. Термокарст по залесенным участкам

Озера, окруженные массивами леса (рисунок 2.3.15), нередкое явление в окрестностях трассы нефтепровода. На отдельных явлениях хорошо видны признаки развития процесса: наличие погруженных в воду упавших стволов и пней деревьев, искривленных стволов «саблевидной формы» (2.3.16). Возможно,

озера в лесу – это бывшие мари, которые успели полностью протаять. По устному сообщению Тори Йоргенсона вокруг Фербенкса в Центральной Аляске значительно выросла площадь марей в связи с деградацией мерзлоты.



Рисунок 2.3.15 - Эталон дешифрирования термокарста по залесенным участкам (фотоснимок)

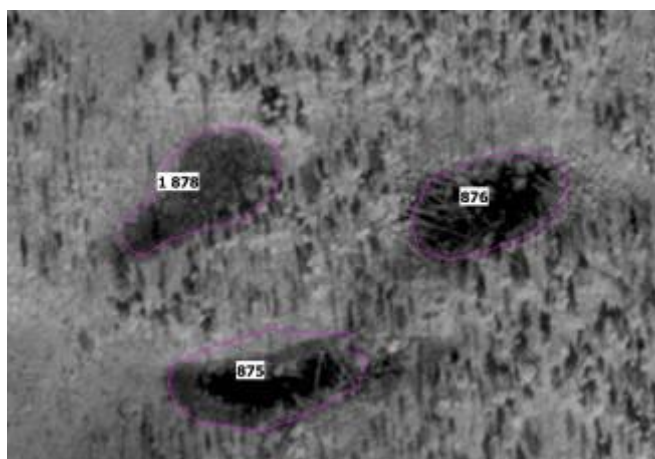


Рисунок 2.3.16 - Признаки активности процесса: погруженных в воду упавших стволов и пней деревьев, искривленных стволов «саблевидной формы» (космоснимок)

Опорный разрез для явлений «термокарст по залесенным участкам» характеризуется распространением слабодыстых суглинков (рисунок 2.3.17). Однако, проявление термокарста очевидно связано с локальным распространением льдистых грунтов или подземных льдов.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

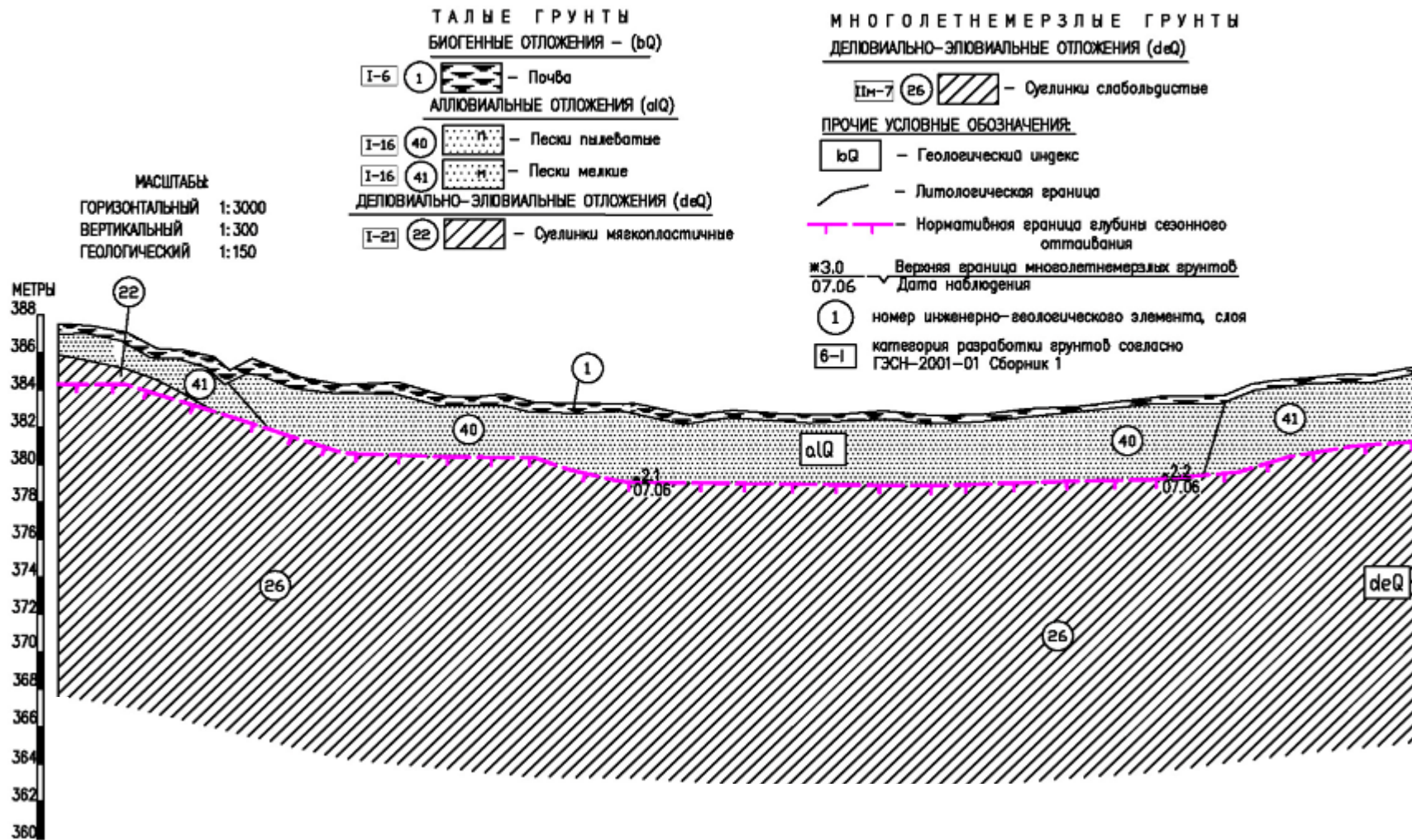


Рисунок 2.3.17. Опорный разрез для явлений «Термокарст по залесенным участкам»

7. Термокарст по бугристым торфяникам

В литературе данный тип ландшафта принято называть бугристо-западинный рельеф. На исследуемой территории бугристо-западинный рельеф распространен как в долинах рек, так и на водоразделах. На водоразделах он распространен отдельными участками часто округлой или вытянутой формы.

Бугристо-западинный рельеф представляет собой остаточно-полигональный рельеф, характеризующийся чередованием вытянутых и почти округлых западин с караваеобразными буграми (рисунок 2.3.18). Рельеф имеет термокарстовый генезис, связанный с вытаяванием повторно-жильных льдов [75]. В плане он повторяет полигональную решетку, чаще всего квадратную со стороной 8-12 м. В западинах часто скапливается вода, по мере углубления просянок поверхности мочажины сливаются, образуя термокарстовые озера [76].

В рамках данной работы рассматривается комплекс собственно термокарстовых форм, выраженный просядочными озерами и западинами [76].

Диаметр проявлений не велик, чаще всего он не превышает первую сотню метров, часто встречаются формы от 5 до 50 м. В зависимости от характера вытаявающих подземных льдов окончательная глубина термокарстовых озер может колебаться от первых метров до первых десятков метров (рисунок 2.3.19). Однако на территории исследования чаще встречаются проявления по глубине не превышающие первые метры. На водоразделах встречаются дренированные формы.

Опорный разрез для явлений «термокарст по бугристым торфяникам» характеризуется распространением льдистого торфа, преимущественно среднеразложившегося, мощностью до 2 метров, подстилаемого слабольдистыми супесями (рисунок 2.3.20).



Рисунок 2.3.18 - Эталон дешифрирования термокарста по бугристым торфяникам
(фотоснимок)

На космоснимке, представленном на рисунке 2.3.19, цифрами обозначены порядковые номера явлений, присвоенные им в ходе дешифрирования.

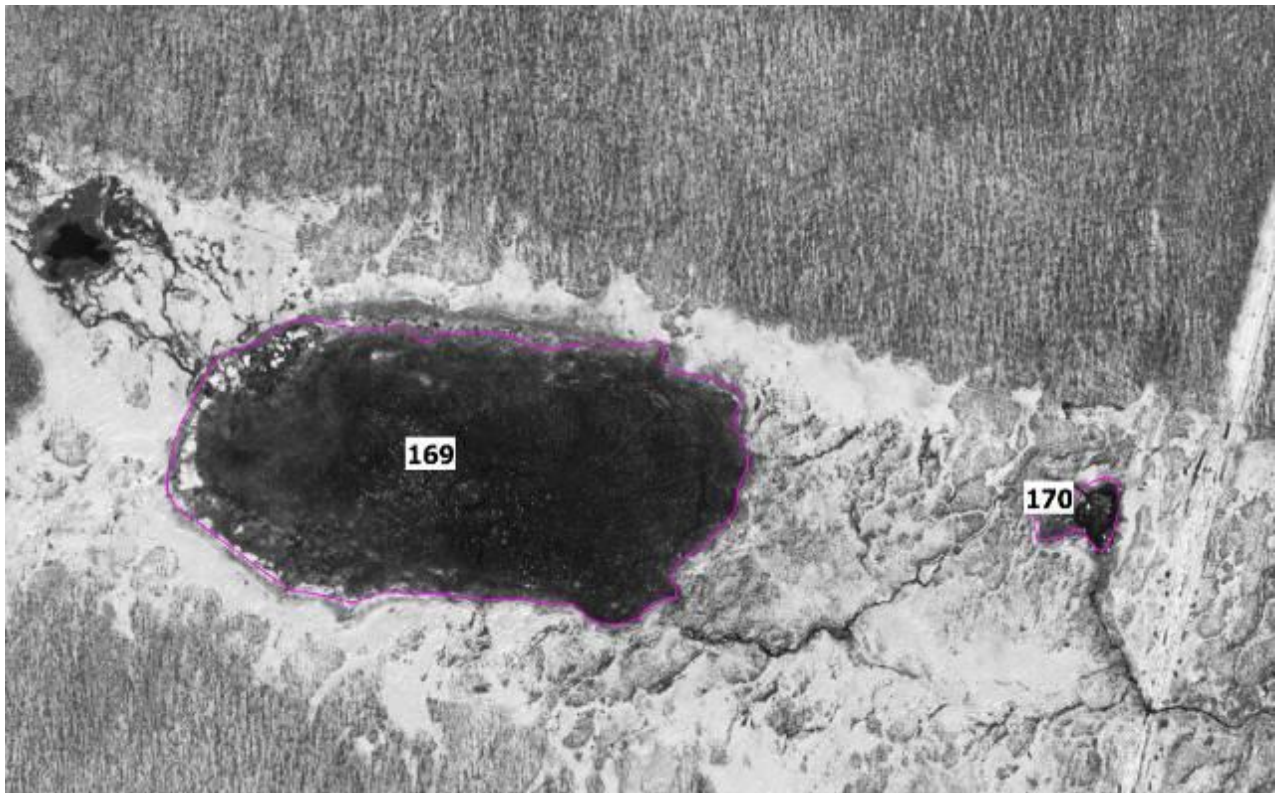


Рисунок 2.3.19 - Эталон дешифрирования термокарста по бугристым торфяникам
(космоснимок).

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

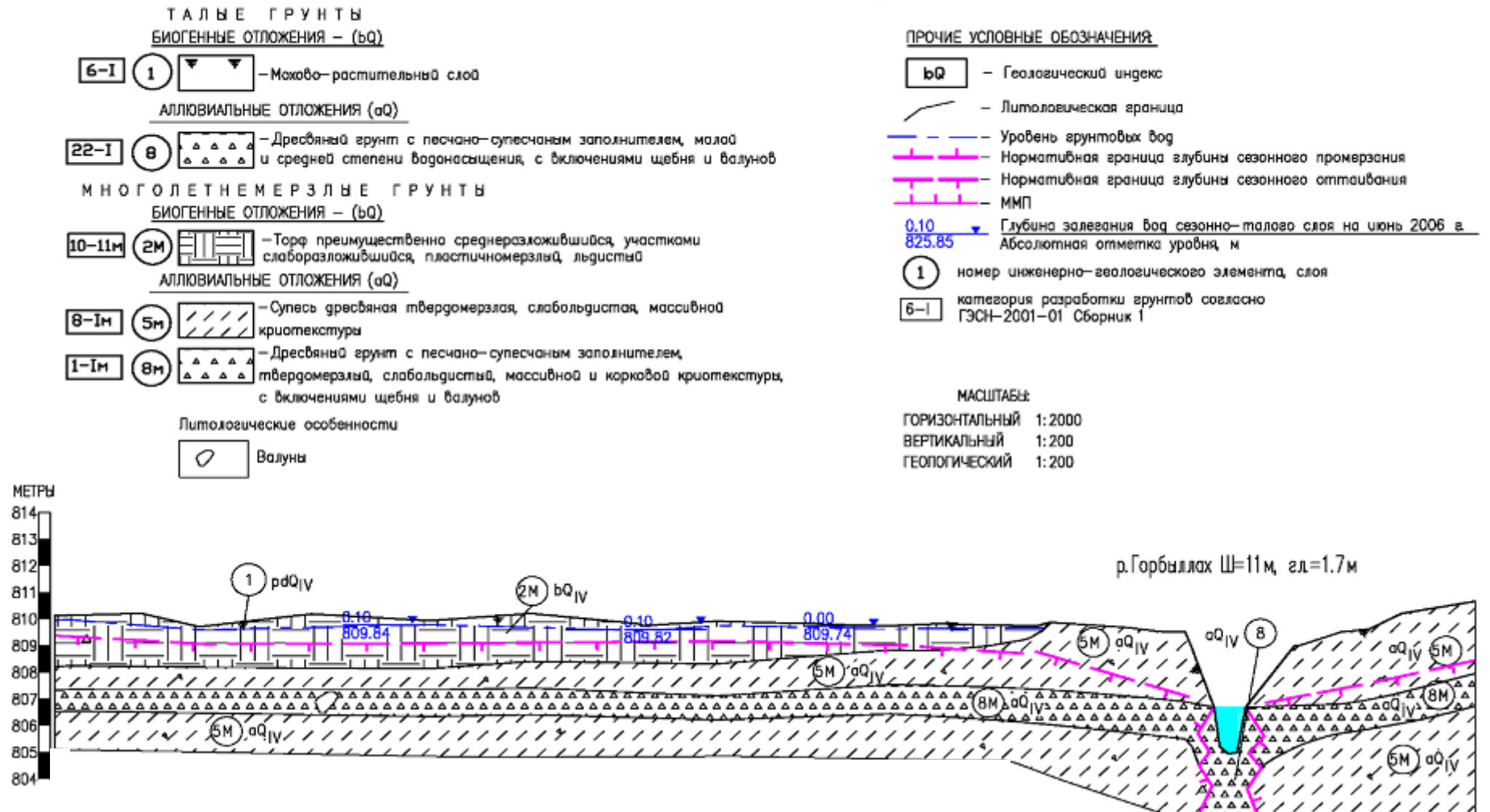


Рисунок 2.3.20. Опорный разрез для явлений «Термокарст по бугристым торфяникам»

8. Термокарст по группам ландшафтов с ПЖЛ

Тип представлен округлыми или вытянутыми озерами или западинами просадочного происхождения. Форма берега часто имеет изрезанную прямолинейными отрезками форму с прямыми углами. Данный тип озер лучше дешифрируется по аэрофото- и космоснимкам по сравнению с аэровизуальными данными. На снимках просматриваются сетчатые структуры или блоки (рисунок 2.3.21). Блоки - плоские полигоны, разделенные понижениями – «межблочьями». Размеры блоков варьируются от одного до нескольких десятков метров.



Рисунок 2.3.21 - Эталон дешифрирования термокарста по группам ландшафтов с ПЖЛ (космоснимок)

Опорный разрез для явлений «термокарст по группам ландшафтов с ПЖЛ» представлен льдистыми глинами, супесями и суглинками (рисунок 2.3.20). В разрезе не обнаружено мономинерального льда. Однако ПЖЛ могут быть не выявлены в процессе изысканий, так как сетка бурения может не совпасть с сеткой распространения льда.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ТАЛЫЕ ГРУНТЫ
БИОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ – (бQ)

I-6 (1) [штриховка] – Почва

АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ И ДЕЛЮВИАЛЬНО-ЭЛЮВИАЛЬНЫЕ
ОТЛОЖЕНИЯ (dQ, aQ)

I-21 (7) [штриховка] – Суелинок тугопластичный с прослоями
мягкопластичного и сугеси

I-21 (8) [штриховка] – Суелинок текучий с прослоями
текучепластичного

МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ
АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ И ДЕЛЮВИАЛЬНО-ЭЛЮВИАЛЬНЫЕ
ОТЛОЖЕНИЯ (dQ, aQ)

2-IIIм (21) [штриховка] – Глина мерзлая льдистая слоистой криотекстуры

7-IIм (25) [штриховка] – Суелинок мерзлый льдистый слоистой криотекстуры

8-Iм (27) [штриховка] – Сугесь мерзлая слабольдистая слоистой криотекстуры

8-Iм (28) [штриховка] – Сугесь мерзлая льдистая слоистой криотекстуры

ПРОЧИЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

bQ – Геологический индекс

— — — — — Уровень грунтовых вод

— — — — — Литологическая граница

— — — — — Нормативная глубина сезонного оттаивания

— — — — — ММП

(1) номер инженерно-геологического элемента, слоя

6-I категория разработки грунтов согласно
ГЭСН-2001-01 Сборник 1

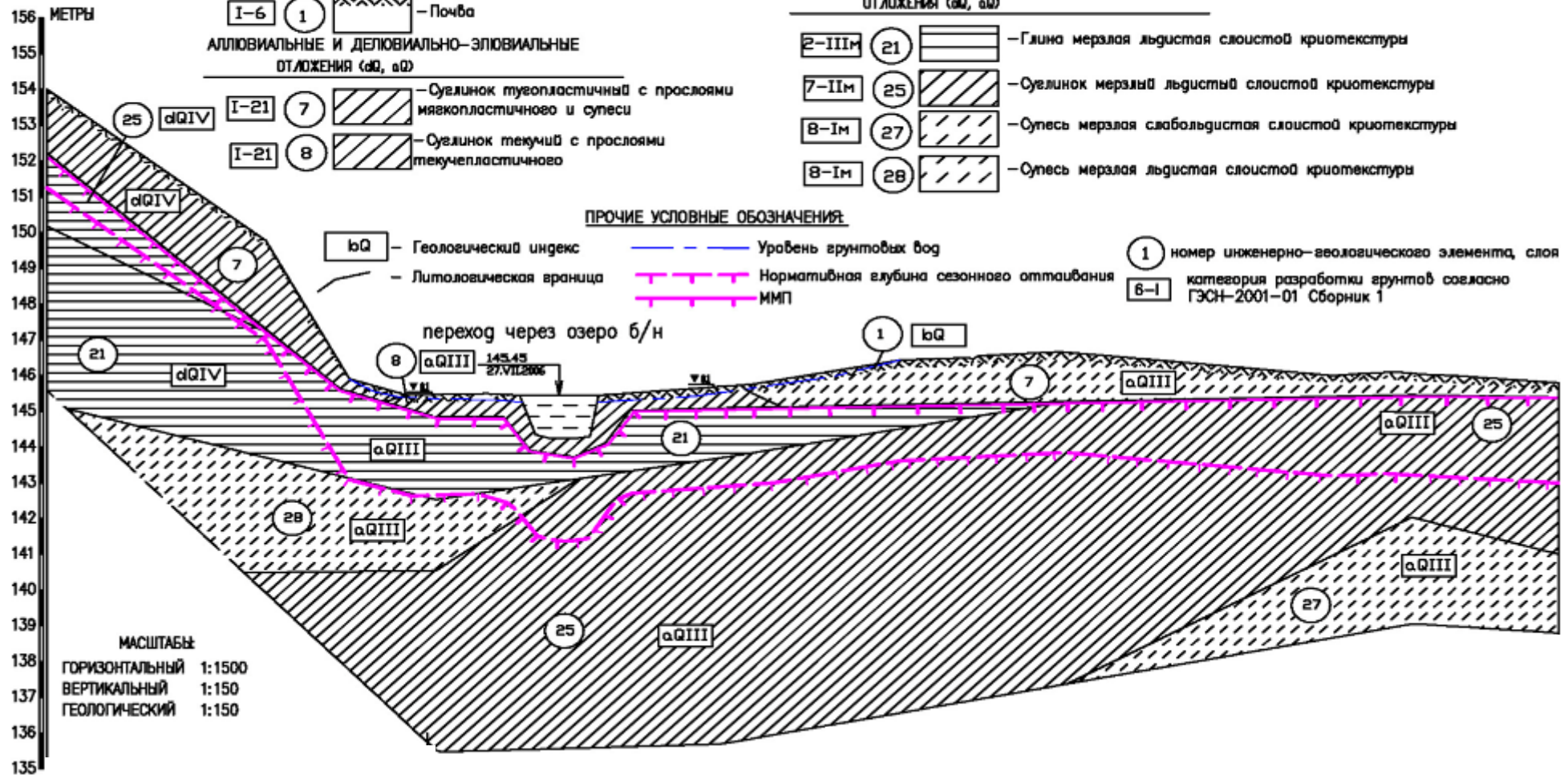


Рисунок 2.3.22. Опорный разрез для явлений «Термокарст по группам ландшафтов с ПЖЛ»

9. Термокарст по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)

В литературе данный тип охарактеризован недостаточно, есть лишь отдельные упоминания о нем в научных отчетах Т.Л. Реве по району Фербенкса [78]. Данный тип представляет собой множественные неглубокие просадки с диаметром не более нескольких метров, расположенные по сетке или по линии со следами слияния просадок. При наличии высокольдистого грунта образуется озеро. Происхождение данного типа однозначно не определено. Возможно, он имеет как техногенные, так и природные источники. Вдоль трассы нефтепровода его формирование, возможно, связано с разжиганием костров для уничтожения порубочных остатков. В природных ландшафтах его возникновение очевидно связано с протаиванием отложений с различной пространственной дифференциацией льда. Возможно, это механизм деградации бугристых поверхностей. Формы подобного типа встречены также Д.О. Сергеевым в районе Воркуты. На рисунке 2.3.23 можно заметить, что слияние просадочных форм на отдельных частях участка.



Рисунок 2.3.23 – Эталон дешифрирования мелкоячеистого термокарста (фотоснимок)



Рисунок 2.3.24 - Эталон дешифрирования мелкочечистого термокарста (фотоснимок)

Для явлений «мелкочечистый термокарст» подобрано 2 типа опорных разрезов. На рисунке 2.3.25 разрез сложен слабодистыми супесями и суглинками. На рисунке 2.3.26 разрез представлен слабодистым щебнистым грунтом с дресвяно-супесчаным заполнителем, перекрытым с поверхности слоем торфа мощностью до 1 метра. Предполагается, что распространение явлений мелкочечистого термокарста приурочено к местам распространения торфяных отложений.

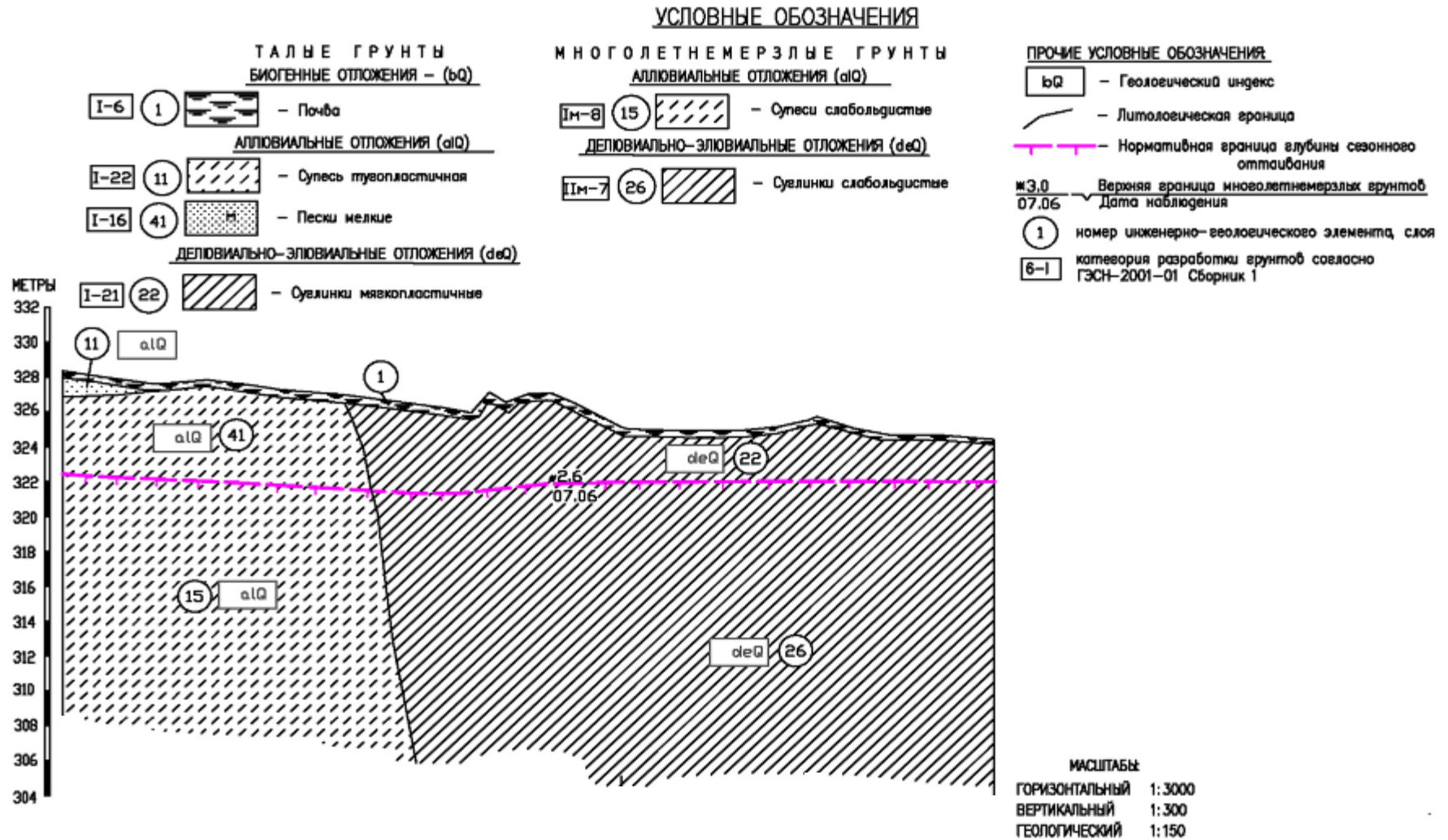


Рисунок 2.3.25. Опорный разрез для явлений «Мелкоячеистый термокарст»

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

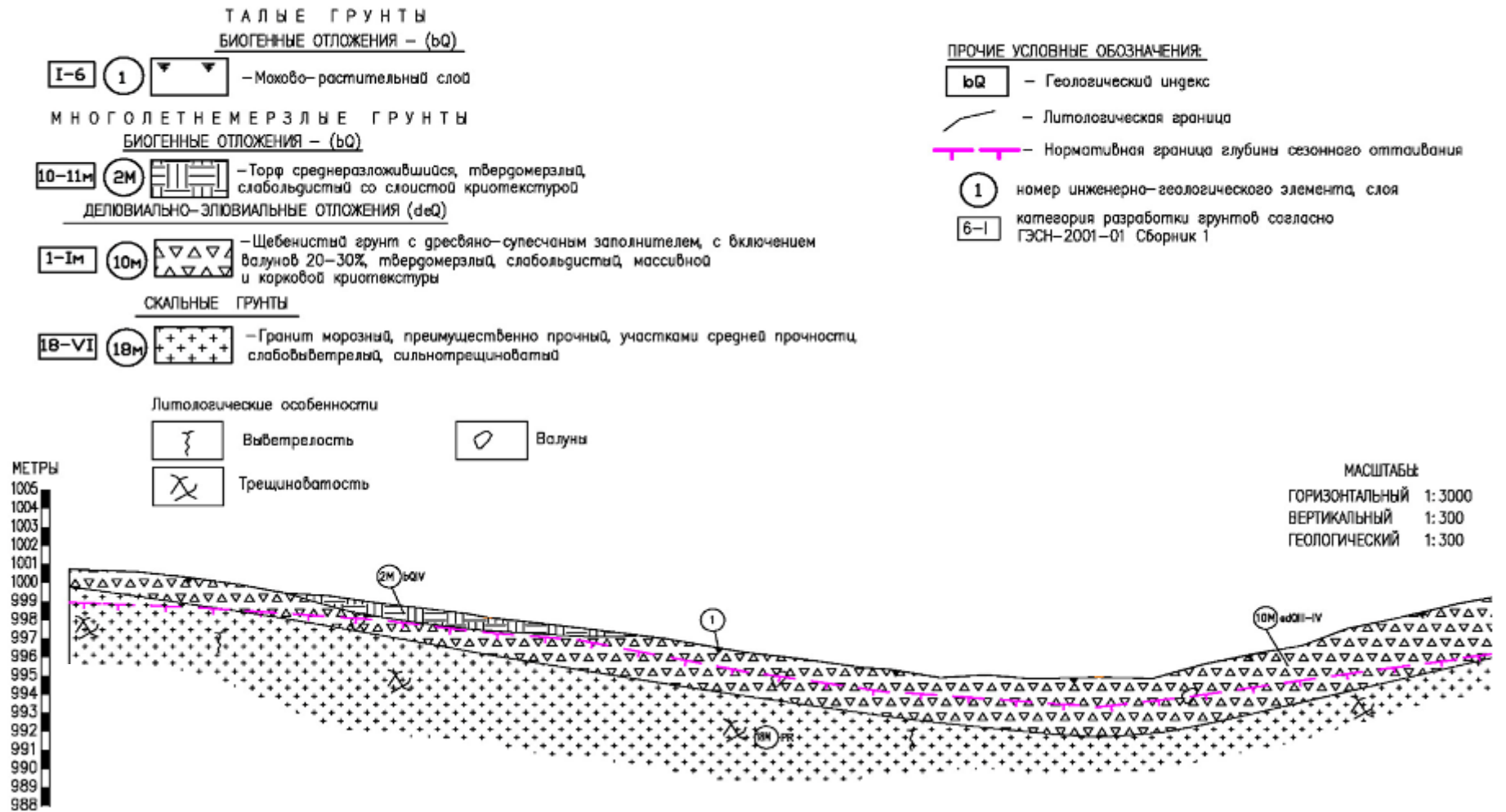


Рисунок 2.2.26. Опорный разрез для явлений «Мелкоячеистый термокарст»

Явления термокарста, приуроченные к участкам приложения техногенной нагрузки

Достаточным условием для начала развития термокарста или причиной возникновения термокарста служит такое изменение теплообмена на поверхности почвы, при котором глубина сезонного оттаивания начинает превышать глубину залегания подземного льда или сильнольдистых многолетнемерзлых пород, либо происходит смена знака среднегодовой температуры и начинается многолетнее оттаивание мерзлых толщ.

При строительстве и эксплуатации нефтепровода, хозяйственная деятельность человека проявляется в трех основных видах нарушений: механических нарушениях поверхности почвы, тепловые воздействия, нарушения поверхностного стока [82].

10. Термокарст по участкам механических нарушений поверхности почвы

На этапе строительства нефтепровода механические нарушения растительного покрова и его угнетение в полосе землеотвода были распространены практически повсеместно. На этапе эксплуатации продолжает работать тяжелая техника, ведутся земляные работы. Уплотнение и разрыв растительного покрова, уничтожение растительного покрова, частичные нарушения почвенного покрова, полное нарушение почвенного покрова (оголение минеральных грунтов) приводят к изменению условий теплообмена на поверхности и, как следствие, влечет за собой резкое увеличение глубины сезонного протаивания пород иногда в 2-4 раза.

На рисунках 2.3.27 и 2.3.28 приведены примеры проявления термокарста на участке пашни. Механические нарушения растительного покрова привели к возникновению многочисленных просадочных форм.

Растительность часто оказывает влияние на распространение вечной мерзлоты или, по крайней мере, на мощность активного слоя. Таким образом, если снять растительный покров, как при очистке земли для сельскохозяйственных целей, активный слой утолщается, и глубина мерзлого

слоя может значительно изменяться. А. Kallio и S. Rieger на территории Аляски [83] выявили увеличение активного слоя с 1 до 5 м только за 3 года после снятия растительности из вида темной канадской ели.



Рисунок 2.3.27 - Эталон дешифрирования термокарста по участкам механических нарушений поверхности почвы (фотоснимок)

На данном участке на космоснимке видны признаки полигонального рельефа (рисунок 2.3.28), а распространение просадочных форм доказывает распространение ПЖЛ.

На момент проведения обследований (2010-2012 гг.) нефтепровод находился в эксплуатации первые годы (с 2009 г.) и проявления термокарста по участкам механических нарушений поверхности почвы не имели широкого распространения. По итогам обследований было выявлено 9 проявлений термокарста по участкам механических нарушений поверхности почвы. Однако в условиях активного техногенного воздействия в процессе эксплуатации

нефтепровода предполагается развитие явлений термокарста данного типа на участках распространения льдистых грунтов и подземных льдов (рисунок 2.3.29).



Рисунок 2.3.28 - Эталон дешифрирования термокарста по участкам механических нарушений поверхности почвы (космоснимок)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ТАЛЫЕ ГРУНТЫ

БИОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ – (bQ)

I-6 1 – Почва

АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ (aQ)

I-21 6 Суелинок полутвердый с прослоями твердого

I-21 7 Суелинок тугопластичный с прослоями мягкопластичного и супеси

МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ

АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ (aQ)

7-IIм 24 Суелинок мерзлый слабльдистый слоистой криотекстуры

7-IIм 25 Суелинок мерзлый льдистый слоистой криотекстуры

8-Iм 27 Супесь мерзлая слабльдистая слоистой криотекстуры

ПРОЧИЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

bQ – Геологический индекс

— Литологическая граница

— Нормативная граница глубины сезонного оттаивания

— ММП

1 номер инженерно-геологического элемента, слоя

6-I категория разработки грунтов согласно ГЭСН-2001-01 Сборник 1

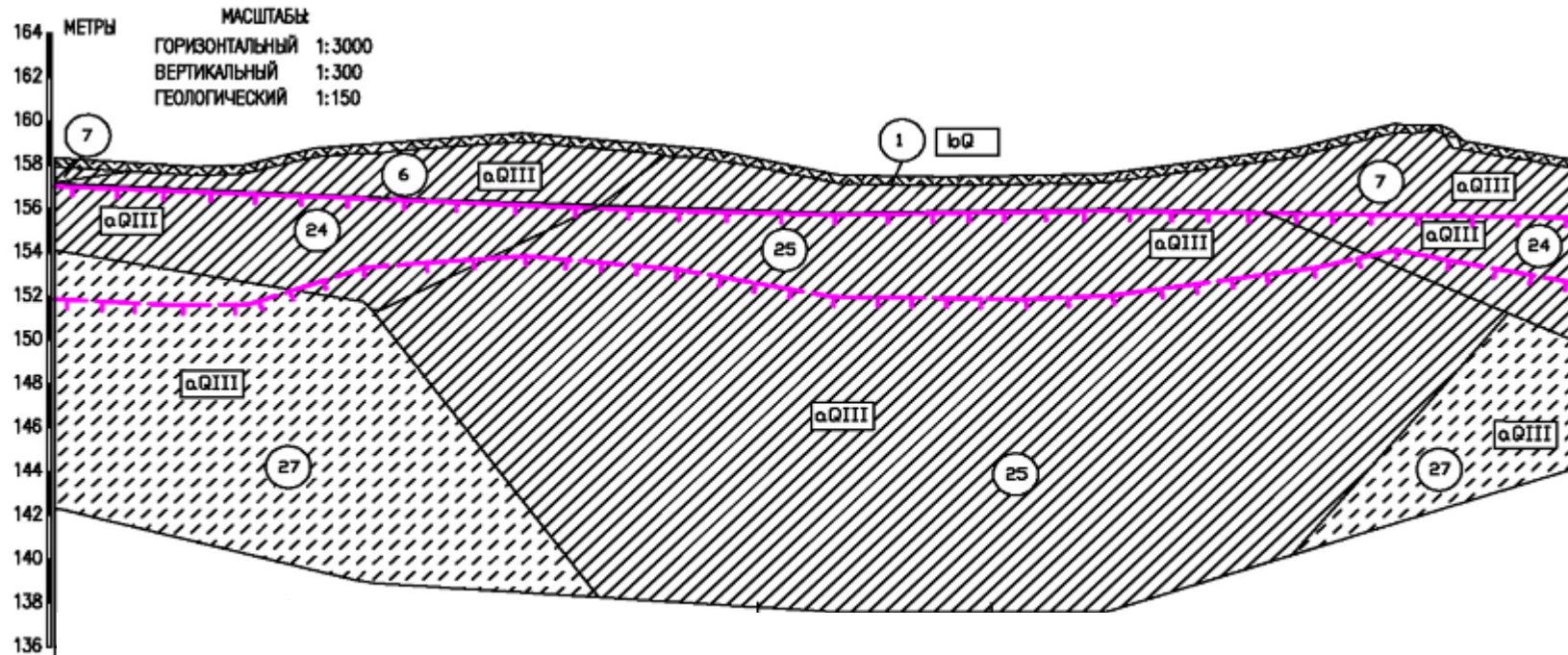


Рисунок 2.3.29. Опорный разрез для явлений «Термокарст по участкам механических нарушений»

11. Термокарст по участкам тепловых воздействий

При строительстве нефтепровода был использован единый способ его проложения - подземная прокладка. Нефтепровод является тепловыделяющим объектом. Эксплуатация нефтепровода без использования специальных мер по теплоизоляции на участках распространения ММП приводит к изменению их температурного режима и растеплению. Развитие термокарста под тепловыделяющими сооружениями определяется размерами чаш (ореолов) оттаивания пород и скоростью отжатия из них влаги, зависящей от строения разреза и контура чаши оттаивания. Явления данного типа развиваются вблизи тепловыделяющего объекта и идентифицируются по просадкам грунтового валика над нефтепроводом.

На рисунке 2.3.30 приведен пример формирования тепловых осадок грунта на участке распространения кустарниковой мари. На рисунке 2.3.30 приведен пример формирования тепловых осадок грунта в полосе землеотвода.



Рисунок 2.3.30 - Эталон дешифрирования термокарста по участкам тепловых воздействий на фотоснимке

При идентификации явлений «термокарста по участкам тепловых воздействий» и других техногенных типов были использованы материалы инженерных изысканиях и наземных геологических обследований. Опорный разрез для данного типа представлен льдистыми и слабольшдистыми суглинками, подстилаемыми щебнистыми грунтами (рисунок 2.3.32).



Рисунок 2.3.31 - Эталон дешифрирования термокарста по участкам тепловых воздействий на фотоснимке

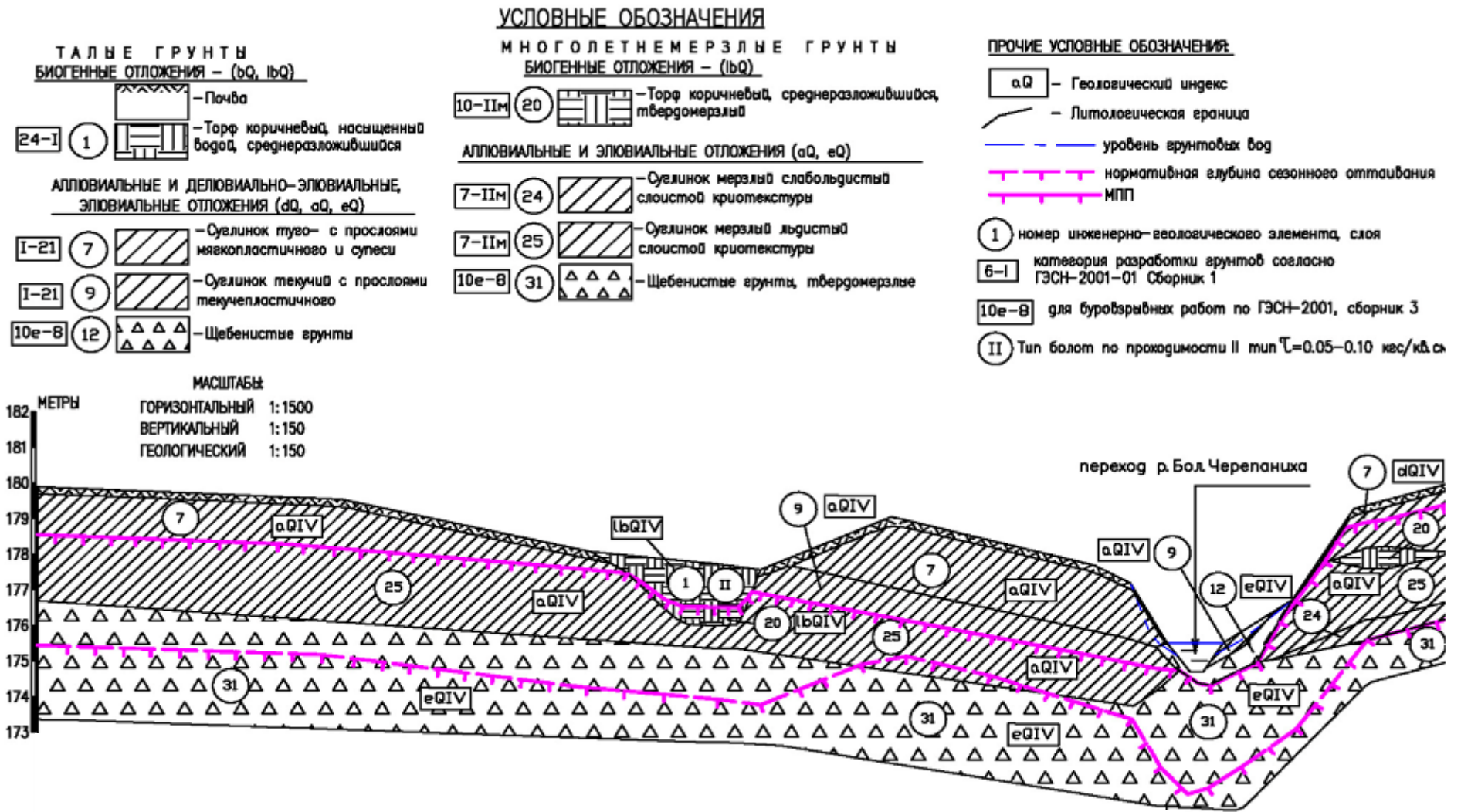


Рисунок 2.3.32. Опорный разрез для явлений «Термокарст по участкам тепловых воздействий»

12. Термокарст по участкам нарушения поверхностного стока

Оборудование нефтепроводной траншеи или земляного вала над траншеей, возведения автодорожных насыпей и других объектов линейной инфраструктуры в полосе землеотвода нефтепровода приводит к изменению естественного поверхностного стока, изменению режима снегонакопления, образованию искусственных водосбросов и обводнению поверхности (рисунок 2.3.33). На участках распространения ММП вышеуказанные нарушения приводят к изменению условий теплообмена на поверхности. Появление в понижении воды, аккумулирующей солнечное тепло, приводит к повышению температуры поверхности пород дна водоема. Это, в свою очередь, обычно обуславливает увеличение глубины сезонного слоя. При этом происходит дальнейшее вытаивание подземного льда (ледяных жил, пластовых залежей и проч.) и углубление водоема. В итоге это может привести к полному вытаиванию подземного льда и возникновению под водоемом несквозного подошрного талика и при малой мощности мерзлоты – сквозного.



Рисунок 2.3.33 - Эталон дешифрирования термокарста по участкам нарушения поверхностного стока (фото)

Опорный разрез для данного типа представлен льдистыми и слабольшдистыми суглинками с включением линзы подземного льда в верхней части разреза (рисунок 2.3.34).

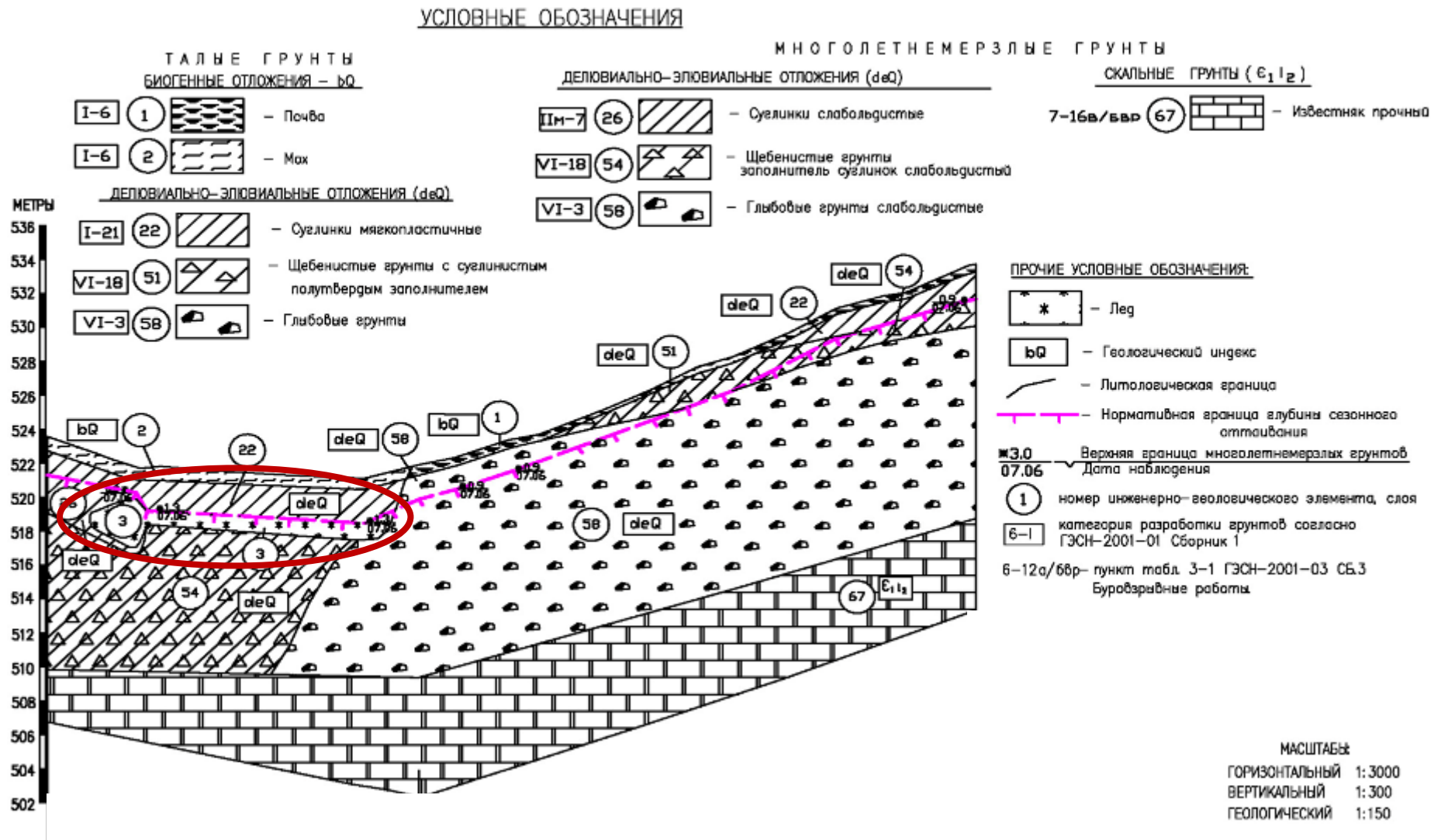


Рисунок 2.3.34. Опорный разрез для явлений «Термокарст по участкам нарушения поверхностного стока»

Идентификация техногенных проявлений термокарста, находящихся на начальной стадии своего развития, по материалам дистанционных обследований затруднена. Для отделения проявлений термокарста от проявлений обводнения, подтопления была выполнена оценка динамики обводненности явления в течение всего периода обследований с учетом изменения климатических параметров.

2.4 Оценка динамики термокарстовых явлений при помощи дистанционных методов

В современной литературе широко представлены работы по изучению динамики термокарстовых озер. С развитием и общим доступом к данным дистанционного зондирования получили широкое распространение методы изучения динамики термокарстовых озер с помощью космических снимков. Изменения площадей озер фиксировались по разновременным снимкам, и составлялся прогноз развития процесса для изучаемой территории. При этом изучаемая территория классифицировалась по характеру распространения многолетнемерзлых грунтов. Анализ трендов развития термокарстового процесса был выполнен на территорию Аляски [84], Западной Сибири [85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92] и на территорию всей криолитозоны России [93]. При этом исследователи получили различные, не согласующиеся друг с другом результаты по динамике озер, что связано, прежде всего, с анализом различных периодов этой динамики, а также со слабой обоснованностью связи озёр с термокарстовым процессом. Зачастую в ходе исследований были сопоставлены лишь отдельные снимки с большим временным интервалом между ними, и не учитывались межгодовые колебания водной поверхности [94].

При измерении площадей озер на космических снимках за границу озера принимают хорошо визуально дешифрируемую границу зеркала воды. Размеры котловины активного термокарстового озера могут только увеличиваться (исключая площади роста бугров пучения), в то время как площадь зеркала водной поверхности озер может как уменьшаться, так и расти. Таким образом, под динамикой озер часто подразумевается режим его водной поверхности.

Следовательно, выводы о динамике озер, сделанные на основе сравнения двух срезов времени, следует делать с учётом фазы и продолжительности анализируемого периода.

Режим уровня воды в термокарстовых озерах зависит от водного баланса территории. По балансу поверхностных вод озера делятся на сточные и бессточные. В районах с дефицитом влаги часть термокарстовых озер бессточна. В засушливые циклы лет бессточные озера полностью или частично высыхают, а в пльвиальные эпохи – наполняются водой [93]. При этом основной расходной частью водного баланса является испарение.

Важным результатом дистанционных наблюдений является распространённое явление разнонаправленной динамики площадей термокарстовых озёр, расположенных в однородных ландшафтах [90]. Такая динамика не может быть объяснена межгодовой изменчивостью региональных условий (температура воздуха, количество осадков, испарение с водной поверхности и т.п.). Дистанционные наблюдения в этом случае требуется дополнять наземными исследованиями, необходимыми для типизации озёр по генезису и условиям водообмена [95].

По данным трехлетнего цикла аэровизуальных обследований были отмечены формы с признаками увеличения обводненности или разрастания под воздействием хозяйственного освоения территории (рисунок 2.4.1).



Рисунок 2.4.1 - Изображения термокарстового явления в первый, второй и третий годы обследования (слева направо)

Анализ выделенных типов позволил обнаружить наличие признаков стадийности развития процесса (рисунок 2.4.2).

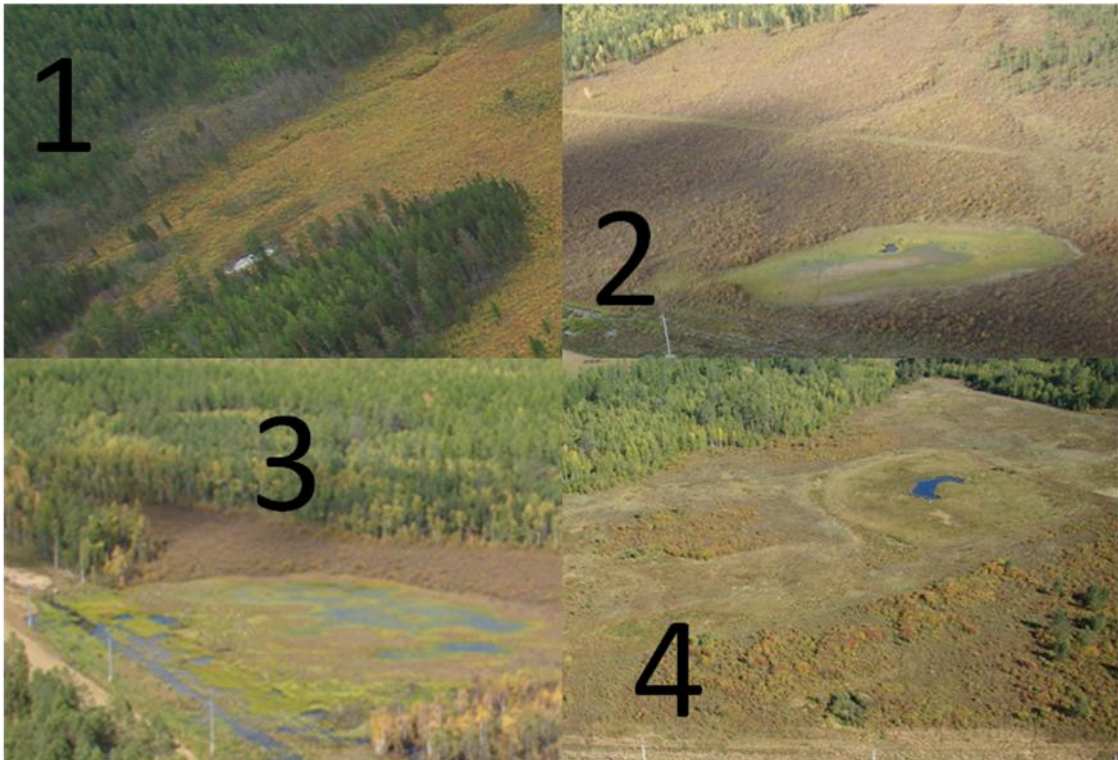


Рисунок 2.4.2 - Признаки стадийности развития процесса

На первой стадии своего развития явления термокарста характеризуются небольшими размерами и крутыми бортами котловины, обводнены. На второй и третьей стадии развития в пределах термокарстовая форма увеличивается в размерах, борта котловины выполаживаются, в пределах котловины начинается преобразование растительного покрова и формируется своеобразный буфер (растительность в пределах буфера представлена травяно-моховыми видами), зеркало воды уменьшается. На четвертой стадии площадь растительного покрова увеличивается, видны следы стока.

Выделенные типы явлений характеризуются различным временем развития и интенсивностью протекания процесса, что приводит к необходимости разработки индивидуальных мер защиты для каждого из них.

Оценка межгодовой динамики явлений в рамках аэровизуальных работ осуществлялась двумя методами. Первый метод предполагает анализ изменений проявлений по аэрофотоснимкам разных периодов наблюдения. Вторым из

предлагаемых методов оценки является анализ развития проявлений термокарста внутри заранее заданного участка с фиксированными границами. Оценка производится по следующим критериям: изменению генетического разнообразия проявлений геокриологических процессов, изменению их количества, изменению категории опасности процесса. На основе проведенного анализа, выявляются участки с различной динамикой проявлений. Для них назначаются рекомендации по проведению наземных обследований или инженерных мероприятий.

Анализ изменений проявлений по аэрофотоснимкам разных периодов наблюдения производится в два этапа:

- выявление устойчивых проявлений с четкими диагностическими признаками;
- сравнение проявлений ЭГП по визуальным признакам.

Для выявления устойчивых проявлений с четкими диагностическими признаками в процессе дешифрирования материалов АэВО выполняется определение местоположения проявлений ЭГП, нанесение их на карту и присвоение категории опасности (по критерию близости к линейному объекту). При повторном дешифрировании контуры выявленных в ходе предыдущих обследований проявлений подгружаются на рабочую карту. При выявлении на одной и той же территории проявлений одних и тех же типов ЭГП, выявленных в разные годы обследований, осуществляется сравнение их фотоизображений. Из общего количества ежегодно повторяющихся (устойчивых) проявлений выбираются проявления с четкими идентификационными признаками. Для этих проявлений подбираются серии фотографий по всем годам обследований. При этом, учитывая погрешности привязки и динамические изменения процессов, возможно неполное наложение контуров проявлений разных лет.

Данная методика сравнения проявлений позволяет выявить устойчивые проявления, то есть те проявления, которые сохраняются на протяжении всего периода обследований, а также качественно оценить процент проявлений,

отличающихся высокой динамичностью и очевидно зависящих от годовых климатических параметров.

Сравнение проявлений ЭГП по визуальным признакам осуществляется посредством просмотра фотографий (рисунок 2.4.3.). Результатом данной операции является оценка изменений размеров каждого проявления ЭГП. На основе произведенной оценки дается характеристика динамики проявления (отрицательная, динамика отсутствует, положительная).

Предполагается, что изменение площади термокарстовых озер может служить индикатором изменения геокриологических условий.

Процесс	Фото первого года обследований	Фото второго года обследований	Фото третьего года обследований
Нарушение естественного стока (затопление)			
Термокарст			
Термокарст			

Рисунок 2.4.3 - Сравнение проявлений ЭГП на фотоснимках разных лет обследований.

Выявление устойчивых проявлений также помогает произвести более точную идентификацию генезиса явлений, так как термокарстовые явления отличаются меньшей динамичностью по сравнению с явлениями нарушения естественного стока (затоплением). Наличие устойчивых водных скоплений на участках с высокольдистыми породами или массивами льда повышает вероятность развития термокарста и требует повышенного внимания к данным проявлениям.

Для уточнения идентификации также используются данные с ближайших метеостанций. Анализа данных с 13 метеостанций позволил выполнить сравнение среднегодовой и средней многолетней сумм осадков (за цикл обследований с 2010 по 2012 гг.). Выявлено, что в горных регионах восточной части трассы (метеостанции Алдан, Нагорный, Тында) в первый период обследований превышены средние многолетние значения, и сумма осадков является максимальной за весь цикл. В районе метеостанций Чульман и Сквородино среднегодовая сумма осадков за все три периода близка по значениям и сопоставима со средней многолетней, однако их максимум отмечен в последний период. На равнинных участках в районе метеостанций Олекминск, Витим, Киренск - максимальными значениями, с превышением средних многолетних, отличается третий период. Остальные метеостанции западного участка трассы характеризуются небольшой изменчивостью значений в пределах исследуемого цикла, зачастую с суммой осадков ниже средней многолетней (рисунок 2.4.4).

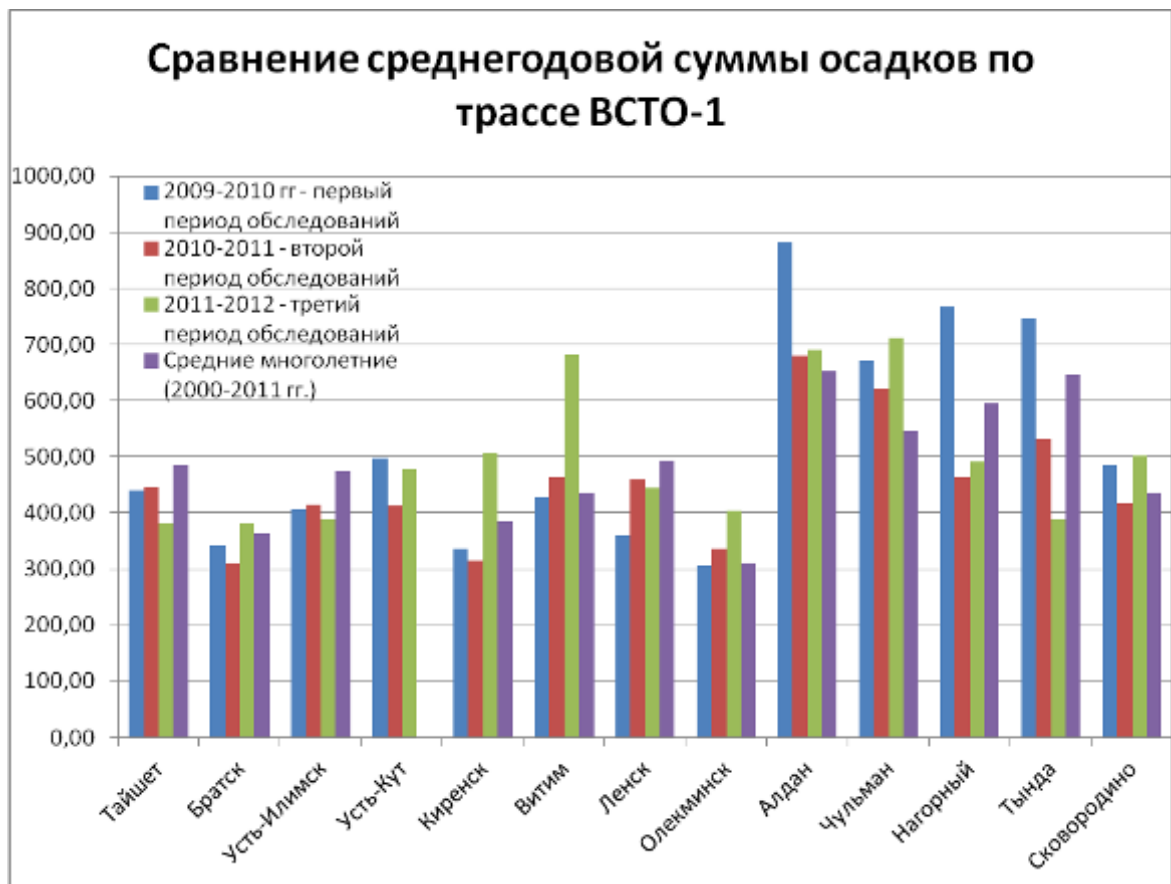


Рисунок 2.4.4 - График изменения суммы осадков по циклам обследований и средней многолетней

Связка устойчивых проявлений также позволяет определить количество исчезнувших и вновь появившихся проявлений, что помогает сложить впечатление об общей динамике проявлений на всем протяжении линейного объекта.

По итогам проведенного анализа данных аэровизуальных обследований 2010-2012 гг. (в нарушенных условиях) было выявлено 696 обводненных участков и 23 заболоченных. Из общего количества выявленных явлений признаки развития термокарстового процесса были обнаружены только у 100 явлений.

Анализ динамики развития проявлений ЭГП внутри заранее заданного участка с фиксированными границами осуществляется методом сравнения проявлений ЭГП, выявленных в разные периоды обследований. Оценка динамики участков с проявлениями экзогенных геологических процессов проводилась по следующим критериям:

- изменению количества проявлений ЭГП на участке;
- изменению генетического состава и разнообразия типов проявлений ЭГП на участке [96].

Практика проведения аэровизуальных обследований показывает, что в зависимости от длительности периода наблюдения и целей, стоящих перед исследователями, в равной степени успешно применяются оба метода анализа.

Следует отметить, что в данном случае вопрос изучения динамики термокарстовых явлений и не всегда связан с развитием термокарстового процесса.

С точки зрения изучения динамики термокарстового процесса на основе дистанционных данных на данный момент не существует прямого метода, позволяющего наблюдать изменения температурного режима или рост озерной котловины. Перспективным методом с точки зрения измерения скоростей просадки при развитии термокарстового процесса является интерферометрическая съемка и воздушное лазерное сканирование, однако эти методы ещё не нашли широкого применения в изучении данного вопроса.

Однако, даже получение данных о скоростях и динамике озерных котловин не достаточно для прогнозирования новообразований термокарстовых форм.

Для прогнозирования термокарстового процесса необходим анализ условий и факторов его образование и организация пунктов наземного мониторинга.

2.5 Анализ распространения термокарстовых явлений

В современной нормативной литературе используются показатели площадной пораженности территории в процентах от площади проявления на одном участке [13]. Этот метод требует больших трудозатрат для площадного районирования и даёт различные результаты поражённости в зависимости от выбора ширины буферной зоны линейного объекта. В настоящей работе, вместо анализа пораженности территории термокарстовыми явлениями, предлагается представить информацию о распространении термокарстовых явлений в бинарной форме, то есть ответить на вопрос: «Есть ли термокарст на данном километре трассы и в данном типе местности?» (0-нет, 1-есть). Для характеристики территории в бинарной форме было введено понятие встречаемости.

Под встречаемостью термокарста принято понимать [97] число погонных километров трассы нефтепровода, в пределах которых выявлена хотя бы одна термокарстовая форма. Под встречаемостью геолого-географических условий понимается число погонных километров трассы, содержащих хотя бы один ареал с выбранной природной характеристикой.

Для выявления закономерностей распространения термокарстовых явлений представляется перспективным анализ встречаемости термокарстовых форм, сопоставленный с анализом встречаемости различных геолого-географических условий, с которыми связано распространение явлений термокарста.

Приведем пример для обоснования данного подхода. Представим, что полоса нефтепровода представлена двумя типами местности, которые попеременно сменяют друг друга. Первый тип местности встречается вдоль трассы 10 раз и второй 10 раз. На одном из 10 участков первого типа местности мы обнаружили 10 крупных термокарстовых озер. На 10 участках второго типа

местности термокарстовые проявления встречаются по одному их размеры несколько меньше, всего их 9, но они встречены в каждом из 9 участков. Если в данном случае проводить анализ распространения явлений, используя критерий пораженности, то можно сделать вывод, что распространение явлений термокарста связано с первым типом местности. Однако логичнее предположить, что в пределах первого типа местности термокарст локален и связан с каким-либо уникальным фактором или сочетанием условий, причём возможно формирование термокарстовых форм идёт более длительное время и большая часть льда в грунтах уже вытаяла, т.е. опасность уменьшилась. Напротив, на участках второго типа местности термокарст не локален, а является повсеместно развитым явлением и, при сравнении указанных двух типов местности мы будем утверждать, что распространение термокарстовых явлений связано со вторым типом местности.

Пространственное распространение термокарстовых явлений в буферной зоне нефтепровода

По данным аэрофото- и космосъемок, выполненных в течение трехлетнего цикла мониторинговых работ, было осуществлено дешифрирование термокарстовых форм вдоль всей трассы нефтепровода. Общее количество выделенных явлений термокарста составило 2146. Ширина исследуемой территории определялась шириной съемки и обеспеченностью данными, она составила 3 км (по 1,5 км в каждую сторону от оси нефтепровода). Это позволило выявить явления не только в зоне влияния нефтепровода, но и в естественных условиях. Использование единого проектного решения на всем протяжении нефтепровода (подземная прокладка), дало возможность изучить реакцию термокарстовых процессов на однотипное техногенное воздействие в различных природных условиях.

На рисунке 2.5.1 приведен график пространственного распространения разных типов термокарстовых явлений на погонных километрах трассы нефтепровода.



КОЛ-ВО ЯВЛЕНИЙ КОЛ-ВО КМ

2146

328

ЯВЛЕНИЯ ВСЕХ ТИПОВ

353

71

■ 1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков

198

71

■ 2 - по ложбинам подповерхностного стока

304

87

■ 3 - блюдцевидные понижения по долинам рек

95

24

■ 4 - по пойменным и террасным старицам рек

179

70

■ 5 - по кустарниковым марям

44

20

■ 6 - по зеленым участкам

157

32

■ 7 - по бугристым торфяникам

123

30

■ 8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ

593**28**

■ 9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)

9

5

■ 10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы

74

33

■ 11 - по участкам тепловых воздействий

17

14

■ 12 - по участкам нарушения поверхностного стока

2146

485

Рисунок 2.5.1 - Пространственное распространение термокарстовых явлений в окрестности нефтепровода по типам

Так мы можем видеть, что общее количество явлений термокарста 1 типа "по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)" составляет 353; 2 типа "термокарст по ложбинам подповерхностного стока"

- 198; 3 типа "блюдецвидные понижения по долинам рек" - 304, 4 типа "термокарст по пойменным и террасным старицам рек" - 95, 5 типа - "термокарст по кустарничковым марям" - 179; 6 типа "термокарст по залесенным участкам" - 44; 7 типа "термокарст по бугристым торфяникам" - 157; 8 типа "термокарст по группам ландшафтов с ПЖЛ" - 123; 9 типа "термокарст по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)" - 593; 10 типа "термокарст по участкам механических нарушениями поверхности почвы" - 9, 11 типа "термокарст по участкам тепловых воздействий" - 74 и 12 типа "термокарст по участкам нарушения поверхностного стока" - 17 (рисунок 2.5.1).

Таким образом, наибольшим количеством выявленных проявлений характеризуется тип № 9, на втором месте тип №1, на третьем тип №3. При этом разница в количестве проявлений среди вышеуказанных трех типов достаточно велика, количество проявлений типа №9 более чем в 1,5 раза больше, чем в типе №1 и почти в 2 раза, чем в типе №3.

Однако, количество термокарстовых форм (просадок, западин, озер и др.) на участке скорее характеризует специфику проявления процесса в определенных природных и техногенных условиях, его активность и длительность развития в прошлом. Так, на рисунке 2.5.2 приведены изображения типов термокарстовых явлений №9 и №3. Так, например, тип №3 характеризуется относительно большими формами проявления, его формирование видимо произошло в результате длительного развития процесса на территории, вытаявания льдистых грунтов или подземных льдов. Тип №9 видимо связан с протаиванием слабольшдистых грунтов с разной пространственной дифференциацией льда (возможно бугров пучения).

При этом по данным единичным изображениям явлений на аэрофотоснимках и фотоснимках трудно определить активность развития процесса в настоящий момент. Для анализа развития процессов рекомендуется организация пунктов наземного мониторинга или использование других

дистанционных методов, позволяющих определять изменения рельефа (например, воздушное лазерное сканирование или интерферометрия).

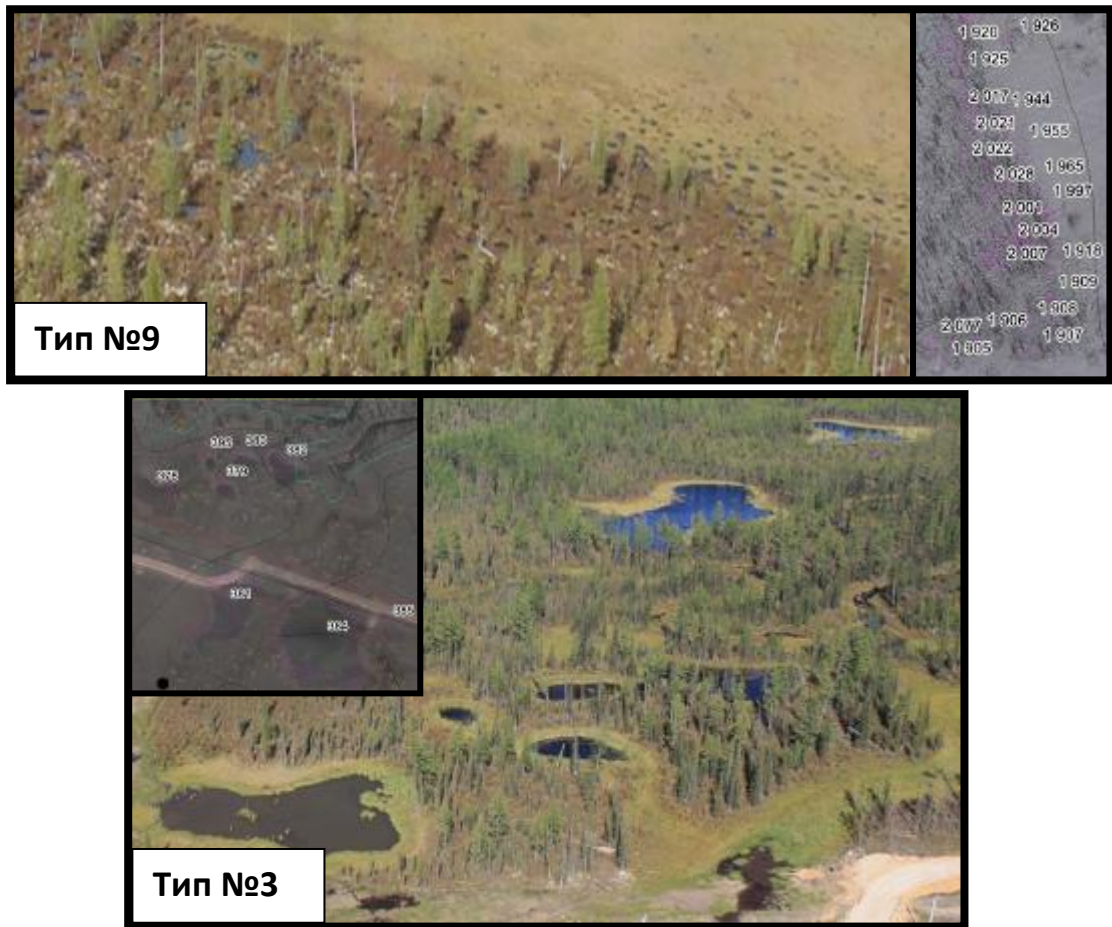


Рисунок 2.5.2 - Изображения типов № 9 "мелкоячеистый термокарст" и №3 "блюдецвидные понижения по долинам рек" на фотоснимках и аэрофотоснимках

При этом если рассмотреть распространение явлений термокарста по встречаемости на километрах трассы, то наибольшим числом встречаемости характеризуется тип №3, на втором месте типы №1 и 2 и на третьем месте тип №5 (рисунок 2.5.1).

Таким образом, тип №3 характеризуется как большим количеством проявлений, так и широким распространением в буферной зоне нефтепровода, а тип №9 характеризуется только большим количеством проявлений, его встречаемость по километрам трассы составляет 28 раз, что ниже среднего значения.

На рисунке 2.5.3 приведены круговые диаграммы с информацией о том, какой долей характеризуется количество проявлений каждого типа от общего количества и какой долей характеризуется встречаемость явлений каждого типа от общей встречаемости. Сравнение диаграмм на рисунке позволяет выявить типы проявлений, количество которых значительно превышает их распространенность, то есть типы явлений которые встречаются большими группами (тип №1, 9, 7).

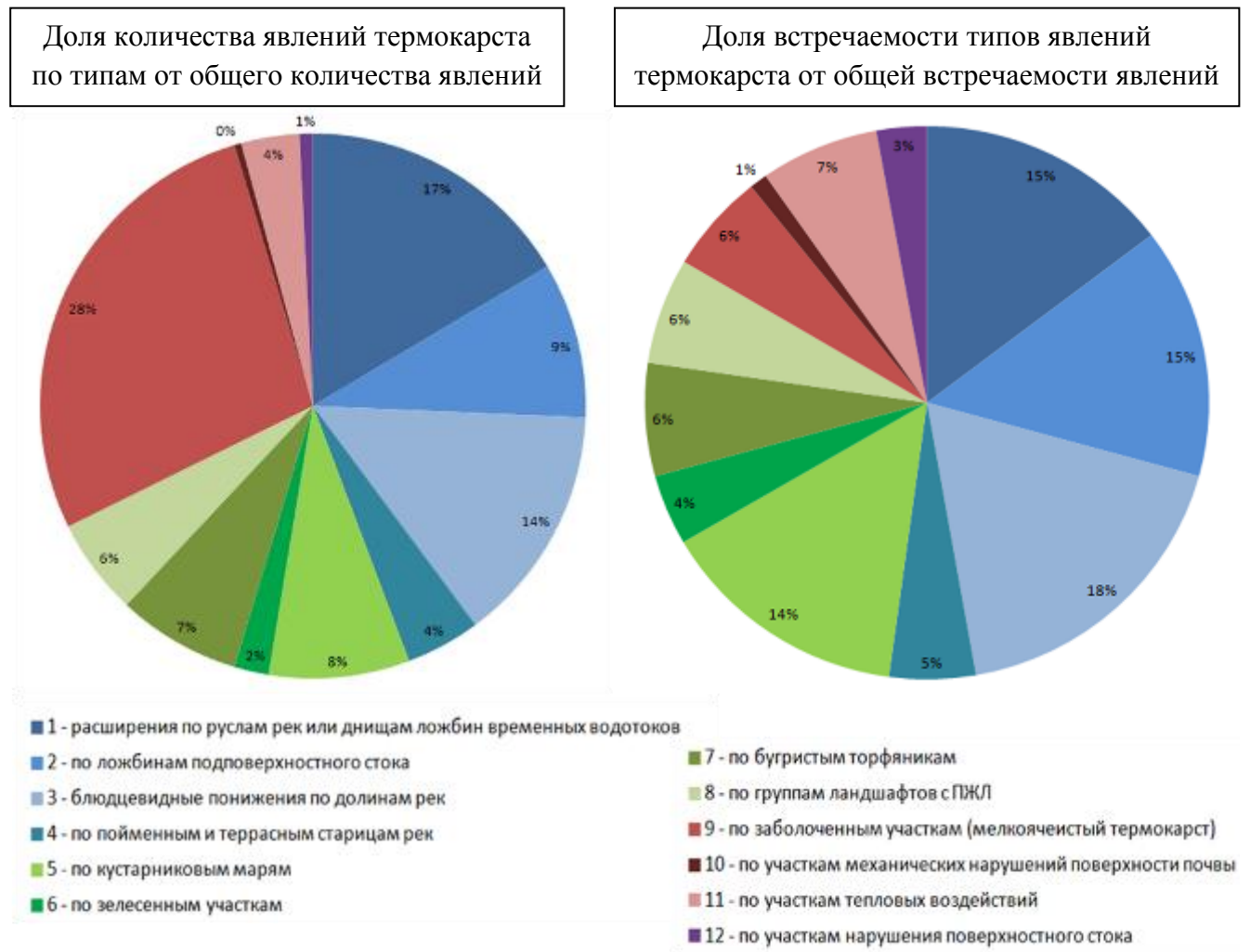


Рисунок - 2.5.3 - Сравнение доли количества и доли встречаемости явлений термокарста по типам от общего числа

На основании вышесказанного можно заключить, что характеристика термокарста по количеству явлений скорее характеризует специфику его проявления, механизмы формирования, время развития и активность на определенном временном отрезке и зависит от ландшафта на котором он

развивается и как следствие от формы рельефа, строения территории, типа подземного льда и других локальных условий и факторов, а также от истории развития территории, климатических изменений.

Тогда как встречаемость позволяет дать характеристику именно распространенности явлений термокарста.

На основе данных о распространении термокарстовых форм был построен график встречаемости термокарстовых явлений по погонным километрам трассы нефтепровода, в соответствии с эксплуатационным километражем (рисунок 2.5.4).

На графике цветом отмечены погонные километры трассы, в пределах которых обнаружено хотя бы одно термокарстовое явление. При этом километры трассы с природными явлениями показаны синим цветом, с техногенными или активизированными в результате техногенеза явлениями – красным. Разный размер синих и красных линий позволил показать наличие в пределах одного погонного километра трассы как природных, так и техногенных явлений.

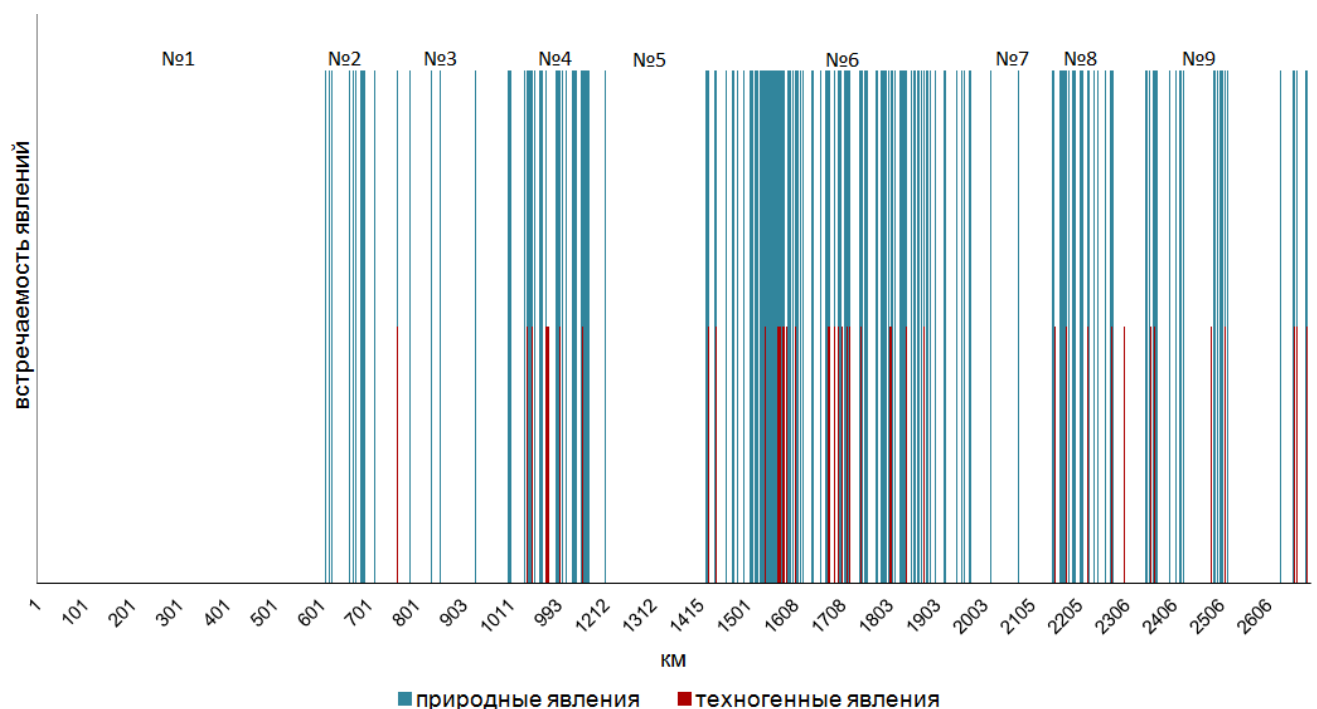


Рисунок 2.5.4 - Встречаемость термокарстовых явлений на погонных километрах трассы нефтепровода

Общее количество километров с природными проявлениями составило 276, с техногенными проявлениями 52. На рисунке 2.5.4 хорошо видны значительные

неравномерности в распространении термокарстовых явлений на разных отрезках вдоль нефтепровода. Всю трассу можно условно разделить на 9 зон по частоте встречаемости термокарстовых явлений.

Две зоны №1 (км: 1 - 606) и №5 (км: 1212 по 1425) характеризуются практически полным отсутствием термокарстовых явлений. В зоне №1 это, вероятно, связано с отсутствием ММП на данной территории. Отсутствие явлений в зоне №5 является предметом дальнейших исследований.

Зона № 2 (км: 607 – 690) характеризуется средней частотой встречаемости километров с термокарстом: в среднем термокарстовые явления встречаются на 1 из 6 км. Эта зона характеризуется небольшой протяженностью и представлена двумя участками сгущения термокарстовых явлений, между которыми расположен участок без явлений. Участки/интервалы с термокарстом в основном встречаются по одному или в группах по 2-3 км.

Зоны №3 (км: 691-998) и №7 (км: 1973-2163) характеризуются очень низкой частотой встречаемости участков с термокарстом: в среднем термокарстовые явления встречаются на 1 из 38-39 км. В зонах наблюдается разреженность километровых интервалов с термокарстовыми явлениями. Участки с термокарстом в основном встречаются по 1-2 км, в окружении территорий, где явления не обнаружены.

Зоны № 4 (км: 999 – 1211), № 6 (км: 1426 – 1972) и № 8 (км: 2164 – 2275) характеризуются высокой частотой встречаемости участков с термокарстом: в среднем термокарстовые явления встречаются на каждом третьем километре.

Зона № 9 (км: 2276 – 2691) характеризуется низкой частотой встречаемости участков с термокарстом: в среднем явления встречаются на каждом десятом километре.

Таким образом, выявлено, что распространение явлений в буферной зоне нефтепровода является неравномерным. Наибольшей частотой встречаемости явлений термокарста характеризуются участки расположенные на территории Южной Якутии.

Следующим этапом работы является поиск причин неравномерности распространения явлений термокарста. Поиск взаимосвязи между встречаемостью явлений термокарста и природными условиями или факторами осуществляется с применением специального вероятностно-статистического метода. Данный подход ранее никогда не применялся для решения подобных задач и является новым.

Выводы:

1. Усовершенствованная методика аэровизуального обследования с применением специального оборудования является одним из наиболее экономически выгодных методов, позволяющих в короткие сроки предоставить актуальную информацию о распространении экзогенных геологических явлений вдоль протяженных линейных объектов. Использование перспективной съемки при фотографировании позволяет получить информацию о морфологических характеристиках явлений и ландшафтов. Однако данный метод не позволяет обеспечить точной привязки объекта на местности (без использования космосъемки или аэрофотосъемки), не несет детальной информации об объекте исследования (требуется дополнительных наземных обследований), оценка развития процессов затруднена.

2. Разработка региональной типизации термокарстовых явлений позволила разделить все выделенные (2146) проявлений термокарста на 12 типов, 9 из которых природного происхождения и 3 техногенного. Приуроченность явлений к участкам изменения природных ландшафтов является основой для типизации природных явлений и позволяет составить представление о механизмах их формирования, а также выделить эталоны для их дешифрирования. Типизация техногенных явлений термокарста по приуроченности к участкам приложения техногенной нагрузки позволяет разработать рекомендации по выбору методов инженерной защиты на участках их развития.

3. В южной геокриологической зоне термокарстовые формы приурочены к долинному комплексу (руслам, поймам, террасам и старицам рек), ложбинам стока, участкам распространения марей и бугристо-западинного рельефа, полигонального рельефа, заболоченным ландшафтам. В лесной зоне распространены около 2% от всех явлений термокарста. Большинство явлений термокарста представлены формами небольшой глубины (первые метры), что

говорит о распространенности льдистых ММП небольшой мощности. Наибольшими размерами характеризуются явления термокарста приуроченные к поймам и террасам рек, марям, бугристо-западинному и полигональному рельефу, что говорит о наличии в данных типах местности льдистых грунтов и подземных льдов. Широкое распространение дренированных проявлений может являться свидетельством затухания процесса в естественных условиях.

4. Идентификация техногенных типов явлений термокарста, находящихся на начальной стадии своего развития, по данным дистанционных обследований затруднена. Для повышения точности идентификации необходим анализ мерзлотных характеристик грунтов, а также оценка динамики проявления за период обследований с учетом изменения климатических параметров.

5. Для анализа распространения явлений термокарста вдоль трассы нефтепровода рекомендуется использовать понятие "встречаемости". Под встречаемостью термокарста понимается число погонных километров трассы нефтепровода, в пределах которых выявлена хотя бы одна термокарстовая форма.

6. Распределение явлений в буферной зоне нефтепровода является неравномерным. Всю трассу можно условно разделить на 9 зон по частоте встречаемости термокарстовых явлений. Деление буферной зоны трассы нефтепровода по частоте встречаемости проявлений термокарста может быть использовано как один из принципов ее районирования.

Глава 3. Методические основы районирования территории по роли условий и факторов в распространении явлений термокарста

3.1 Вероятностно-статистический метод поиска закономерностей распространения явлений термокарста в различных природных условиях

Выделенные принципы районирования буферной зоны нефтепровода по тектоническим, геологическим, мерзлотным, мерзлотно-ландшафтным, ландшафтно-геоморфологическим и климатическим условиям и факторам являются основой для анализа распространения явлений термокарста.

Использование независимых критериев при картировании территории позволило построить математическую модель на основе вероятностно-статистической системы оценки и провести на ее основе вычислительный эксперимент. Целью данного эксперимента было выявление зависимости распространения термокарстовых явлений от различных природных условиях в буферной зоне трассы нефтепровода.

Рассмотрим смысл эксперимента и последовательность действий в нем на примере анализа типов местности с карты природных комплексов. Наличие термокарстовых явлений мы принимаем как случайное событие. В рамках нашего предположения вначале мы принимаем, что деление по типам местности не влияет на распределение термокарстовых явлений, то есть термокарстовые явления распределены равномерно по всем типам местности. Вероятность встречи явлений термокарста в пределах каждого типа местности в этом случае должна совпадать с частотой встречаемости этого типа местности в коридоре трассы нефтепровода. И она будет тем больше, чем чаще встречается тип местности.

В итоге эксперимента должен быть получен ответ на вопрос, можно ли термокарстовые явления считать случайными событиями или по каким-то признакам проявится связь типов местности с распределением термокарста? Для

этого необходима *числовая характеристика*, позволяющая выделить зависимости, которые не являются случайными.

Работа выполнялась с использованием географической информационной системы (ГИС) MapInfo Professional 11.5, предназначенной для сбора, хранения, отображения, редактирования и анализа пространственных данных.

Анализ трассы нефтепровода проводился лишь на той части трассы, где распространены ММП.

Коридор вокруг трассы был разбит на примерно равные участки длиной 1 км и шириной 3 км (по полтора километра от оси нефтепровода). Участки были пронумерованы. Принятый размер единичного участка обеспечил масштаб рассмотрения зависимостей развития термокарста на уровне природно-территориальных комплексов (ПТК), что соответствовало поставленной задаче.

В одной тематической карте, как правило, содержалось сразу несколько характеристик исследуемой территории. Так, например, согласно карте природных комплексов каждый участок трассы нефтепровода был охарактеризован по типам местности, растительности, рельефу и т.д. В результате зонирования по типам местности вся трасса нефтепровода была разделена без остатка на четыре крупных зоны: интразональные ландшафты; лесные; лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья); лесотундровые преимущественно горные.

На основе данных с карты природных комплексов и данных о распространении термокарстовых явлений были составлены таблицы. В одной таблице собраны характеристики участков по одному признаку (таблица 3.1.1) (например, только типы местности). Строки таблицы соответствуют участкам, на которых распространен термокарст, столбцы – типам местности. Вся информация в таблицах представлена в троичной системе: 0 – нет данного типа местности на участке, 1 – есть данный тип местности на участке, но в нем нет термокарстовых явлений, 2 – есть данный тип местности на участке и есть явления термокарста в данном типе местности. Таким образом, в таблице для каждого из участков

трассы была приведена информация о наличии или отсутствии в его пределах встречающихся на исследуемой территории типов местности и о наличии или отсутствии в пределах этих типов местности термокарстовых форм. При этом размеры термокарстовых явлений и их форма не учитываются. Каждое явление представляется в виде точечного объекта по его центроиду.

Алгоритм заполнения таблицы можно описать нижеследующим набором действий. Во-первых, необходимо выбрать природную характеристику территории, взаимосвязь распространения термокарстовых явлений с которой нас интересует, например, деление территории по типам местности. Далее необходимо определить набор типов местности на исследуемой территории, в нашем случае типов местности четыре: интразональные ландшафты (№1); лесные (№2); лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья) (№3); лесотундровые преимущественно горные (№4) (таблица 3.1.1). После чего необходимо последовательно просматривать участки трассы, отвечая на вопросы: "встречен ли тип местности №1, 2, 3 и 4 на данном участке?" и "встречено ли хотя бы одно термокарстовое явление в типе местности №1, 2, 3 и 4 на данном участке?" Результаты просмотра заносятся в соответствующую ячейку таблицы.

Таблица 3.1.1 - Пример таблицы с характеристикой участков трассы по наличию типов местности и термокарстовых явлений.

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1	0	1	0	0
2	0	1	0	0
3	2	0	2	1

Полная таблица с характеристикой участков трассы по наличию типов местности и термокарстовых явлений приведена в Приложении А.

Подобные таблицы были составлены по всем видам районирования территории по тектоническим условиям (отдельно для региональных структур (3 типа), отдельно для неотектонические структур второго порядка (3 типа)), по геологическим условиям (3 типа), по мерзлотным условиям (7 типов), по

мерзлотно-ландшафтным условиям (7 типов), по ландшафтно-геоморфологическим условиям (отдельно для растительности (53 типа), отдельно для рельефа (15 типов), отдельно для заболоченности территории (2 типа)), по климатическим факторам (отдельно по средним суммам осадков (3 типа), отдельно по средним многолетним температурам воздуха (4 типа)).

Заполненные таким образом таблицы являются основой вычислительного эксперимента. Следующим шагом эксперимента является вычисление частоты встречаемости типов местности в буферной зоне трассы нефтепровода. Для этого по одному выбираются типы местности (или другие характеристики территории) и определяется, сколько раз они встречены на территории исследования в пределах единичных участков трассы, а также сколько раз в них встречен термокарст. Данные операции осуществлялись стандартными средствами ГИС при помощи функции запросов, позволяющей выбрать по столбцам таблицы все ячейки со значением 1 или 2 при подсчете встречаемости типов местности и 2 при подсчете встречаемости термокарста. Таким образом, было посчитано общее количество встреч типов местности, а также общее количество встреч термокарста в каждом из типов. После чего была вычислена частота встречаемости выбранного типа местности в долях от общего количества встреч всех типов местности.

Для примера предположим, что у нас три участка. Согласно таблице 3.1.1 общая встречаемость всех типов местности равна 5. Встречаемость интразональных ландшафтов, лесотундровых преимущественно равнинных (плоскогорий) и лесотундровых, преимущественно горных равна 1. Встречаемость лесных ландшафтов равна 2. Общая встречаемость термокарста по всем типам местности равна 2. В этом случае частота встречаемости лесных ландшафтов равна $2/5$.

В реальных условиях общее количество участков равно 2085 и соответствует общему количеству погонных километров с ММП. Расчет по ним производится аналогично.

Как уже говорилось, встречаемость термокарстовых явлений рассматривалась совместно с встречаемостью типов местности в пределах исследуемого объекта. Вначале была получена частота встречаемости k -го типа местности N_k среди общей встречаемости всех типов N , где k – номер типа местности, $1 \leq k \leq r$, r – число типов местности. Номера по типам местности присваиваются произвольно для того, чтобы отличить числовые характеристики одного типа местности от числовых характеристик другого. Общая встречаемость вычисляется как сумма встречаемостей всех типов местности

$$N = \sum_{k=1}^r N_k. \quad (1)$$

Согласно принятому допущению, деление по типам местности не влияет на распределение термокарстовых явлений, а значит чем больше встречаемость N_k ландшафта k в общем количестве встречаемости ландшафтов N , тем выше вероятность того, что мы обнаружим термокарст в ландшафте k . Это будет означать равномерное распределение вероятностей по встречаемости, вследствие чего вероятность обнаружить термокарст в ландшафте k равна

$$p_k = N_k / N. \quad (2)$$

При определенной общей встречаемости термокарстовых явлений n по всем типам местности, которое устанавливается из общей таблицы, можно вычислить *математическое ожидание* $M(m_k)$ частоты встречаемости термокарста в пределах отдельного типа местности. Затем – сравнить его с фактически *полученной частотой встречаемости термокарстовых явлений* m_k .

Значительное отклонение фактически полученного значения встречаемости m_k от математического ожидания $M(m_k)$ может свидетельствовать о том, что между типом местности и термокарстовыми явлениями есть связь. При этом связь может быть как *прямой*, если наблюдаемая величина превышает математическое ожидание, так и *обратной*, если математическое ожидание превышает наблюдаемую величину (таблица 3.1.2).

Вышеуказанную задачу можно решить, используя основные свойства *полиномиального* распределения [98]. Пусть случайное событие A_k состоит в том, что брошенная «точка» (термокарст или термокарстовое явление) будет встречена в области местности типа k , $1 \leq k \leq r$.

Вероятности однократного появления каждого из событий A_1, A_2, \dots, A_r равны соответственно p_1, p_2, \dots, p_r , причём $0 \leq p_k \leq 1, k = 1, 2, \dots, r$ и $p_1 + p_2 + \dots + p_r = 1$.

Пусть X_k – случайная величина, принимающая значение частоты встречаемости термокарста m_k на местности типа k , содержащей термокарст. Тогда *совместное распределение* случайных величин X_1, X_2, \dots, X_r , где X_k – число появления события A_k при n испытаниях, *задаётся вероятностями*, определенными для любого набора целых неотрицательных чисел m_1, m_2, \dots, m_r , удовлетворяющих единственному условию $m_1 + m_2 + \dots + m_r = n$:

$$P_n(m_1, m_2, \dots, m_r) = \frac{n!}{m_1! m_2! \dots m_r!} p_1^{m_1} p_2^{m_2} \dots p_r^{m_r}. \quad (3)$$

Иначе, формула (3) выражает вероятность того, что в n опытах исход A_1 наступит ровно m_1 раз, исход A_2 – m_2 раза, ..., исход A_r – m_r раз.

Для нас существенно то, что каждая случайная величина X_k имеет *биномиальное* распределение с математическим ожиданием $M(X_k) = np_k$, дисперсией $D(X_k) = np_k q_k = np_k (1 - p_k)$ и среднеквадратичным отклонением $\sigma_k = \sqrt{np_k q_k}$, $k = 1, 2, \dots, r$. Кроме того, вероятность появления события A_k m_k раз может быть вычислена независимо

$$P_n(m_k) = \frac{n!}{m_k! (n - m_k)!} p_k^{m_k} q_k^{n - m_k}. \quad (4)$$

При больших значениях n вычисление вероятностей $P_n(m_k)$ по вышеуказанной формуле представляет значительные трудности. Поэтому при $np_k q_k > 10$ рекомендуют пользоваться локальной формулой Муавра-Лапласа

$$P_n(m_k) \approx \frac{\varphi(x_k)}{\sqrt{np_k q_k}}, \quad (5)$$

где $\varphi(x_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_k^2}{2}}$ – плотность нормального закона распределения вероятностей (функция Гаусса), переменная $x_k = \frac{m_k - np_k}{\sqrt{np_k q_k}}$, $k = 1, 2, \dots, r$ ¹. Для формулы (5) существуют известные таблицы.

Как установить уровень значимости случайной величины m_k , будет ясно из рассмотрения *следующей задачи* [99]. (Здесь под уровнем значимости мы понимаем такое достаточно малое значение вероятности некоторого события, при котором его можно считать неслучайным²).

Опыт повторяется независимым образом n раз. Событие A в этом опыте происходит с вероятностью p . Какова вероятность того, что отклонение $|m - np| \leq 3\sqrt{npq}$, где m – число исходов, в которых произошло событие A , $q = 1 - p$?

Будем полагать, что отклонение, как и любая ошибка измерений есть случайная величина, подчиняющаяся нормальному закону распределения вероятностей (систематические погрешности измерений отсутствуют).

В силу интегральной формулы Муавра-Лапласа интересующая нас вероятность есть:

$$\begin{aligned} \sum_{np-3\sqrt{npq} \leq m \leq np+3\sqrt{npq}} P_n(m) &= \Phi\left(\frac{np+3\sqrt{npq}-np}{\sqrt{npq}}\right) - \Phi\left(\frac{np-3\sqrt{npq}-np}{\sqrt{npq}}\right) = \\ &= \Phi(3) - \Phi(-3) = 0,9973 \end{aligned} \quad (6)$$

¹ При $n \rightarrow \infty$ совместное распределение величин x_k стремится к некоторому предельному нормальному распределению.

² Более точно: уровень значимости статистического критерия – вероятность ошибочно отвергнуть основную проверяемую гипотезу, когда она верна.

Здесь $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. Значение $\Phi(3)$ взято из таблицы, а $\Phi(-3) = -\Phi(3)$.

Выполнение указанного в условии данной задачи неравенства (наблюдаемое количество очагов явлений попадает внутрь интервала) есть практически достоверное событие – оно выполняется почти наверняка. Противоположное событие (наблюдаемое количество очагов не попадает внутрь интервала)

$$|m - np| > 3\sqrt{npq} \quad (7)$$

имеет вероятность появления 0,0027 (приблизительно 0,25%) и потому оно – практически невозможное событие.

Полученный здесь результат есть так называемое *правило трёх сигм* (3σ). Невыполнение этого правила позволяет предполагать систематическое воздействие на измеряемую величину. Поэтому неравенство (7) использовано как статистический критерий с уровнем значимости $\alpha = 0,0027$, позволяющий считать некоторые результаты эксперимента неслучайными.

Т.е. за *числовую характеристику*, позволяющую выделить результаты наблюдений, которые не являются случайными, принимается *отклонение* наблюдаемого количества термокарста от его математического ожидания, превышающее по модулю 3σ . По знаку *отклонения* определялся характер зависимости встречаемости термокарстовых явлений от типов местности (прямой или обратный).

По завершении эксперимента были составлены таблицы с результатами расчетов и выделены типы местности, в которых встречаемость термокарстовых явлений не является случайной (таблица 3.1.2).

Аналогичные эксперименты были проведены для анализа связи распространения термокарстовых явлений с тектоническими, геологическими, мерзлотными, мерзлотно-ландшафтными, другими ландшафтно-геоморфологическими, климатическими условиями и факторами. Стоит

упомянуть, что в рамках данного эксперимента не ставилась задача анализа взаимосвязи между разными природными условиями или факторами. Для обеспечения статистической значимости, при использовании вероятностно-статистического метода, общий объем выборки должен быть не меньше 30-35 явлений. Картирование территории производилось независимыми авторами по условно независимым критериям, что повышает достоверность данного эксперимента [100].

Таблица 3.1.2 - Анализ связи между встречаемостью типов местности и встречаемостью термокарстовых явлений

Типы местности				
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
Номер типа местности k	1	2	3	4
Встречаемость типов местности N_k	1331	2040	14	488
Общая встречаемость всех типов N	3873	3873	3873	3873
Вероятность события A_k p_k	0.344	0.527	0.004	0.126
Дополнение $q_k = 1 - p_k$	0.656	0.473	0.996	0.874
Общая встречаемость термокарста в пределах всех типов местности n	75	75	75	75
Встречаемость термокарста в пределах отдельного типа местности m_k	66	9	0	0
Матем. ожидание np_k	25.77	39.50	0.27	9.45
Средн. квадр. откл. $\sigma_k = \sqrt{np_k q_k}$	4.11	4.32	0.52	2.87
Отклонение $m_k - np_k$	40.23	-30.50	-0.27	-9.45
$3\sigma_k$	12.34	12.97	1.56	8.62
$3\sigma_k - m_k - np_k $	-27.89	-17.53	1.29	-0.83
Тип связи	прямой	обратный	нет	обратный

3.2 Выявление зависимостей распространения явлений термокарста от природных условий и факторов

Согласно Ю.Л. Шуру причиной начала термокарстового процесса в обобщенной форме считается увеличение глубины сезонного оттаивания грунта до совпадения с глубиной залегания подземного льда. Все причины возникновения термокарста Ю.Л. Шур разделяет на два типа, первый из которых связан с изменениями теплового баланса, а второй с изменениями водного баланса. При этом изменения могут быть как природного, так и техногенного происхождения [42]. Г.Ф. Гравис, Е.М. Катасонов и Н.И. Мухин [101,102, 65] в своих работах также сообщают, что увеличение глубины сезонного оттаивания является изменения условий теплообмена на поверхности грунта в результате ее обводнения. П.А. Соловьев (1950) в своей работе, посвященной геотермическим условиям термокарстового ландшафта в междуречье Лены и Амги [103], пришел к выводу, что наблюдаемые им термокарстовые образования вызваны некоторыми локальными факторами, и что термокарст, образовавшийся в результате изменений климата, имел бы иные формы.

Поиск закономерностей распространения явлений термокарста в буферной зоне нефтепровода выполнен начиная с карт (1:2 500 000) обзорно-регионального масштаба к крупномасштабным картам. Основой для анализа послужили выделенные принципы районирования территории по тектоническим, геологическим, мерзлотным, мерзлотно-ландшафтным, ландшафтно-геоморфологическим и климатическим условиям и факторам. В ходе работы были проанализированы зависимости распространения явлений термокарста от типа региональных структур, неотектонических структур второго порядка, строения территории; распространения ММП, их мощности и среднегодовой температуры, типа мерзлотно-ландшафтных провинций, средних многолетних сумм осадков и средних многолетних температур воздуха, типа местности, растительности, рельефа, заболоченности территории.

На основе вероятностно-статистической системы оценки определялся характер зависимости распространения явлений термокарста от условий и факторов (прямой или обратный), а также количественный критерий этой зависимости, т.е. величина отклонения наблюдаемого количества термокарста от его математического ожидания, превышающая по модулю 3σ ($3\sigma_k - |m_k - np_k|$).

Анализ был выполнен как по всей трассе нефтепровода, так и в пределах каждой из трех древних тектонических структур по отдельности (плиты с осадочным чехлом и Алдано-Становому щиту Сибирской платформы, а также Монголо-Охотской складчатой системе). Были проанализированы статистические данные о распространении проявлений по всем типам и по каждому типу в отдельности. Анализ распространения термокарстовых явлений также был выполнен для каждой из 9 зон разной частоты встречаемости явлений по отдельности (рисунок 3.2.1).

Условия и факторы	Типы местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые преимущественно горные
Выборка				
По всей трассе и всем типам	прямой	обратный	нет	обратный
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	прямой	обратный	нет	нет
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	прямой	нет	нет	обратный
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	прямой	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков	прямой	обратный	нет	обратный
2 - по ложбинам подповерхностного стока	нет	нет	нет	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинах рек	прямой	обратный	нет	обратный
4 - по пойменным и террасным старицам рек	прямой	обратный	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	прямой	обратный	нет	обратный
6 - по зеленым участкам	нет	прямой	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	прямой	обратный	нет	нет
8 - по группам ландшафтов с ГЖЛ	нет	нет	прямой	нет
9 - по заболоченным участкам (мягкокачественный термокарст)	нет	нет	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	нет
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	прямой	нет	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	обратный
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	прямой	обратный

Рисунок 3.2.1 - Зависимости распространения явлений термокарста от типов местности по всей трассе, в пределах разных древних тектонических структур, по типам явлений и по зонам встречаемости.

Как видно на рисунке 3.2.1 далеко не всегда связь условий и распространения термокарста была обнаружена.

Для начала рассмотрим, полученные результаты для каждого вида районирования по отдельности на примере Южной Якутии. В пределах Южной Якутии расположены участки с наибольшей частотой встречаемости явлений термокарста: в среднем на каждом третьем километре трассы нефтепровода.

В ходе анализа описываются только те условия и факторы, с которыми была выявлена прямая или обратная связь распространения явлений термокарста.

Анализ геологических условий

Согласно полученным результатам обнаружена прямая зависимость распространения явлений термокарста с отложениями в пределах Среднесибирского плоскогорья и обратная с отложениями Алдано-Тимптонской складчатой системы (рисунок 3.2.2).

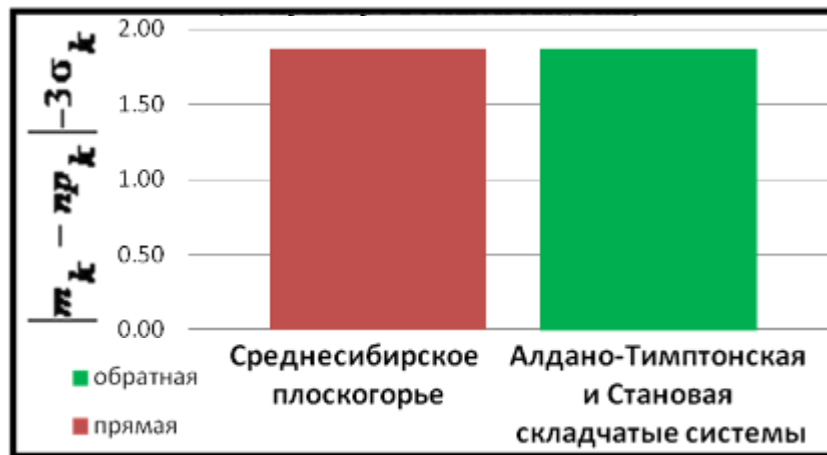


Рисунок 3.2.2 - Характер связи распространения явлений термокарста и геологического строения территории на примере Южной Якутии

Из трех, выделенных по геологическим условиям районов, Среднесибирское плоскогорье характеризуется наиболее широким развитием четвертичных отложений, в пределах изученной глубины разрезов. Четвертичные отложения представлены современными и позднечетвертичными аллювиальными, озерно-болотными, элювиально-делювиальными и элювиальными отложениями. Они представлены преимущественно дисперсными

грунтами: песками, супесями, суглинками и глинами с включением обломочного материала, а также торфами преимущественно средней степени разложения. Также встречаются дресвяно-щебенистые грунты с супесчано-суглинистым заполнителем и гравийные с супесчаным заполнителем.

Четвертичные отложения в пределах Алдано-Тимптонской складчатой системы представлены аллювиальными, элювиальными, склоновыми, озерно-болотными, ледниковыми генетическими типами, в формировании которых значительная роль принадлежит процессам криолитогенеза. Четвертичные отложения представлены валунно-галечным, песчано-галечным аллювием и песками. Элювий представлен щебнистыми и щебнисто-глыбовыми супесями и песками, а также глыбами со щебнем и песчаным и супесчаным заполнителем. Средние суглинки и супеси со щебнем и дресвой наблюдаются реже. В некоторых случаях отложения тяжелого суглинка распространены на заболоченных поверхностях, встречаются также щебнистые суглинки, от легких до тяжелых. Мощность суглинистого элювия может достигать первых метров (2-3 м).

Таким образом, в общем случае распространение явлений термокарста имеет связь с мелкодисперсными, мощными четвертичными отложениями. Для дисперсных песчано-суглинистых грунтов свойственны слоистые, сетчатые и линзовидные криогенные текстуры. На участках распространения торфяников и супесчано-суглинистых фаций в условиях низкотемпературных ММП встречаются ПЖЛ. Объемная льдистость торфяных грунтов составляет 65-90% (с учетом ПЖЛ 70-95%), супесчано-суглинистых - 45-65% (с учетом ПЖЛ 50-75%) и песчано-галечниковых отложений – 25-45%.

Анализ мерзлотных условий

Анализ мерзлотных условий на основе фрагмента геокриологической карты СССР позволил выявить связь с 3 из 7 выделенными на территории Южной Якутии типами мерзлотных условий. Прямая зависимость распространения явлений термокарста выявлена с зоной преимущественно сплошного распространения ММП с мощностью 100-200 м и среднегодовой температурой

поряд -2°C. Также была выявлена обратная зависимость с зонами прерывистого распространения маломощных ММП (0-50 м) с температурами пород 0,5 - -2°C и чередования массивно-островного и сплошного распространения ММП мощности от первых десятков метров до первых сотен метров и температурой пород -1 - -3°C (рисунок 3.2.3).

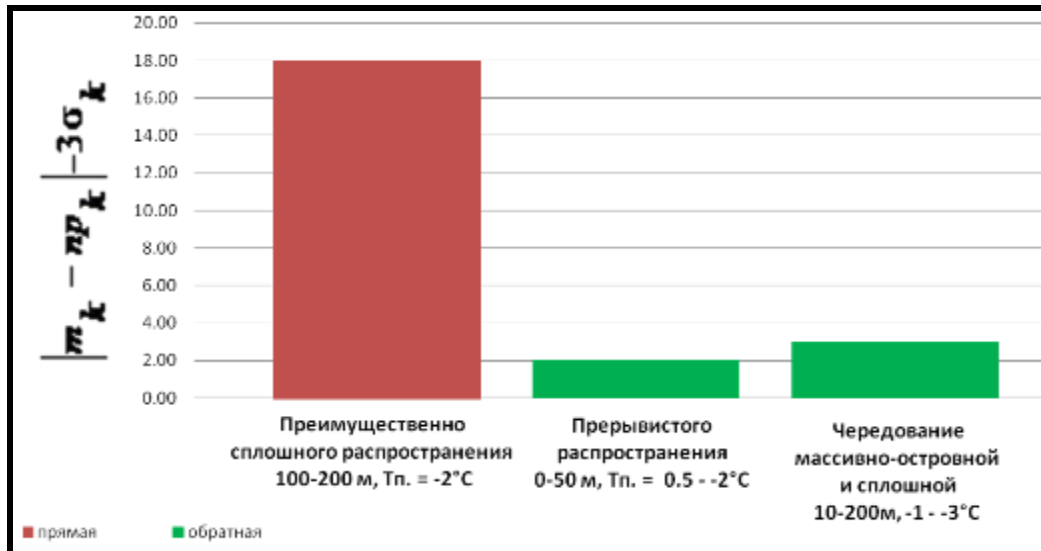


Рисунок 3.2.3 - Характер связи распространения явлений термокарста и мерзлотных условий на примере Южной Якутии.

При этом следует отметить, что обратная связь распространения явлений термокарста и распространения ММП становится сильнее в зоне чередования массивно-островных и сплошных ММП. Также стоит заметить, что на равнинных участках Южной Якутии было выделено 5 типов мерзлотных условий, но связь проявилась лишь с одним вышеуказанным, расположенном западнее р. Олекмы.

В целом можно сделать вывод, что распространение явлений термокарста имеет прямую связь с ММП сплошного распространения и наибольшей мощности (на равнинных участках) и переходит в обратную в пределах прерывистых ММП (на плоскогорных участках), усиливаясь на участках с чередованием сплошного и массивно-островного распространения ММП (горных).

Анализ мерзлотно-ландшафтных условий

Анализ мерзлотно-ландшафтных условий на основе фрагмента мерзлотно-ландшафтной карты Якутской АССР позволил выявить связь с 3 из 7 мерзлотно-

ландшафтными провинциями. Прямая зависимость распространения явлений термокарста выявлена с Нюе-Олекминской и Олекмо-Алданской увалистыми провинциями и обратная с Приленской увалистой провинцией (рисунок 3.2.4). При этом связь распространения явлений термокарста с Нюе-Олекминской провинцией значительно выше, чем с Олекмо-Алданской, что означает что явления термокарста распространены в пределах первой значительно шире.

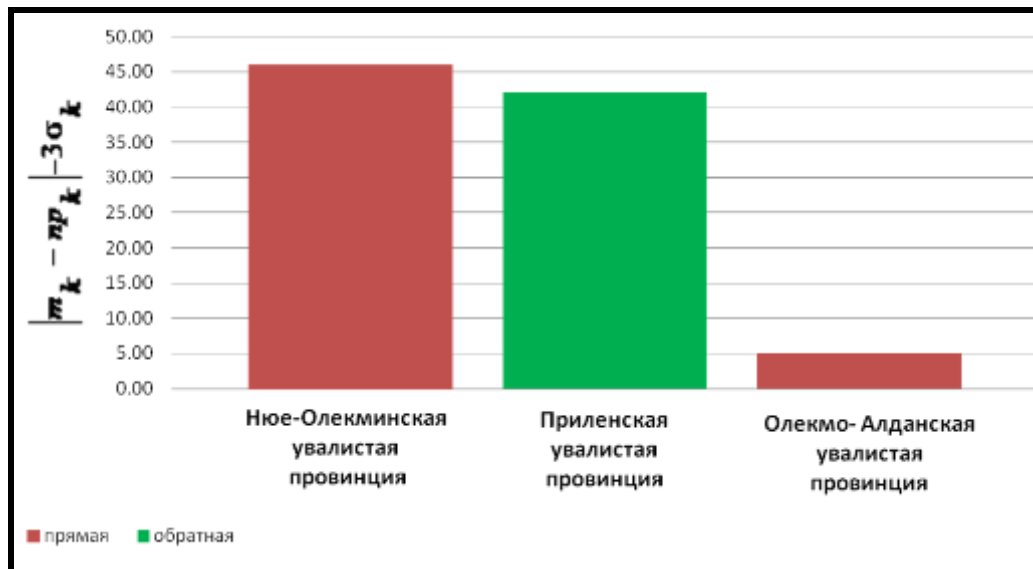


Рисунок 3.2.4 - Характер связи распространения явлений термокарста и мерзлотно-ландшафтных условий на примере Южной Якутии

Нюе-Олекминская и Олекмо-Алданская увалистые провинции характеризуются среднетаежными ландшафтами с прерывистым распространением ММП. Приленская увалистая провинция характеризуется среднетаежными ландшафтами с островным распространением ММП. Все три провинции относятся к равнинным.

На территории Южной Якутии выделена четвертая равнинная провинция со сплошным распространением ММП, однако, связь с ней не выявлена. Трасса нефтепровода пересекает ее лишь на 98 км, и для выявления связи с этой провинцией недостаточно статистических данных.

В общем, можно сделать вывод, что в пределах равнинных территории распространение явлений термокарста зависит от площади распространения

ММП. Чем больше площадь распространения ММП, тем больше распространённость явлений.

При сравнении провинций с прерывистым распространением ММП отмечается, что в пределах Нью-Олекминской выделяется низкотеррасовый тип местности с распространением ПЖЛ, возможно, именно с этим связано более широкое распространение термокарста в пределах вышеупомянутой провинции.

Анализ климатических факторов

Анализ климатических факторов выполнялся по данным ближайших метеостанции. По средним многолетним температурам воздуха и суммам осадков, метеостанции были разделены на группы. Согласно полученным результатам, связи распространения явлений термокарста со средними многолетними температурами воздуха не было выявлено.

Прямая зависимость распространения явлений термокарста была выявлена с зоной влияния группы метеостанций со средней многолетней суммой осадков 300-500 мм/год, которые можно охарактеризовать как равнинные. Обратная с зоной влияния группы метеостанций со средней многолетней суммой осадков 500-700 мм/год - горными. (рисунок 3.2.5).

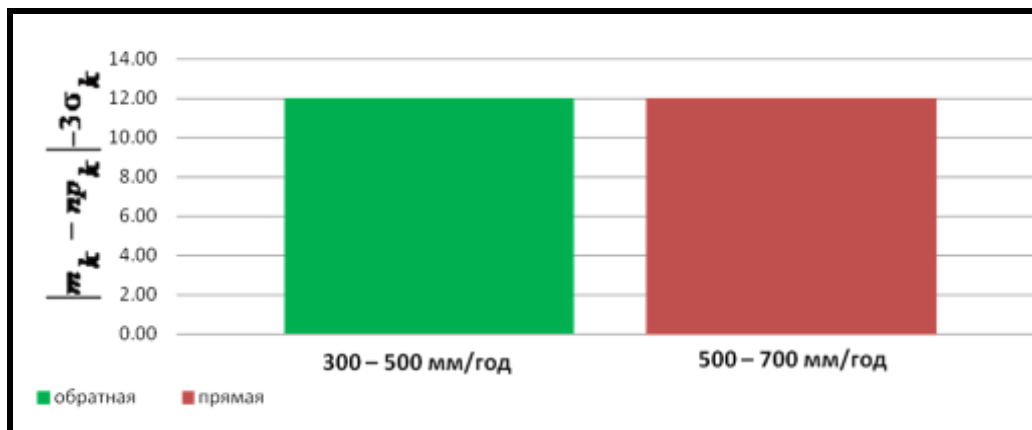


Рисунок 3.2.5 - Характер связи распространения явлений термокарста и среднегодовых сумм осадков на примере Южной Якутии

Данный результат не характеризует связи с конкретными метеопараметрами, а лишь с местоположением станций.

Н.П. Босиков в статье «Общее увлажнение территории и интенсивность криогенных процессов» [104] на основе комплексного подхода к изучению аласных ландшафтов демонстрирует зависимость интенсивности криогенных процессов от общего увлажнения территории. Им обнаружено, что интенсификация термоабразии берегов аласных озёр так же, как и интенсификация термокарстовых процессов межаласных областей, происходит в годы с увеличенными осадками. В сухие годы криогенные процессы уменьшаются по интенсивности. А.Н. Федоров, П.Ю. Константинов [105] в статье о последних изменениях температуры грунтов и их влиянии на криогенные ландшафты, говорят о том, что в последние несколько десятилетий, наибольшее увеличение температуры грунта наблюдается в первой половине 1980-х и начале 1990-х годов. В настоящее время наблюдается некоторое понижение температуры грунта, хотя температура воздуха показывает тренд к увеличению. Однако есть большой риск для активного развития криогенных процессов на безлесных участках, которые могут вызвать деградацию вечной мерзлоты и нарушения ландшафта. Термокарст активно развивается в некоторых районах Центральной Якутии. Нарушенные ландшафты, в первую очередь обезлесенные антропогенные комплексы, пострадавшие от сельского хозяйства, удаления деревьев или пожаров, являются наиболее чувствительными при нынешних изменениях климата.

Таким образом, учет климатических условий и их изменчивости является важной составляющей анализа распространения и активности явлений термокарста. Для его выполнения требуется организация метеоплощадок вдоль трассы нефтепровода. При выборе местоположения и количества метеоплощадок рекомендуется учитывать районирование территории по роли других природных условий распространения явлений термокарста.

Анализ тектонических условий

Термокарстовые явления распространены относительно древних тектонических структур неравномерно, однако ни прямой, ни обратной связи с

конкретной тектонической структурой выявлено не было. В то же время региональные древние структуры определяют вещественно-структурные неоднородности территории, что в свою очередь косвенно, но влияет на закономерности распространения термокарстовых явлений.

Влияние морфоструктур второго порядка, отвечающих направленности и интенсивности неотектонических движений (свод, поднятие и прогибы) рассматривались по всей трассе нефтепровода, а также в пределах каждой из трех древних тектонических структур по отдельности: осадочного чехла плиты Сибирской платформы, Алдано-Станового щита Сибирской платформы, Монголо-Охотской складчатой системы (рисунок 3.2.6, 3.2.7).

Анализ связи неотектонических структур второго порядка по всей трассе и по всем типам выявил зависимость между распространением термокарстовых явлений и зонами поднятий и прогибов. При этом связь с зонами поднятий является прямой, а с зонами прогибов - обратной (таблица 3.2.6). Это означает, что зоны поднятий способствуют развитию термокарста, а зоны прогибов - препятствуют.

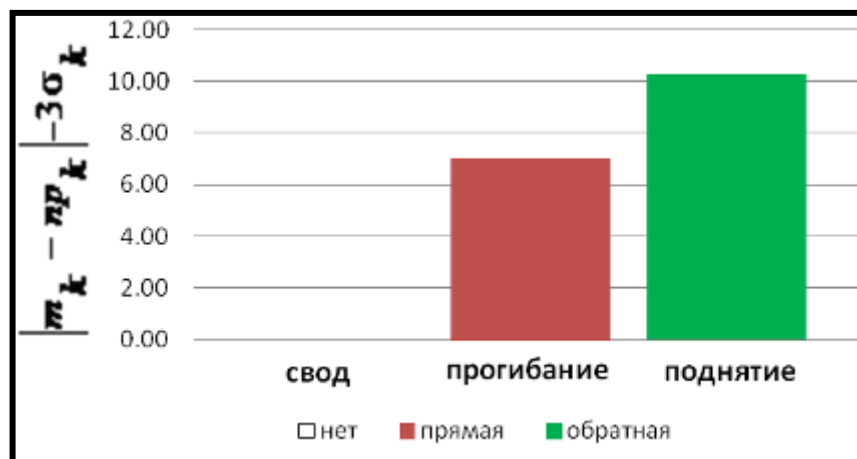


Рисунок 3.2.6 - Характер связи между распространением термокарстовых явлений и неотектоническими структурами второго порядка

Рассмотрение устойчивости данных зависимостей в пределах региональных структур, показало, что они сохраняются в пределах осадочного чехла Сибирской платформы и не проявлены в пределах Алдано-Станового щита и Монголо-Охотской складчатой системы. При этом в пределах Алдано-Станового щита

выявлена прямая связь распространения явлений термокарста с зонами сводовых поднятий (рисунок 3.2.7).

Условия и факторы Выборка	Неотектонические структуры		
	свод 1	прогиб 2	поднятие 3
По всей трассе и всем типам	нет	обратный	прямой
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	обратный	обратный	прямой
По Сибирской платформе: 1б - Алданско-Становой щит	прямой	нет	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	нет

Рисунок 3.2.7 - Характер связи между распространением термокарстовых явлений и неотектоническими структурами второго порядка в пределах разных древних тектонических структур на примере Южной Якутии

На участке пересечения трассой нефтепровода Алданского щита Сибирской платформы расположена зона Алданско-Нимнырского сводового поднятия (свод), заложенного на складчатом дорифейском основании. Градиент вертикальной деформации (0,01) свидетельствует о слабом вертикальном поднятии данной поверхности. Поверхность выровненная. Неотектонические структуры в приповерхностной зоне развиваются в условиях растяжения (трасса пересекает эти структуры поперек их простирания), что определяет множество речных приподнятых террас. На платообразных поверхностях в пределах водораздельных и долинных комплексов широко распространены заболоченные территории, промерзание и последующее протаивание которых способствует распространению термокарста.

На участке пересечения трассой нефтепровода Монголо-Охотской складчатой системы неотектонические движения отличаются высокой интенсивностью. Зоны поднятий и прогибов характеризуются большими перепадами высот. На этом участке не было обнаружено связи между термокарстом и неотектоническими структурами. Крупнообломочные отложения,

распространенные на данной территории, не способствуют распространению термокарстовых явлений.

Выявленная связь распространения явлений термокарста с зонами поднятий в пределах осадочного чехла плиты Сибирской платформы является дискуссионной. Для более подробного анализа данной зависимости выполнен анализ современной литературы.

Хотя изучение влияния тектоники, в том числе неотектонических движений, на вечной мерзлоте были начаты сравнительно недавно, примечательны некоторые достижения в этой области. Работы П. Ф. Швецова [101], А. И. Калабина [106], и О.Н. Толстихина [107] о влиянии тектонических разломов на распределение напорно-инфильтрационных таликов и наледей хорошо известны. То же самое относится и к исследованиям А. И. Попова [108], позволившим выявить связь между сингенетически промерзшими отложениями, в том числе повторно-жильными льдами, и регионами новейших погружений. Наиболее четко позиции относительно отражения тектонических движений на поверхности Земли были сформулированы И.В.Поповым (1961) [109]: "Все экзогенные процессы, и их степень отличий друг от друга, контролируется эндогенными процессами". Это одна из основных позиций, используемых в морфоструктурном анализе [110]. Другими важными исследованиями являются исследования В.В. Баулина [111], Г.Б. Острога [112] и других, которые изучали влияние глубины основания Сибирской плиты и структуры платформенного чехла на толщину вечной мерзлоты, и работы Ю. Ф. Андреева [113], Ласточкина [114] и других о взаимосвязи между термокарстовыми озерами и неотектоническими движениями. Также Белопухова, Баулин публикуют статьи о роли тектоники в формировании вечной мерзлоты на низменных равнинах [115,116,117,118,119]. В качестве результата этого исследования, было показано, что тектоническое развитие территории, особенно на самом последнем этапе, является решающим региональным фактором, определяющим пространственную дифференциацию мерзлотных условий. Именно это региональное влияние определяет тип вечной мерзлоты и комплекс свойств мерзлых пород на обширных низменных равнинах

(Западно-Сибирской, Центральной Якутской и Колымо-Индибирской). В этом регионе влияние тектоники столь сильно, что значительно нарушает зональные проявления природных процессов. При изучении вечной мерзлоты низменных равнин в условиях колебательного движения поверхности, дифференцирования структурного формирования и нарушений осадочного чехла следует иметь в виду влияние тектоники.

Влияние тектоники на вечную мерзлоту региона часто не проявляется напрямую, но через другие факторы, в том числе – через весь комплекс ландшафтных условий. Это иногда создает определенные трудности для исследования процессов. Зависимость вечной мерзлоты прерывистого типа от тектоники возле южной границы их распространения проявляется через состав горных пород, влаги на поверхности и растительного покрова. Влияние каждого фактора на вечную мерзлоту различается и зависит не только от проявления, но и от амплитуды тектонических движений. Так, например, заболачивание поверхности, в случае оседания, и начальный рост мохового покрова, могут привести к повторному формированию вечной мерзлоты, а затем, когда есть излишки воды, – к протаиванию вечной мерзлоты.

Кроме того, сложностью изучения проблем, рассматриваемых в данной работе, является то, что формирование вечной мерзлоты происходило в четвертичное время, охватывающее почти 1,8 млн. лет. Континентальный период развития рассматриваемой территории намного превышает 10 млн. лет. В этом случае, анализ общей системы тектонического развития региона является очень важным. В Западной Сибири, например, основные черты тектонического строения оформились в течение мезозоя, что дает основания принять унаследованное развитие значительной части современных локальных структур [120] и их однонаправленного воздействия на вечную мерзлоту.

Однако, если говорить о влиянии неотектонических тектонических движений на прямую, то поднятия определяют преобладание денудационных процессов над аккумулятивными. На участках прохождения трассы нефтепровода

через территорию южной части плиты Сибирской платформы часто встречаются ММП с заглубленной кровлей. Таким образом, льдистые отложения и ПЖЛ оказываются перекрытыми талым грунтом. Размыв поверхности может привести к тому, что ранее заглубленные ММП (сильнольдистые грунты и широко распространенные в этом районе повторно-жильные льды) окажутся ближе к поверхности и начнут оттаивать, что в свою очередь приведет к развитию термокарста. Прогибы же характеризуются наиболее мощным накоплением современных и позднечетвертичных аллювиальных, озерно-болотных, элювиально-делювиальных и элювиальных нелитифицированных отложений.

В связи с вышеизложенным предположением, также стоит упомянуть мнение Е.М. Катасонова, который пишет, что общая причина возникновения и развития термокарстовых котловин в пределах той или иной поверхности связана с переходом этой поверхности из аккумулятивной в денудационную, когда на ней прекращается осадконакопление. Он объясняет это тем, что на аккумулятивных поверхностях (поймах, дельтах и др.) осадками заполняются как появляющиеся термокарстовые западины, так и вообще первичные отложения. Поэтому начало образования термокарстовых котловин обусловлено не частичным потеплением климата, которое происходило в голоцене и плейстоцене, а прекращением половодно-ледникового и непрерывнопойменного осадконакопления на ныне денудируемых геоморфологических уровнях. Другими словами, Е.М. Катасонов связывает начало интенсивного развития термокарста с прекращением аккумуляции пород ледового комплекса. А теплофизической основой возникновения и развития термокарстовых понижений, по его мнению, является образование застойных водоемов на участках с льдонасыщенными вечномерзлыми грунтами [121].

На сегодняшний день специальные методы были разработаны для анализа роли неотектонической истории в формировании криолитозоны. Анализ современных вертикальных движений Земли (Карта современных вертикальных движений, 1973 [122]), помогает выявить особенности образования разных типов

вечной мерзлоты. Однако территория исследований охватывает только регионы европейской части СССР. В последние несколько лет был разработан метод для выявления движений земной коры на основе сравнения повторных аэрофотосъемок с интервалом в 10 - 15 лет [123]. Эти данные указывают на сильное влияние современных движений на вечную мерзлоту, особенно на высокотемпературный тип вечной мерзлоты южной геокриологической зоны. В отдельных случаях, можно судить о направленности тектонических движений земной поверхности по условиям развития вечной мерзлоты и свойствам мерзлых пород.

Анализ ландшафтно-геоморфологических условий

Типы местности и рельеф

Связь распространения явлений термокарста с интразональными типами местности проявляется по всей трассе нефтепровода, в том числе на территории Южной Якутии (рисунок 3.2.8). Количественный критерий этой связи характеризуется большими значениями, что говорит о широком распространении явлений термокарста в интразональных ландшафтах. Данная зависимость ранее была выявлена при типизации явлений термокарста. Как уже упоминалось, в условиях прерывистого распространения ММП, мерзлые грунты имеют приуроченность именно к интразональным ландшафтам, которые характеризуются высокой льдистостью, связанной с широким распространением дисперсных супесчано-суглинистых и биогенных отложений, их высокой влажностью и часто низкими температурами ММП. Также в пределах долинных комплексов широко развиты ПЖЛ.

Обратная связь распространения явлений термокарста была выявлена с лесными и лесотундровыми, преимущественно горными ландшафтами. При этом значение количественного критерия обратной связи с лесотундровыми (преимущественно горными) ландшафтами больше, чем с лесными. Это означает, что вышеупомянутые ландшафты в целом не способствуют развитию термокарста. Однако в ходе типизации явления термокарста были обнаружены

отдельные проявления процесса в лесной зоне, что видимо связано с локальными условиями.



Рисунок 3.2.8 - Характер связи между распространением термокарстовых явлений и типами местности на примере Южной Якутии

Всего на территории Южной Якутии было выявлено 11 типов рельефа. По итогам вычислительного эксперимента была обнаружена прямая связь с 2 типами рельефа и обратная с 3 типами. Так была обнаружена прямая связь распространения явлений термокарста и областей низких долинных и межгорных впадин, а также средневозвышенных платообразных и ступенчато-платообразных среднерасчлененных поверхностей (рисунок 3.2.9). Обратная связь была выявлена с возвышенными слаборасчлененными платообразными поверхностями, осложненными эрозионными долинами, областями слабовозвышенных ступенчато-платообразных останцовых поверхностей и областями средневозвышенного сильнорасчлененного грядового рельефа, очевидно сложенными скальными и полускальными грунтами.

Средневозвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные, характеризуются ограниченными условиями дренажа. Обычно это крупные, тектонически дифференцированные блоки, в пределах которых формируются обширные замкнутые понижения, что способствует накоплению продуктов денудации и покровных биогенных отложений.

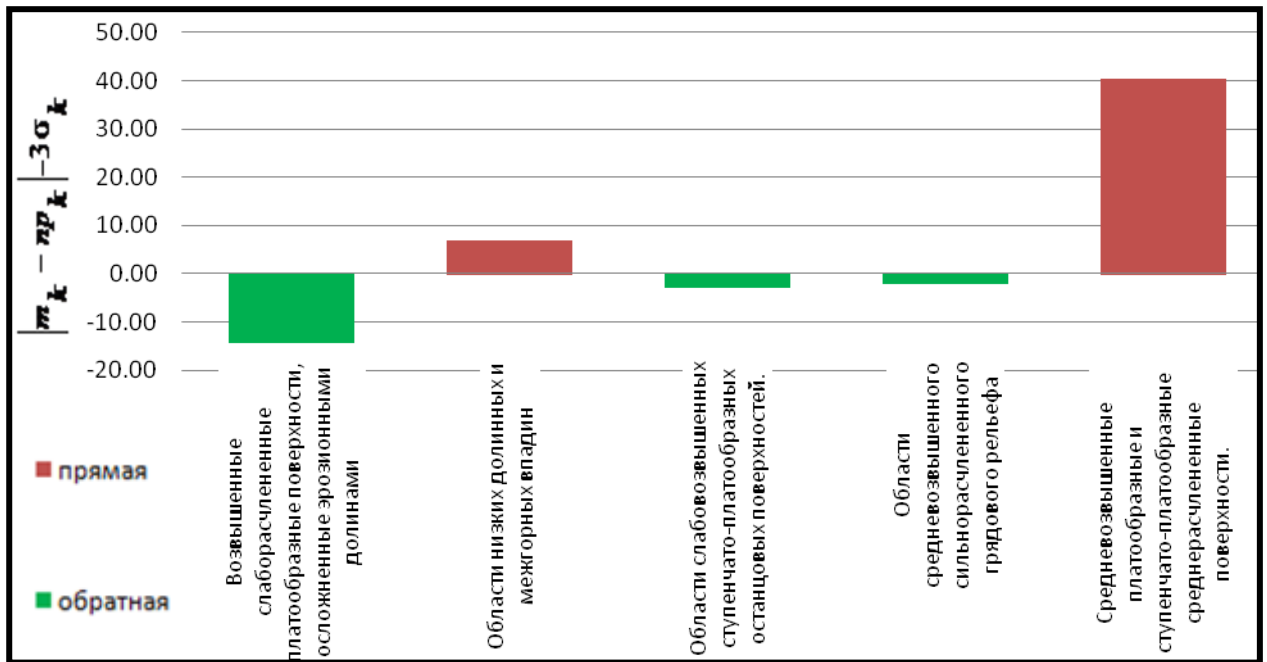


Рисунок 3.2.9 - Характер связи между распространением термокарстовых явлений и типов рельефа на примере Южной Якутии

Типы растительности

В буферной зоне трассы нефтепровода на территории Южной Якутии растительность представлена 46 типами, согласно карте природных комплексов, составленной ИГЭ РАН. Однако распространение термокарста имеет зависимость лишь с 13 типами, из которых с 8 типами растительности зависимость является прямой, а с 5 обратной.

По итогам вычислительного эксперимента была обнаружена прямая связь с 8 типами растительности и обратная с 5 типами. Так, прямая связь была обнаружена с типами растительности № 3 (гарь с подростом лиственницы, реже сосны с выжженным наземным покровом), № 13 (ерниковые, кустарничково-зеленомошные сообщества, с единичными лиственницами, сосной и березой), № 19 (кустарниковые, ерниковые кочкарные места с единичной низкорослой лиственницей и березой, часто заболоченные), № 24 (лиственнично-березовые и березовые леса), № 35 (лугово-болотные сообщества), №36 (лугово-кустарниковые сообщества с отдельными мелколиственными деревьями), №49 (сосново-елово-пихтовые леса), №50 (сосновые и березовые леса с отдельными заболоченными участками). При этом наиболее широкое распространение

явления термокарста имеют в пределах типа растительности № 13 (ерниковые, кустарничково-зеленомошные сообщества, с единичными лиственницами, сосной и березой) (рисунок 3.2.10).

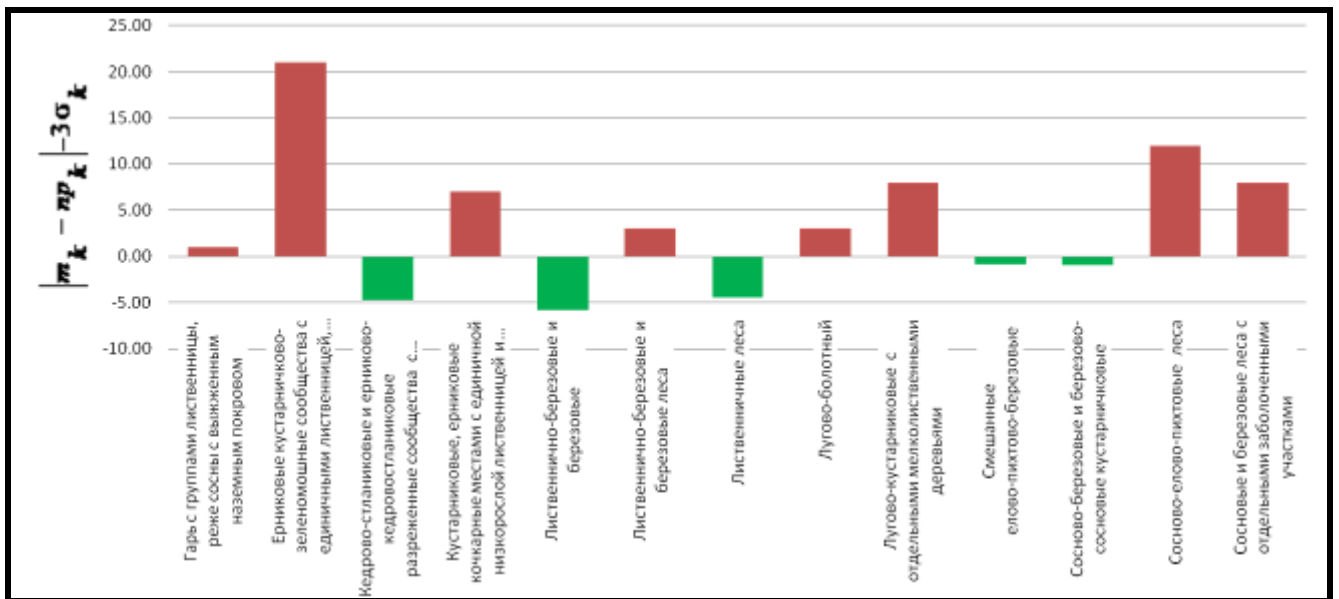


Рисунок 3.2.10 - Характер связи между распространением термокарстовых явлений и типов растительности на примере Южной Якутии

Применение ГИС в географических науках открывает новые возможности не только в пространственно-временном анализе современных процессов и явлений, но и в традиционных методах исследований, каковым является ландшафтная индикация мерзлотных условий. М.М. Щац [124] в своих работах по Якутской области рассматривает ландшафтную индикацию и картографирование мерзлых пород. Ландшафтно-криоиндикационные исследования являются составной частью мерзлотного картографирования. В теоретическом и методическом отношении многие проблемы в данном направлении были решены следующими исследователями Тумель В.Ф. [125], Кудрявцев В.А. [126], Кондратьева К.А. [127], Мельников Е.С. [128,129,130], Медведков А.А. [131] и многие другие).

В работе Медведкова А.А., посвященной индикации мерзлотно-таежных ландшафтов на южной периферии криолитозоны, выделены признаки криогенных ландшафтов. Вышеуказанный автор сообщает, что признаками криогенных ландшафтов южной криолитозоны являются: разреженность и угнетенность

древостоя, присутствие пихты стелющейся формы, букетный березняк, мохово-кустарничковая растительность с преобладанием сфагновых мхов, редины и ерники, кочкарники и кочкарные болота, обилие осоки дернистой, голубика [131].

О связи распространения термокарста с участками распространения гарей (пожарами) свидетельствуют многочисленные упоминания в литературе. Тыртиков [132] указывал нарушение растительного покрова при пожарах как одну из распространенных причин термокарста, а так же писал, что, несмотря на малочисленность населения, на севере Западной Сибири трудно найти участок леса, в котором не было бы следов пожара. По крайней мере, в течение последних столетий леса и торфяники севера Западной Сибири неоднократно горели. Особенно усилились пожары лесов и торфяников в связи со строительством и эксплуатацией газопровода. Интересные данные приводятся Тыртиковым [132] относительно влияния пожаров на развитие термокарста на торфяниках. Пожарам способствует то, что лишайниковый покров очень легко воспламеняется и позволяет огню быстро распространяться по всему массиву торфяника. В результате пожара создаются условия для неравномерного протаивания торфа, образуются понижения, заполняющиеся водой. Под этими водоемами начинается просадка поверхности. Величина просадки достаточно быстро возрастает с 70-80 см в первый год до 120-130 см в последующие годы. Зимой в таких термокарстовых понижениях накапливается больше снега, чем на плоской поверхности торфяника и сезоннооттаивающий слой уже не промерзает полностью в течение зимы и между ним и верхней поверхностью вечной мерзлоты сохраняется талый грунт. Берега озер разрушаются термокарстом и термоэрозией. Озера увеличиваются, сливаются. Углубление таких озер продолжается до тех пор, пока не протают полностью просадочные грунты под их дном. Скорость термокарста зависит от льдистости отложений: чем она больше, тем быстрее разрушается торфяник термокарстом. Если торфяники подстилаются слабольшедистыми непросадочными ММП, в процессе термокарста образуются очень мелкие озера. Берега их разрушаются медленно, а накопление торфа в

процессе развития болотной растительности приводит к новообразованию мерзлоты.

W. S. Benninghoff и А. П. Тыртиков [133,132] обсуждали сложность растительной границы в тайге. J. Brown [134,135,136] показал, что растительность над мерзлотой изменяет альбедо, испарение и транспирацию, что впоследствии изменяет теплопроводность в органических слоях. Тыртиков [132] приводит достаточно полный обзор влияния растительности на мерзлоту и мощность активного слоя. Хотя, согласно мнению большинства исследователей, изолирующая роль органического слоя в определении мощности активного слоя имеет наибольшее влияние, древесная и кустарниковая растительность также играют заметную роль. В ранних работах А.П. Тыртикова было показано, как даже одно дерево могло обеспечить линзу мерзлоты в открытом лесном месте. А.П. Тыртиков [132] показывает, что задержка снега древесной и кустарниковой растительностью сокращает снежный покров на поверхности, таким образом, понижая зимнюю температуру пород. Барьер на пути теплых дождей, создаваемый древесной, кустарниковой и моховой растительностью, может сокращать летнее протаивание.

*Зависимости распространения явлений термокарста в различных
тектонических условиях*

Рассмотрение зависимостей распространения явлений термокарста в различных тектонических условиях позволило выявить типы местности, растительности и рельефа к которым приурочен термокарст в пределах разных древних тектонических структур. Были определены связи древних тектонических структур и явлений термокарста разных типов.

В пределах осадочного чехла плиты Сибирской платформы выявлена прямая связь распространения термокарста с зонами неотектонических поднятий с областями низких долинных и межгорных впадин, областями слабовозвышенного увалистого рельефа, со средневозвышенными платообразными и ступенчато-платообразными среднерасчлененными

поверхностями, а также с интразональными ландшафтами и участками гарей с группами лиственниц, реже сосны с выжженным наземным покровом. Также в пределах осадочного чехла Сибирской платформы выявлена прямая связь распространения явлений термокарста с типами растительности № 13 (ерниковые, кустарничково-зеленомошные сообщества, с единичными лиственницами, сосной и березой), №19 (кустарниковые, ерниковые кочкарные местами с единичной низкорослой лиственницей и березой, часто заболоченные), № 24 (лиственнично-березовые и березовые леса), № 35 (лугово-болотные сообщества), № 36 (лугово-кустарниковые сообщества с отдельными мелколиственными деревьями), №49 (сосново-елово-пихтовые леса), №50 (сосновые и березовые леса с отдельными заболоченными участками) (рисунок 3.2.11, 3.2. 12). В пределах осадочного чехла плиты Сибирской платформы выявлена прямая зависимость и, соответственно, широкое распространение, явлениями термокарста по кустарниковым марям и блюдцевидных понижений по долинам рек, а также обратная явлений термокарста по бугристым торфяникам (рисунок 3.2.11, 3.2.12).

В пределах Алдано-Станового щита Сибирской платформы выявлена зависимость распространения термокарста с Алданско-Нимнырским сводовым поднятием в рельефе выраженным возвышенными платообразными и ступенчато-платообразными среднерасчлененными поверхностями и интразональными ландшафтами с болотами верховыми и переходными с лугово-болотной растительностью, а также типом растительности №19 (кустарниковые, ерниковые кочкарные местами с единичной низкорослой лиственницей и березой, часто заболоченные). В пределах Алдано-Станового щита выявлена прямая связь с явлениями термокарста по бугристым торфяникам и обратная с явлениями термокарста по кустарниковым марям (рисунок 3.2.11, 3.2.12).

Условия и факторы	Типы местности		Растительность									
	Интразональные ландшафты	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогогорья)	Болота верховые и переходные	Гарь с группами лиственницы, реже сосны с выжженным наземным покровом	Ерниковые и ивняковые сообщества, местами с единичными низкорослыми лиственницей, сосной и березой, с сухостоем на вырубках и гарях частично заболоченные	Ерниковые кустарничково-зеленомошные сообщества с единичными лиственницей, сосной и березой	Кустарниковые, ерниковые кочкарные местами с единичной низкорослой лиственницей и березой, часто заболоченные	Лиственнично-березовые леса	Лугово-болотный	Лугово-кустарниковые с отдельными мелколиственным и деревьями	Сосново-елово-липтовые леса	Сосновые и березовые леса с отдельными заболоченными участками
Выборка	1	3	2	3	12	13	19	24	35	36	49	50
По всей трассе и всем типам	прямой	нет	нет	прямой	прямой	прямой	прямой	прямой	прямой	прямой	прямой	прямой
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	прямой	нет	нет	прямой	нет	прямой	прямой	прямой	нет	прямой	прямой	прямой
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	прямой	нет	прямой	нет	нет	нет	прямой	нет	прямой	нет	нет	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	прямой	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков	прямой	нет	нет	нет	нет	прямой	прямой	нет	нет	прямой	прямой	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	прямой	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинах рек	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	прямой	нет	нет	прямой	прямой
4 - по пойменным и террасным старицам рек	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	прямой	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	прямой	нет	прямой	нет	нет
6 - по зеленым участкам	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	прямой	нет	прямой	нет	нет	нет	прямой	прямой	прямой	нет	прямой	нет
8 - по группам ландшафтов с ПКЛ	нет	прямой	нет	нет	прямой	нет	прямой	нет	нет	прямой	нет	нет
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	прямой	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	прямой	нет	прямой	прямой	прямой	нет
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	прямой	нет	прямой	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	прямой	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	прямой	нет	прямой	прямой
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	прямой	прямой	нет	прямой	нет	нет
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	прямой	прямой	нет	прямой	нет	прямой	нет	прямой	нет	нет	нет

Рисунок 3.2.11 - Зависимости распространения явлений термокарста в различных тектонических условиях

Условия и факторы	Рельеф				Болота		Древние структуры			Неотектонические структуры		
	Возвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные поверхности	Области низких долинных и межгорных впадин	Области слабовозвышенного увалистого рельефа	Средневозвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные поверхности	Заболоченные ландшафты	Дренированные ландшафты	1. Сибирская платформа: 1а - плита (осадочный чехол)	1. Сибирская платформа: 1б - Алдано-Становой щит	2. Монголо-Охотская складчатая система	свод	прогиб	поднятие
Выборка	1	5	11	15	1	2	1	2	3	1	2	3
По всей трассе и всем типам	нет	прямой	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	обратный	прямой
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	нет	прямой	прямой	прямой	нет	нет				обратный	обратный	прямой
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	прямой	нет	нет	нет	прямой	обратный				прямой	нет	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	нет	нет	нет	нет				нет	нет	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	обратный	нет	нет	прямой
3 - блочевидные понижения по долинах рек	нет	прямой	нет	прямой	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет
4 - по пойменным и террасным старицам рек	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	прямой	обратный	обратный	обратный	нет	прямой
6 - по зеленным участкам	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой
7 - по бугристым торфяникам	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	обратный	прямой	нет	нет	обратный	прямой
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	нет	прямой	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	прямой
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	прямой	обратный	прямой	нет	нет	нет	нет	обратный	прямой
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Рисунок 3.2.12 - Зависимости распространения явлений термокарста в различных тектонических условиях

В пределах Монголо-Охотской складчатой системы выявлена связь распространения явлений термокарста с лесотундровыми преимущественно равнинным типом местности, с участками распространения типа растительности №12 (ерниковые и ивняковые сообществ, местами с единичными низкорослыми лиственницей, сосной и березой, с сухостоем на вырубках и гарях частично заболоченные) (рисунок 3.2.11). В пределах Монголо-Охотской складчатой системы выявлена прямая связь с явлениями термокарста по группам ландшафтов с ПЖЛ и обратная с явлениями термокарста по кустарниковым марям и по ложбинам подповерхностного стока (рисунок 3.2.12).

3.3 Влияние нефтепровода на распространение явлений термокарста

В связи с высоким разнообразием выявленных явлений термокарста возникли предположения о различных механизмах их формирования, времени возникновения и стадии развития. Это потребовало разработки методики оценки воздействия термокарстовых процессов на инженерные объекты, ранее не освещенной в исследованиях.

Важнейшей особенностью территории является высокая динамичность ее мерзлотной обстановки – возможность перехода пород из мерзлого в талое состояние и обратно как в ходе естественного развития, так и в результате освоения [137]. Это обусловлено широким развитием горных пород со среднегодовой температурой, близкой к 0°C. Динамичность мерзлотной обстановки необходимо учитывать при оценке последствий освоения территории на различных стадиях строительства и эксплуатации нефтепровода.

Н.А. Цытовичем вечномерзлые грунты отнесены к структурно-неустойчивым, существенно и сравнительно быстро меняющим основные свойства под влиянием различных воздействий. Они характеризуются потерей несущей способности при оттаивании (в общем случае в момент перехода через 0°) [138].

Влияние нефтепровода на многолетнемерзлые грунты, как уже упоминалось ранее, можно разделить в зависимости от вида техногенного воздействия на три типа: механические нарушения поверхности почвы, тепловые воздействия инженерных объектов и нарушения поверхностного стока на участках возведения автодорожных насыпей, оборудования нефтепроводной траншеи или земляного вала над траншеей.

Н.А. Граве, В.Л. Суходровский в статье о рельефообразующих процессах в зоне ММП и принципах их предупреждения и ограничения на осваиваемых территориях рассматривают экономическое развитие региона с

льдонасыщенными ММП, которое сопровождается нарушением растительного покрова и верхнего слоя почвы [139,140,141]. Авторы, сообщают, что нарушение поверхности почвы в конечном итоге приводит к изменению теплообмена между породами и «приземными слоями воздуха» (система грунт-атмосфера). Это активизирует или генерирует новые процессы криоморфогенеза в осваиваемом регионе и сопредельных территориях, которые, в свою очередь, ведут к изменениям ландшафта, в том числе, рельефа местности. В результате сооружения и другие структуры претерпевают серьезные изменения, ущерб.

Локальное протаивание подземных льдов начинается сверху в результате увеличения температуры пород. Такое увеличение может быть результатом изменений в теплоизоляции дневной поверхности, как результат человеческой деятельности, которая может привести к увеличению глубины слоя сезонного протаивания сильнольдистых толщ. Это происходит, к примеру, если почвы и растительный покров нарушены транспортными средствами. Или в том случае, когда на поверхности, например, в колеях от транспорта накапливается вода, приводя к формированию воронок, которые могут достигать глубины 1-1,5 м. Тем не менее, формирование термокарстовых воронок зачастую останавливается на очень ранних стадиях их развития с того момента, когда вода испаряется из них летом. Таким образом, такие воронки довольно быстро стабилизируются. Аналогично происходит, если протаивающая толща является слабольдистой.

Влияние нарушения естественного стока и как следствие образования малых водоемов также рассматривается в работе Г.З. Перльштейна "О механизме отепляющего влияния мелких водоемов на температуру подстилающих пород" [142].

Под тепловыми воздействиями инженерных объектов в полосе землеотвода магистрального нефтепровода прежде всего стоит понимать отепляющее воздействие трубы и формирование ореола оттаивания. Развитие ореола оттаивания и последующая просадка грунта влекут за собой изменения планово-высотного положения нефтепровода и возникновение аварийных ситуаций. В

литературе широко представлены математические постановки оттаивания ММП и даны методы их решения. Некоторые методики представляют собой инструмент прогнозирования процесса оттаивания и дают информацию о состоянии вмещающего нефтепровод грунтового массива на протяжении длительного интервала времени [87].

В рамках данной работы был проведен анализ пространственного распространения термокарстовых явлений природных и техногенных типов. Анализ распространения различных типов термокарста (таблица 3.3.1) позволяет установить, насколько они попарно коррелированы между собой как в природных, так и техногенных условиях.

Понятие корреляции в математической статистике есть вероятностная (статистическая) зависимость между величинами, не имеющая, вообще говоря, строгого функционального характера. В отличие от функциональной зависимости, корреляционная зависимость возникает тогда, когда одна из величин ξ зависит не только от данной второй η , но и от ряда случайных факторов, или когда среди условий, от которых зависят и та и другая величины есть общие для них обоих условия [98].

Математические ожидания и дисперсии дискретных случайных величин ξ и η , определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 M\xi &= \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} x_i p_{ij} ; & M\eta &= \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} y_j p_{ij} ; & D\xi &= \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (x_i - M\xi)^2 p_{ij} ; \\
 D\eta &= \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (y_j - M\eta)^2 p_{ij} , & & & &
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где x_i, y_j – значения, которые принимают случайные величины ξ и η .

Важную роль в теории двумерных случайных величин (ξ, η) играет ковариация (корреляционный момент), смысл которой поясняет следующее равенство:

$$\text{cov}(\xi, \eta) = M[(\xi - M\xi)(\eta - M\eta)] \quad (2)$$

В случае дискретных случайных величин ξ и η равенство (2) можно переписать в виде, удобном для вычислений:

$$\text{cov}(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (x_i - M\xi)(y_j - M\eta) p_{ij} \quad (3)$$

Для характеристики связи между величинами ξ и η служит коэффициент корреляции

$$\rho(\xi, \eta) = \frac{\text{cov}(\xi, \eta)}{\sqrt{D\xi} \cdot \sqrt{D\eta}} \quad (4)$$

Если случайные величины ξ и η независимы, то $\rho(\xi, \eta) = 0$. Для любых двух случайных величин $-1 \leq \rho(\xi, \eta) \leq 1$. Случайные величины ξ и η называются некоррелированными, если $\rho(\xi, \eta) = 0$ [143]. Результаты вычисления коэффициентов корреляции, представленные в таблице 3.3.1.

Величина коэффициента корреляции отражает силы связи. При оценке силы связи коэффициентов корреляции используется шкала Чеддока [144]:

В таблице 3.3.2 приведен анализ силы связи между переменными в соответствии со шкалой Чеддока.

Таблица 3.3.2 шкала Чеддока.

Значение	Интерпретация
от 0,1 до 0,3	слабая
от 0,3 до 0,5	умеренная
от 0,5 до 0,7	заметная
от 0,7 до 0,9	высокая
от 0,9 до 0,99	весьма высокая

При отрицательной корреляции значения силы связи между переменными меняются на противоположные.

Таблица 3.3.1 - Попарная корреляция типов термокарстовых явлений

Типы термокарстовых явлений		Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5	Тип 6	Тип 7	Тип 8	Тип 9	Тип 10	Тип 11	Тип 12
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)	Тип 1	1.00											
2 - по ложбинам подповерхностного стока	Тип 2	-0.01	1.00										
3 - блюдцевидные понижения по долинам рек	Тип 3	0.13	0.12	1.00									
4 - по пойменным и террасным старицам рек	Тип 4	0.03	0.00	0.11	1.00								
5 - по кустарниковым марям	Тип 5	0.36	0.08	0.08	0.05	1.00							
6 - по зеленым участкам	Тип 6	-0.02	0.09	0.03	0.04	0.09	1.00						
7 - по бугристым торфяникам	Тип 7	0.06	0.06	0.13	0.06	0.02	0.07	1.00					
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	Тип 8	0.02	-0.02	-0.01	0.06	0.00	-0.01	-0.02	1.00				
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	Тип 9	0.02	0.23	0.04	-0.01	0.02	0.03	0.09	0.02	1.00			
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	Тип 10	0.04	0.05	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.16	-0.01	1.00		
11 - по участкам тепловых воздействий	Тип 11	0.12	0.06	0.11	0.09	0.19	0.03	0.02	0.15	0.12	0.07	1.00	
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	Тип 12	0.05	0.15	0.07	0.10	0.05	-0.01	0.04	0.04	0.09	0.00	0.04	1.00

Анализ значений корреляции в таблице 3.3.1. показывает, что в некоторых случаях распространение разных типов явлений термокарста можно считать некоррелированными, а в других случаях коэффициенты корреляции имеют слабую и умеренную значимость согласно шкале Чеддока.

Умеренную значимость имеет корреляция распространения явлений типа "расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)" и типа "по кустарниковым марям".

Стоит отметить наличие связи у типов №10 и №8, №11 и №1,4,5,8,9, №12 и №2,3. Вышесказанное дает основания считать пересечения участков распространения термокарстовых типов №1,2,3,4,5,8 и 9 и нефтепровода участками потенциального развития техногенного термокарста.

Механические нарушения поверхности почвы на участках распространения природных явлений термокарста по группам ландшафтов ПЖЛ также приводят к развитию техногенного термокарста. Нарушения поверхностного стока при возведении земляной отсыпки автодороги или оборудования валика над траншеей нефтепровода приводят к развитию техногенного термокарста в случае пересечения с участками распространения явлений термокарста по ложбинам поверхностного стока и по пойменным и террасным старицам рек (рисунки 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4).

Взаимное распространение техногенных и природных явлений термокарста



Рисунок 3.3.1 - Термокарст по блюдцевидным понижениям в долинах рек и по участкам тепловых воздействий



Рисунок 3.3.2 - Термокарст по кустарниковым марям и по участкам тепловых воздействий



Рисунок 3.3.3 - Термокарст по участкам нарушения поверхностного стока и по ложбинам подповерхностного стока

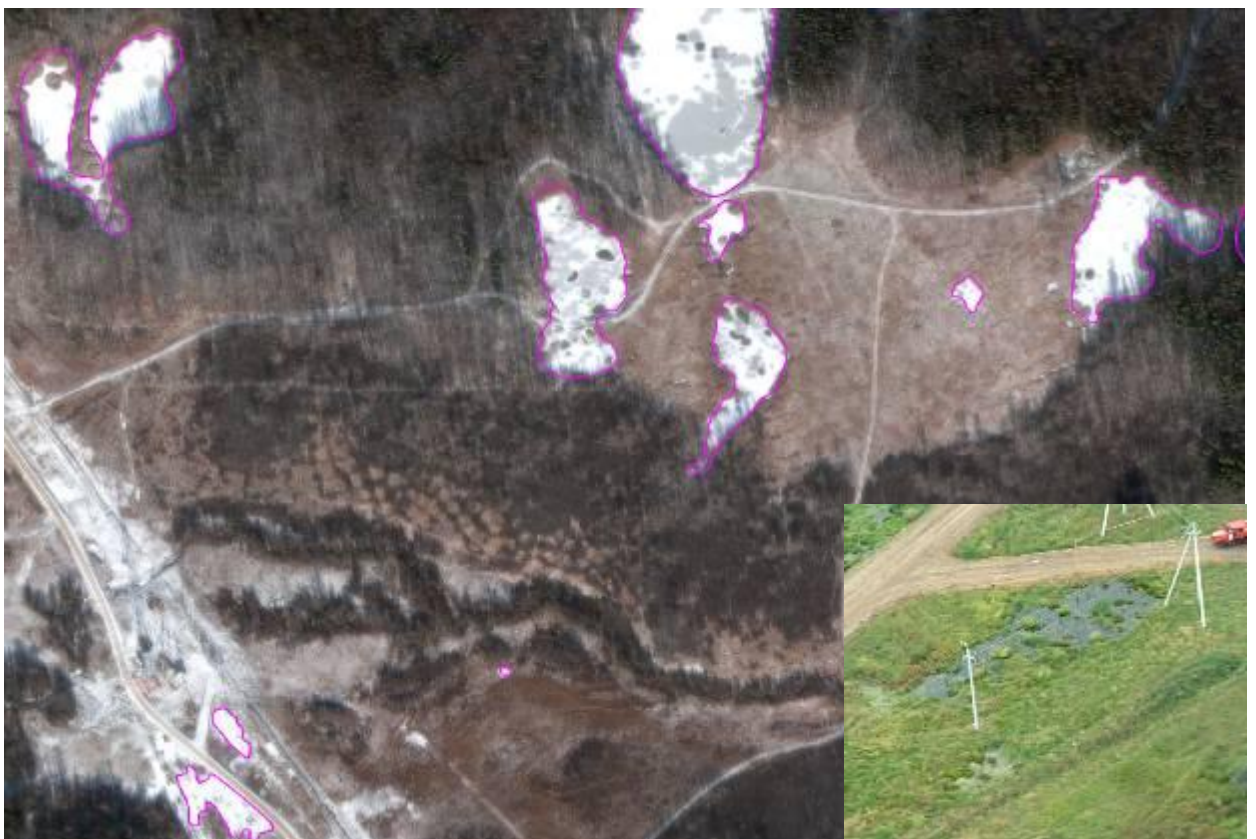


Рисунок 3.3.4 - Термокарст по группам ландшафтов с ПЖЛ и по участкам тепловых воздействий

3.4 Выявление зависимостей между распространением явлений термокарста и ремонтными работами, компенсирующими мероприятиями

Под участками с инженерными (компенсирующими) мероприятиями принято понимать отрезки трассы магистрального нефтепровода, на которых в процессе дешифрирования были обнаружены признаки проведенных или проводящихся инженерных мероприятий (гравийная отсыпка, укладка геотекстиля, дренажные мероприятия). Под участками проведения ремонтных работ принято понимать отрезки трассы магистрального нефтепровода, на которых в процессе дешифрирования были выявлены признаки проведенной или проводящейся замены секции или секций нефтепровода (вскрытая траншея).

Для анализа зависимостей между встречаемостью термокарстовых проявлений и участками проведения ремонтных работ и инженерных мероприятий был проведен эксперимент, где распространение термокарстовых форм принималось как условие, и территория была разделена на участки с термокарстом и без него (таблицы 3.4.1, 3.4.2).

Для анализа использовались результаты аэровизуальных обследований за 2011-2012 гг., в ходе которых были выделены и нанесены на карту участки с компенсирующими мероприятиями и ремонтными работами.

По итогам была выявлена связь между распространением участков проведения инженерных мероприятий и явлений термокарста (таблица 3.4.1). Данная связь может свидетельствовать о наличии осадок поверхности в полосе землеотвода трассы нефтепровода, которые устраняются эксплуатирующей организацией методом гравийных отсыпок. Однако повторные наблюдения показали низкую эффективность данного метода устранения последствий развития процесса.

Таблица 3.4.1 - Выявление зависимостей между распространением термокарстовых явлений и компенсирующими мероприятиями

Компенсирующие мероприятия

	Участки без термокарста	Участки с термокарстом
Номер типа местности k	1	2
Встречаемость типов местности N_k	1758	328
Общая встречаемость всех типов N	2086	2086
Вероятность события A_k p_k	0.843	0.157
Дополнение $q_k = 1 - p_k$	0.157	0.843
Общая встречаемость участков с компенсирующими мероприятиями n	252	252
Встречаемость участков с компенсирующими мероприятиями в пределах отдельного типа местности m_k	62	62
Математическое ожидание np_k	212.38	39.62
Средн. квадрат. откл. $\sigma_k = \sqrt{np_k q_k}$	5.78	5.78
Отклонение $m_k - np_k$	-150.38	22.38
$3\sigma_k$	17.34	17.34
$3\sigma_k - m_k - np_k $	-133.04	-5.04
Тип связи	обратный	прямой

Под эффективностью защитных мероприятий в рамках аэровизуальных обследований понимается способность инженерных мероприятий выполнять поставленные (защитные) функции в заданных условиях и с определенным качеством. Мероприятия характеризуются высокой эффективностью, если их применение приводит к устранению воздействия экзогенных геологических процессов на нефтепроводную систему или прекращению их развития (стабилизации). Низкой эффективностью характеризуются защитные мероприятия, если после их применения процесс продолжает развиваться, нарушая нефтепроводную систему, или возникают новые типы или новые проявления ЭГП (рисунок 3.4.1).



Рисунок 3.4.1 - Неэффективные мероприятия по восстановлению естественного стока на участке Ленск-Олёкминск, май 2011 г. (развиваются вторичные термокарстовые просадки на гравийной отсыпке)

Связи между участками распространением явлений термокарста и участками проведения ремонтных работ выявлено не было (таблица 3.4.2).

Замена секции нефтепровода проводится по итогам внутритрубной диагностики на участках с изгибами и перемещениями трубных секций. По результатам проведенного в данной работе анализа можно сделать вывод, что изгибы и перемещения трубных секций на участках нефтепровода в период обследований (2011-2012 гг.), либо не были связаны с развитием термокарста, а, возможно, явились следствием повреждений, нанесенных трубе при ее прокладке и других технологических дефектов. Также возможно, что последствия развития процесса устранялись посредством земельных работ.

Таблица 3.4.2 - Выявление зависимостей между встречаемостью явлений термокарста и участками проведения ремонтных работ (2011-2012 гг.)

Ремонт

	Участки без термокарста	Участки с термокарстом
Номер типа местности k	1	2
Встречаемость типов местности N_k	1758	328
Общая встречаемость всех типов N	2086	2086
Вероятность события A_k p_k	0.843	0.157
Дополнение $q_k = 1 - p_k$	0.157	0.843
Общая встречаемость участков с ремонтом n	159	159
Встречаемость ремонта в пределах отдельного типа местности m_k	140	19
Матем. ожидание np_k	134.00	25.00
Средн. квадр. откл. $\sigma_k = \sqrt{np_k q_k}$	4.59	4.59
Отклонение $m_k - np_k$	6.00	-6.00
$3\sigma_k$	13.77	13.77
$3\sigma_k - m_k - np_k $	7.77	7.77
Тип связи	нет	нет

3.5 Районирование территории по роли условий и факторов в распространении явлений термокарста

Районирование территории по роли ведущих условий и факторов в формировании термокарстовых явлений было выполнено на основе зависимости, полученных в результате вероятностно-статистического анализа. Все условия и факторы были разделены на две группы: способствующие формированию термокарстовых явлений и препятствующие формированию термокарстовых явлений. Способствующими формированию были названы те условия и факторы, с которыми была обнаружена прямая связь встречаемости термокарстовых явлений. Препятствующими - условия и факторы с обратной связью. Наложение ареалов распространения по условиям и факторам, способствующим и препятствующим формированию термокарста, позволило построить две отдельные карты районирования (рисунки 3.5.1 и 3.5.2).

На фрагменте карты условий и факторов, препятствующих формированию термокарста (рисунок 3.5.1.), термокарстовые явления концентрируются по долинам рек, однако, термокарст распространен далеко не в каждой долине. Долина ручья Еловый характеризуется участками каменистого грунта и термокарст в ней не распространен. Таким образом, можно сделать вывод, что распространение термокарста связано не с отдельным условием или фактором, а с их сочетанием.

На карте условий и факторов, способствующих формированию термокарста (рисунок 3.5.2.) термокарстовые явления концентрируются на участках пересечений большого числа условий и факторов. Встречаются участки, где сочетается большое число условий и факторов, способствующих формированию термокарстовых явлений, однако явления не обнаружены. Можно предположить, что такие участки являются местами потенциального развития термокарстового процесса.

Районирование территории по роли ведущих условий и факторов, препятствующих формированию термокарстовых явлений



Рисунок 3.5.1 - Фрагмент карты районирования участка вдоль нефтепровода на территории республики Саха (Якутия)

Районирование территории по роли ведущих условий и факторов, способствующих формированию термокарстовых явлений

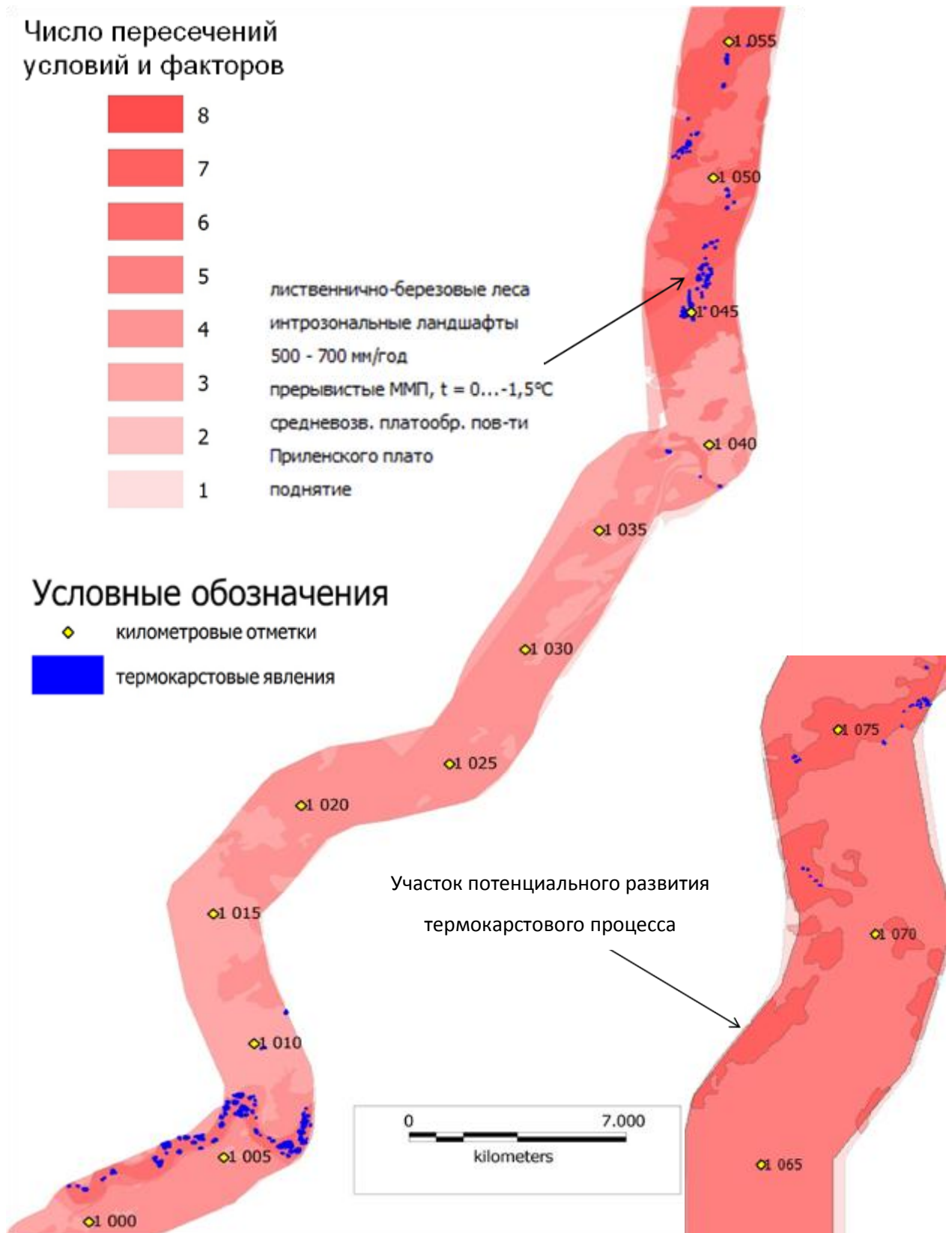


Рисунок 3.5.2 - Фрагмент карты районирования участка вдоль нефтепровода на территории республики Саха (Якутия).

На основе районирования территории и типизации термокарстовых явлений рекомендуется выбор и обоснование местоположения и количества пунктов наземного мониторинга. Организация площадок мониторинга рекомендуется не только в местах распространения явлений, но и на участках где процесс не выявлен, но велико число пересечений условий и факторов с прямой связью. Руководствуясь набором ведущих условий и факторов территории можно также определить набор параметров, при котором рекомендуется организация мониторинга. Частота наблюдений и количество пунктов наземного мониторинга на площадке должны определяться изученностью как данного типа термокарста, так и его ведущих условий и факторов.

В условиях меняющейся окружающей среды, также возможен учет динамики ведущих факторов или условий и оперативная перестройка карты районирования на основе обновленных данных. А также последующая корректировка наблюдательной сети.

Для верификации полученных результатов районирования были использованы результаты инженерно-геологических изысканий, наземных геологических обследований и маршрутных наблюдений.

Верификация полученных результатов районирования

Выбранный участок геологических обследований располагается в долине реки Большая Черепаниха. Согласно карте районирования территории участок геологических обследований расположен на участке пересечения шести условий, способствующих формированию явлений термокарста (рисунок 3.5.3).

Участок расположен в зоне сплошного распространения ММП, в Олекмо-Алданской увалистой провинции на средневозвышенной платообразной поверхности в пределах интразонального типа ландшафта сложенного дисперсными отложениями и покрытого лиственнично-березовыми лесами.

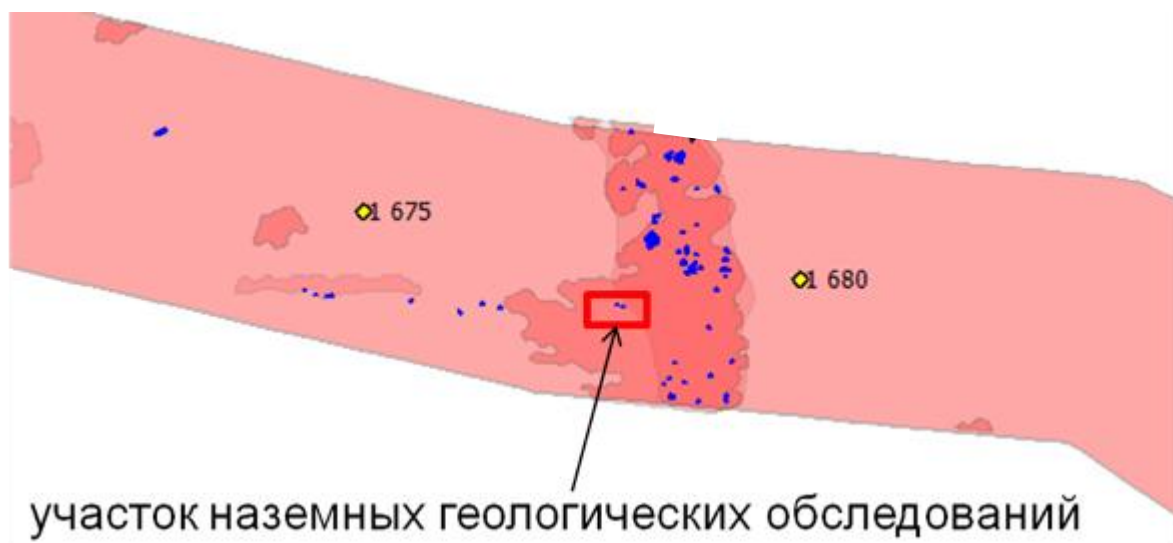


Рисунок 3.5.3 – Местоположение участка наземных геологических обследований на фрагменте карты районирования

Сбор и анализ информации об участке проведения работ и характеристиках трубопроводной системы выполнялись в рамках работы по определению температурного поля вокруг трубопровода и прогнозирование планово-высотного положения трубопровода на участках с многолетнемерзлыми грунтами [145]. Работы были выполнены дважды в июне и октябре 2012 года. Также на участке оборудован термометрический профиль [146], были выполнены инженерно-геологические изыскания.

Шурф был оборудован в пределах одного ландшафта с ранее оборудованными термоскважинами. Расстояние от термометрического профиля до шурфа составило 30 м (не менее удвоенной глубины наиболее глубокой термометрической скважины (первая скважина имеет глубину 15 м) с целью избежание нарушения температурного режима возле термометрического профиля) [147, 148].

В 2012 году в шурфе было выполнено описание геологического строения, отобраны образцы для определения свойств грунтов, определены и зафиксированы границы между мерзлыми и талыми породами, измерена фактическая температура трубопровода.

Инженерно-геологический разрез в шурфе представлен слабольдистыми и льдистыми суглинками слоистой криотекстуры с прослоями торфа (рисунок 3.5.4).

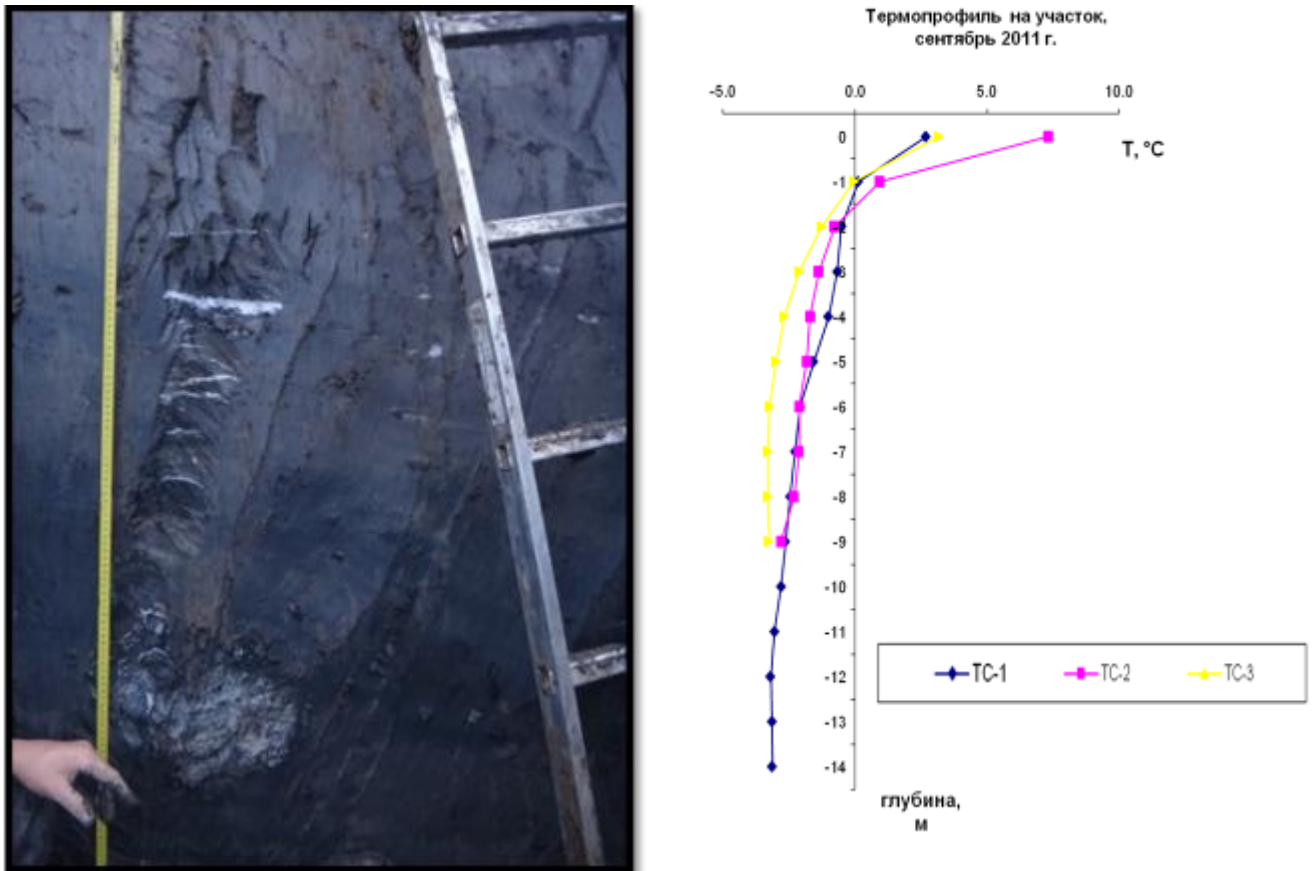


Рисунок - 3.5.4. Изображение стенки шурфа и графика температуры грунта (с термометрического профиля на участке)

Все три термоскважины характеризуют одну и ту же закономерность изменения температуры грунта с глубиной. Однако, термоскважина №3, находящаяся в фоновых условиях, демонстрирует плавное уменьшение температуры грунта с выходом в зону нулевых годовых амплитуд, где температура перестает меняться с глубиной, на уровне 7 м от поверхности земли. Температура мерзлых грунтов при этом устанавливается на -3°C . В техногенно-нарушенных нефтепроводом условиях стабилизация температур происходит уже на глубине 11-12 м, а сами графики имеют ломанный характер, показывая в среднем более высокую температуру на $1,0-1,5^{\circ}\text{C}$ чем в естественных условиях.

При оборудовании шурфа на участке был вскрыт лед мощностью более 4 м (рисунок 3.5.5).

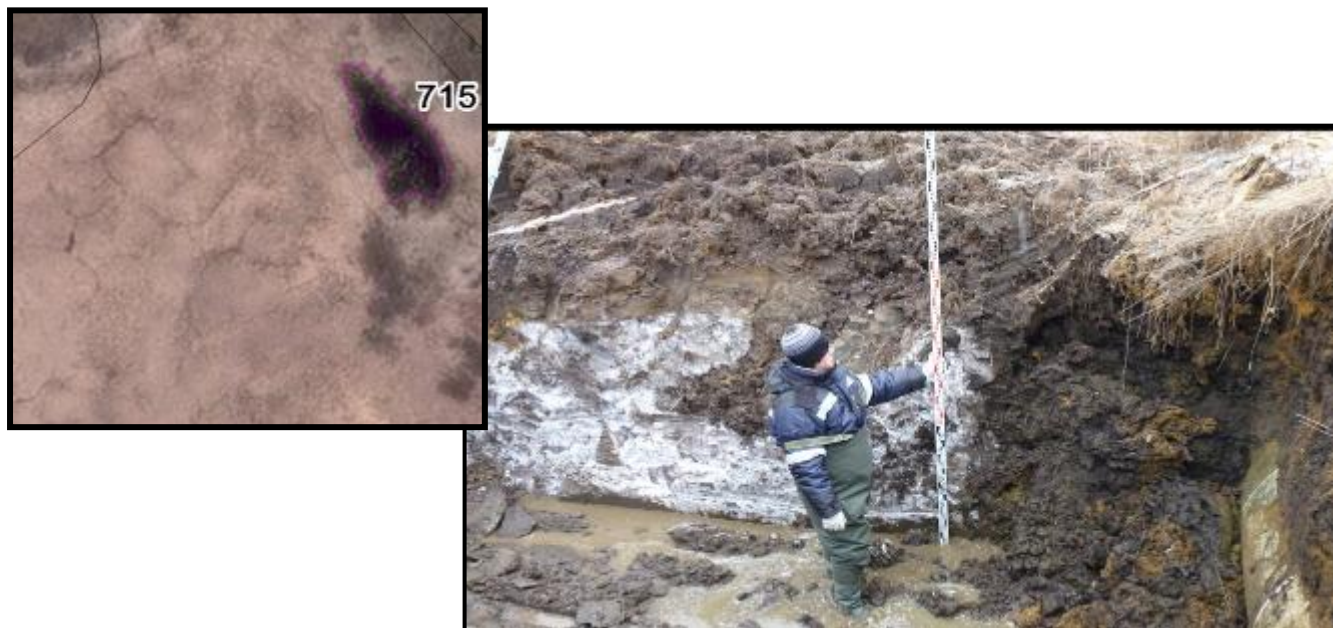


Рисунок 3.5.5. Изображение стенки шурфа и полигонального рельефа (с ПЖЛ) на аэрофотоснимке вблизи участка обследования.

Анализ долины реки на аэрофотоснимках позволил обнаружить на безлесных участках признаки полигональности, что позволяет предположить, что при шурфовании была вскрыта жила повторно-жильного льда (рисунок 3.5.5).

По результатам определения границы между мерзлыми и талыми породами были построены схемы расположения границ ореола оттаивания на июнь и октябрь месяц. Профили показывают, что существенной сезонной динамики границ зоны отепляющего воздействия трубы нет. Граница между мерзлыми и талыми грунтами расположена на 1,20 м ниже глубины заложения трубы как в июне, так и в октябре. В плане граница летом на пол метра дальше от трубы и расположена на максимальном расстоянии 2,0 м, в то время, как в октябре это 1,5 м. Наблюдается снижение границы талых грунтов ниже сезонно-талого слоя на 0,6 м и на расстоянии нескольких метров от трубы в плане, что может объясняться конвективным переносом тепла от трубы с почвенным стоком, сформированным оттаявшей под действием трубы водой.

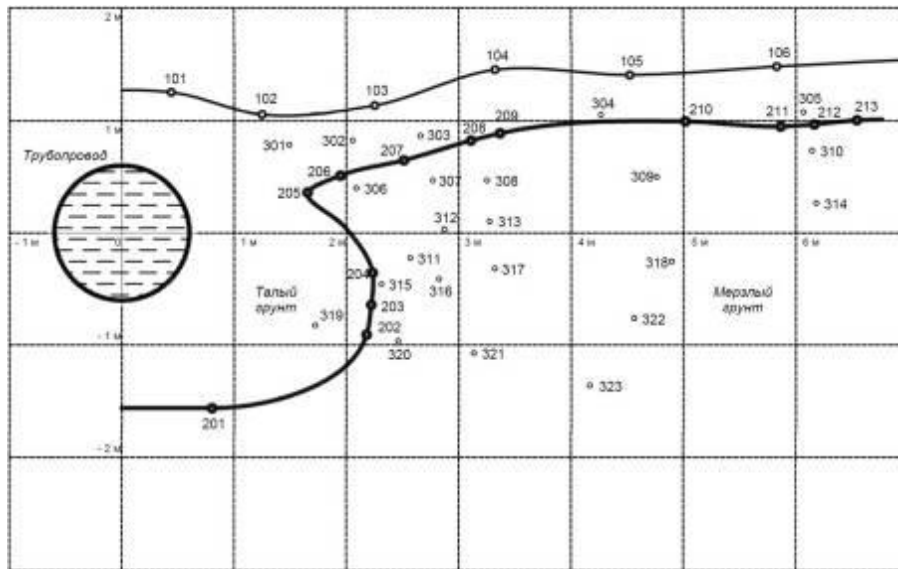


Рисунок - 3.5.6 Схема расположения границ ореола оттаивания (июнь): 101–106, — дневная поверхность; 201–213 — граница ореола оттаивания.

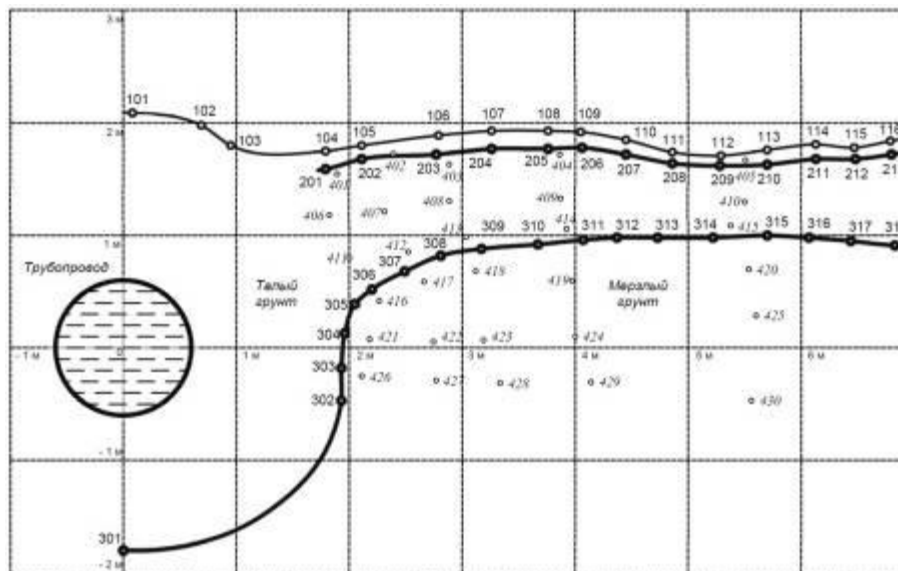


Рисунок - 3.5.7. Схема расположения границ ореола оттаивания (октябрь): 101–116 – дневная поверхность; 201–213 – граница СТС; 301-318 – граница ореола оттаивания.

Полученные в ходе наземных геологических обследований результаты (обнаружение высокольдистых грунтов и ПЖЛ, а также развитие ореола оттаивания вокруг нефтепровода) служат подтверждением правомерности полученных зависимостей и результатов районирования.

Выводы:

1. Полученные на основе вероятностно-статистической системы оценки зависимости распространения явлений термокарста от природных условий были разделены на две группы: способствующие формированию термокарста (с прямой связью) и препятствующие распространению термокарста (с обратной связью). По характеру отклонения наблюдаемого количества явлений термокарста от математического ожидания определялся характер зависимости прямой (наблюдаемое количество больше математического ожидания) или обратной (наблюдаемое количество меньше математического ожидания). В качестве критерия была использована числовая характеристика, позволяющая выделить результаты наблюдений, которые не являются случайными. Метод имеет ограничения по объему выборки. Для обеспечения статистической значимости эксперимента объем выборки должен быть не менее 30-35 значений (явлений термокарста).

2. Анализ карт и данных обзорно-регионального масштаба (1:1 000 000 и мельче) позволил выявить общие зависимости распространения термокарста в буферной зоне нефтепровода. Таким образом, в общем случае распространение явлений термокарста на равнинных участках трассы имеет прямую зависимость с тонкодисперсными четвертичными отложениями со сплошным распространением ММП мощностью 100-200 м. В пределах равнинных территории распространение явлений термокарста зависит от площади распространения ММП, чем больше площадь распространения ММП, тем больше распространенность явлений. В пределах горных территории большую роль играют локальные условия. Обнаружено, что анализ карт и данных обзорно-регионального масштаба не позволяет выявить локальные зависимости распространения явлений термокарста от природных условий, для их учета необходимо использовать крупномасштабные карты.

3. Деление буферной зоны трассы нефтепровода по частоте встречаемости проявлений термокарста позволило выделить участки наиболее

широкого распространения явлений (в среднем, на каждом третьем километре трассы). Вышеуказанные участки трассы нефтепровода, проходят по территории Нюе-Олекминской и Олекмо-Алданской увалистых провинции, где в пределах долинного комплекса развиты ПЖЛ.

4. Статистически подтверждено, что зоны новейших тектонических движений влияют на распространение явлений термокарста. Выявлено, что зоны поднятий способствуют формированию термокарста, а зоны прогибов - препятствуют. Общая причина формирования термокарстовых котловин в зоне поднятий связана с переходом этой поверхности из аккумулятивной в денудационную, когда на ней прекращается осадконакопление. Рассмотрение устойчивости данных зависимостей в пределах региональных структур, показало, что они сохраняются на территории осадочного чехла плиты Сибирской платформы и не проявлены в пределах щита и складчатых систем.

5. Статистически подтверждено, что зависимости распространения явлений термокарста от природных условий проявляются по-разному в пределах древних тектонических структур.

В пределах плиты Сибирской платформы:

На участке пересечения трассой нефтепровода плиты Сибирской платформы в целом сохраняются общие зависимости распространения термокарста, выявленные вдоль всей трассы нефтепровода. Распространение явлений термокарста в целом тяготеет к зонам поднятий. Явления приурочены к участкам с интразональными ландшафтами, областям низких долинных и межгорных впадин, областям слабовозвышенного увалистого и средневозвышенного платообразного, ступенчато-платообразного среднерасчлененного рельефа, очевидно сложенных льдистыми грунтами. Среди типов растительности предположительными индикаторами криогенных ландшафтов являются: ерниковые, кустарничковые и кустарниково-зеленомошные сообщества с единичными лиственницей (часто низкорослой), сосной и березой, лиственнично-березовые и березовые леса (при наличии признаков угнетения древостоя или заболоченных участков), лугово-болотные

сообщества, лугово-кустарниковые сообщества с отдельными мелколиственными деревьями, сосново-елово-пихтовые леса (при наличии признаков угнетения древостоя или заболоченных участков), заболоченные участки среди соснового и березового леса. В пределах плиты Сибирской платформы выявлено широко распространены явления термокарста по кустарниковым марям и блюдцевидные понижения по долинам рек. Выявлена связь распространения явлений термокарста с участками распространения гарей (пожарами).

В пределах Алданского щита Сибирской платформы:

На участке пересечения трассой нефтепровода Алданского щита Сибирской платформы распространение явлений термокарста тяготеет к зоне Алданско-Нимнырского сводового поднятия. Поверхность характеризуется слабым вертикальным поднятием, выровненным рельефом (представленным возвышенными платообразными и ступенчато-платообразными среднерасчлененными поверхностями) и, как следствие, ограниченными условиями дренажа. Неотектонические структуры в приповерхностной зоне развиваются в условиях растяжения (трасса пересекает эти структуры поперек их простираения), что определяет множество речных приподнятых террас. В пределах водораздельных и долинных комплексов широко распространены заболоченные территории, промерзание и последующее протаивание которых способствует распространению термокарста. В пределах Алдано-Станового щита распространены явления термокарста по бугристым торфяникам.

В пределах Монголо-Охотской складчатой системы:

На участке пересечения трассой нефтепровода Монголо-Охотской складчатой системы выявлена зависимость распространения явлений термокарста с лесотундровым (преимущественно равнинным) типом местности, с участками распространения ерниковых и ивняковых сообществ (местами с единичными низкорослыми лиственницей, сосной и березой), с сухостоем на вырубках и гарях (частично заболоченным). В пределах Монголо-Охотской складчатой системы

выявлена широко распространены явлениями термокарста по группам ландшафтов с ПЖЛ.

6. Выявлена значимая корреляция между распространением природных и техногенных явлений термокарста. Прохождение нефтепровода (тепловые воздействия) по участкам распространения природных явлений термокарста типов "расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков", "блюдецвидные понижения по долинах рек", "по кустарниковым марям", "по группам ландшафтов с ПЖЛ", "по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)", а также механические нарушения на участках природных явлений термокарста типа "по группам ландшафтов с ПЖЛ" и нарушения естественного стока на участках распространения явлений типов "по ложбинам подповерхностного стока", "по пойменным и террасным старицам рек" следует считать местами потенциально развития техногенного термокарста.

7. Выявлена связь между распространением термокарстовых форм и участками проведения инженерных мероприятий. Данная связь может свидетельствовать о наличии осадок поверхности в полосе землеотвода трассы нефтепровода, которые устраняются эксплуатирующей организацией. Сравнение дистанционных данных за период 2010 - 2011 гг. позволило выявить низкую эффективность устранения осадок грунта методом гравийных отсыпок.

8. Обнаружено, что между распространением термокарстовых форм и участками проведения ремонтных работ (2011-2012 гг.) нет связи. Замена секции трубопровода проводится по итогам внутритрубной диагностики на участках с деформациями трубы. Можно сделать вывод, что деформации трубы на участках нефтепровода в период обследований либо не были связаны с развитием термокарста, а, возможно, явились следствием повреждений, нанесенных трубе при ее прокладке и других технологических дефектов. Также возможно, что последствия развития процесса устранялись посредством земельных работ.

9. На основе выделенных зависимостей распространения явлений термокарста выполнено районирование буферной зоны магистрального нефтепровода по роли условий и факторов, влияющих на распределение явлений.

Показано, что термокарстовые явления приурочены к участкам пересечения нескольких типов условий, способствующих их распространению. Решена проблема принципа выделения границ при районировании. Полученные в ходе наземных геологических обследований результаты (обнаружение высокольдистых грунтов и ПЖЛ, а также развитие ореола оттаивания вокруг нефтепровода) на участке пересечения шести условий способствующих формированию термокарста служат подтверждением правомерности полученных зависимостей и результатов районирования.

Заключение

В результате исследований изучена характеристика неоднородности распространения явлений термокарста в буферной зоне нефтепровода. Результаты этих исследований заключаются в следующем:

1. Разработана региональная типизация термокарстовых явлений по их приуроченности к участкам изменения природных ландшафтов и участкам приложения техногенной нагрузки. На основе типизации выделены эталоны дешифрирования для девяти типов явлений природного происхождения и трех типов явления техногенного термокарста южной геокриологической зоны.

2. Выявлена неравномерность распределения явлений термокарста в буферной зоне нефтепровода. Буферная зона трассы нефтепровода разделена на 9 зон по частоте встречаемости проявлений термокарста.

3. Разработана методика выявления зависимостей распространения явлений термокарста от природных и техногенных условий. На основе вероятностно-статистической системы оценки зависимости распространения явлений термокарста от природных условий разделены на две группы: способствующие формированию термокарста и препятствующие формированию термокарста.

4. Выполнено районирование буферной зоны магистрального нефтепровода по роли условий и факторов, влияющих на распределение явлений. Показано, что термокарстовые явления приурочены к участкам пересечения нескольких типов условий, способствующих их распространению. Выполнена верификация результатов районирования посредством наземных геологических обследований.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что районирование выполнено впервые для буферной зоны трассы нефтепровода протяженностью 2691 км, при этом учтено каждое термокарстовое явление; исследованы закономерности распространения природного и техногенного термокарста, а

также его приуроченность к различным типам природных условий и участкам приложения техногенной нагрузки; предложен иерархический подход к совместному использованию разномасштабных карт факторов и условий формирования термокарста без потери их исходной информативности; проанализированы природные условия и выявлено, что зависимости распространения явлений термокарста от природных условий проявляются по-разному в пределах древних тектонических структур. С практической точки зрения решены задачи комплексирования и взаимной верификации дистанционных данных с данными наземных геологических изысканий, показавшие высокую эффективность, а также решены некоторые технические вопросы автоматического выделения границ при районировании и выделения участков потенциального развития процесса. Для каждого контура определен набор условий и факторов способствующих формированию термокарста или препятствующих его формированию. Данные исследования важны для прогнозирования развития опасных экзогенных процессов в пределах буферной зоны нефтепровода в условиях недостаточности и низкой достоверности исходной информации.

На основе районирования территории и типизации термокарстовых явлений рекомендуется выбор и обоснование местоположения и количества пунктов наземного мониторинга. Организация площадок мониторинга рекомендуется не только в местах распространения явлений, но и на участках где процесс не выявлен, но велико число пересечений условий и факторов способствующих его формированию. Руководствуясь набором ведущих условий и факторов территории можно также определить набор параметров, при котором рекомендуется организация мониторинга. Частота наблюдений, число и взаимное расположение пунктов наземного мониторинга на площадке должны определяться изученностью как данного типа термокарста, так и его ведущих условий и факторов.

В условиях меняющейся окружающей среды, также возможен учет динамики ведущих факторов или условий и оперативная перестройка карты

районирования на основе обновленных данных, а также учет дополнительных крупномасштабных данных или дополнительных условий и факторов.

В дальнейшем необходимо проведение дополнительных исследований по изучению механизмов формирования термокарста, составлению комплексных геомеханических и термомеханических моделей этого процесса, выявлению критических условий, приводящих к началу процесса в данном месте и в конкретное время.

Основные обозначения и сокращения

1. АэВО – аэровизуальное обследование;
2. ГИС – географическая информационная система;
3. ММГ – многолетнемерзлые грунты;
4. ПТК – природно-территориальный комплекс;
5. ПЖЛ - повторно-жильные льды;
6. СТС - сезонноталый слой;
7. СМС – сезонномерзлый слой;
8. ТС - трубопроводная система;
9. ЭГЯ - экзогенные геологические явления;
10. ЭГП - экзогенные геологические процессы.

Библиография

1. **Бондарик, Г.К.** Общая теория инженерной (физической) геологии / Г.К. Бондарик. – М.: Недра, 1982 г. – 256 с.
2. **Бондарик Г.К.** Природно-технические системы и их мониторинг/ Г.К. Бондарик, Л.А. Ярг//Инженерная геология. – 1990 г. – N 5. – 3-9 с.
3. **Шестаков, В.М.** Принципы гидрогеодинамического мониторинга/ В.М. Шестаков// Разведка и охрана недр. – 1988 г. –N 8. –45-49 с.
4. **Герасимов, И.П.** Научные основы современного мониторинга окружающей среды/ И.П. Герасимов//Известие АН СССР, серия география. –1975 г. – N 3. –13-25 с.
5. **Королев, В.А.** Мониторинг геологической среды/ В.А. Королев, под редакцией В.Т. Трофимов. – Москва: Издательство МГУ, 1995 г. – 272 стр., УДК: 624.131:551.3, ISBN: 5-211-03344-2
6. **Израэль, Ю.А.** Философия мониторинга / Ю.А. Израэль // Метеорология и гидрология. –1990 г. –N 6. – 5-10 с.
7. **Епишин, В.К.** Литомониторинг – система контроля и управления геологической средой, Теоретические основы инженерной геологии Социально-экономические аспекты / В.К. Епишин, В.Т. Трофимов, Под ред. акад. Е.М. Сергеева. – Москва: Издательство Недра, 1985 г. – 243-250 с.
8. **Павлов, А.В.** Мониторинг криолитозоны / А.В. Павлов, под редакцией А.В. Павлов. – Новосибирск: Издательство Гео, 2008 г. – 229 с.
9. **Семенов, С. М.** Теория и методы изучения гидродинамического режима подземных вод: диссертация доктора геолого-минералогических наук в форме научного доклада: 04.00.06. – Москва, 1995 г. – 87 с.
10. **Коноплянцев, А.А.** Прогноз и картирование режима грунтовых вод/ А.А. Коноплянцев, С.М. Семенов. – Москва: Издательство Недра, 1974 г. – 214 с.

11. **Семенов, С.М.** Гидрогеологические прогнозы в системе мониторинга подземных вод/ С.М. Семенов, под редакцией В.С. Ковалевский – Москва: Издательство Наука, 2005 г. – 131 с. – ISBN 5-02-033757
12. **Лебедев, А.В., Семенов, С.М., Челидзе, Ю.Б.** Организация и производство наблюдений за режимом уровня, напора и дебита подземных вод (методические рекомендации)/ ВСЕГИНГЕО. Москва: Издательство Министерство Геологии СССР, 1983 г. – 85 с.
13. Строительные нормы и правила: СНИП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. Москва: ГП ЦПП, 1996 г. – 7 с.
14. Геокриология СССР. Средняя Сибирь/ С.М. Фотиев, К.А. Кондратьева, С.Ф. Хруцкий и др., под ред. Э. Д. Ершова. – Москва: Издательство Недр, 1989 г. – 413 с. – ISBN 5-247-00433-7
15. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток/ Э.Д. Ершова и др.; под ред. Э. Д. Ершова. – Москва: Издательство Недр, 1989 г. – 515 с.
16. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 / Под ред. Э.Д. Ершова, К.А. Кондратьевой. – Москва: Издательство МГУ; ПГО Гидроспецгеология, 1991 г.
17. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1:2 500 000 / Под ред. П.И. Мельников. – Москва: Издательство Комитет геодезии и картографии СССР, 1991 г., 2 л.
18. Мерзлотные ландшафты Якутии (Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР» масштаба 1:2 500 000) /Федоров А.Н. и др. – Новосибирск: Издательство ГУГК, 1989 г.
19. **Федоров, А.Н.** Мерзлотные ландшафты Якутии: Методика выделения и вопросы картографирования. – Якутск: Издательство ИМЗ СО РАН СССР, 1991. – 140 с.
20. Обследование участков трубопроводов и объектов трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ТС ВСТО-1): Технический отчет/ ИГЭ РАН. О выполненном аэровизуальном обследовании коридора трассы ТС ВСТО-1. – Москва, 2010 г.

21. Технический отчет на создание научно-технической продукции по теме аэровизуальные обследования коридора трассы ТС ВСТО-1 в период «15.04.2011 – 01.07.2011» /ИГЭ РАН. – Москва, 2011 г.
22. Технический отчет о результатах проведения аэровизуального обследования коридора трассы ТС ВСТО – 1 в период «01.08.2011 – 01.10.2011» / ООО «ЦИЭКС». Разработка системы мониторинга геологических процессов на участках прокладки МТ. – Москва, 2011 г.
23. Технический отчет о результатах проведения аэровизуального обследования коридора трассы ТС ВСТО – 1 в период «01.08.2012 – 01.10.2012» / ООО «ЦИЭКС». Разработка системы мониторинга геологических процессов на участках прокладки МТ. – Москва, 2012 г.
24. Дистанционное зондирование территории размещения ТС ВСТО-1 с применением космосъемки/аэрофотосъемки: Технический отчет. Приложение 4/ ИГЭ РАН. Карта морфоструктурного районирования. – Москва, 2010 г.
25. Дистанционное зондирование территории размещения ТС ВСТО-1 с применением космосъемки/аэрофотосъемки: Технический отчет. Приложение 3. Ландшафтная карта/ ИГЭ РАН. – Москва, 2010 г.
26. Отчет по инженерным изысканиям на стадии проектной документации по трассе магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь - Тихий океан»/ ООО ЦНИИП «Трансгеопроект». – Москва, 2006 г.
27. Отчет «Проведение специальных изысканий по изучению условий развития и распространения инженерно-геологических процессов (карста и криогенных) по трассе расширения нефтепроводной системы ВСТО»/ ФГУП «ИМГРЭ». – Москва, 2006 г.
28. Южная Якутия. Мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района. под редакцией В.А.Кудрявцева. Москва: Изд-во МГУ, 1975 г. – 444 с.
29. Якутия / Под общей редакцией Герасимова И.П. – Москва: Издательство Наука, 1965. – 467с

30. Выполнение аэрофотосъемки и лазерного сканирования трассы ТС ВСТО-1 на участках, выделенных по результатам обследований 2010 года: Технический отчет/ ООО «ЦИЭКС». – Москва, 2011 г.
31. Метеорология и климатология. Учебное пособие/ Г.Н. Гребенюк, Г.К. Ходжаева, под редакцией Т.В. Дементьева. — Нижневартовск: Издательство Нижневартовского гуманитарного университета, 2012 г. — 180 с.
32. Аэровизуальные обследования как источник геокриологической информации/ Е.М. Макарычева [и др.]. // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире/ Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. Тюмень: – Печатник, 2012 г. – 192-193 с.
33. **Ермолаев, М.М.** Геоморфологический очерк Ново-Сибирского архипелага /М.М. Ермолаев// В. кн.: Якутская АССР. –Л.: Изд-во АН СССР, 1932 г., вып. 1. –7-19 С.
34. **Сумгин, М.И.** Общее мерзлотоведение/ М.И. Сумгин, С.П. Качурин, Н.И. Толстихин, В.Ф. Тумель. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1940 г. – 340 с.
35. **Попов, А.И.** Вечная мерзлота в Западной Сибири/ А.И. Попов. – М.: Изд-во АН СССР, 1953 г. – 230 с.
36. **Качурин, С.П.** Термокарст на территории СССР./ С.П. Качурин. – М.: Изд-во АН СССР, 1961 г. – 291 с.
37. **Мудров, Ю.В.** Мерзлотные явления в криолитозоне равнин и гор. Основные понятия и определения. Иллюстрированный энциклопедический справочник/ Ю.В. Мудров. – М.: Научный мир. 2007 г. – 316 с.
38. **Катасонов, Е.М.** Термокарст как историко-геологический процесс // В кн.: Общее мерзлотоведение: Материалы к III Междунар. конф. по мерзлотоведению. – Новосибирск: Наука, 1978 г. – 24-29 с.
39. **John, B.L.** The winters of the world/ Ed. B.L. John. –1979. –375 p.
40. **Щукин, И.С.** Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии./ И.С. Щукин. – М.: Изд. Сов. Энциклопедия, 1980 г. –703 с.

41. **Гречищева, С.Е.** Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз/ С.Е. Гречищева, Л.В. Чистотинов, Ю.Л. Шур. – М.: Недра, 1980 г. –382 с.
42. **Шур, Ю.Л.** Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст/ Ю.Л. Шур, под редакцией А.В. Павлов. – Новосибирск: Издательство Наука, Сиб. отд-е, 1988 г. – 213 с.
43. **Маскау, J. R.** Disturbances to the tundra and forest environment of the western Arctic: Canadian Geotech./ J. R. Маскау, J. 7. – 1970. – 420-432 p.
44. **Уваркин, Ю.Т.** Естественные тепловые осадки многолетнемерзлых грунтов (термокарст) на севере Западной Сибири и их инженерно-геологическое значение./ Ю.Т. Уваркин, М.М. Корейша, И.И. Шаманова// Труды ПНИИИС. – Москва, 1972 г., т. 18. –3-93 с.
45. **Шаманова, И.И.** Уваркин Ю.Т. Зональные особенности подозерных таликов на севере Западной Сибири. И.И. Шаманова // Тр. ПНИИИС. Вып. 29: Геокриол. исследования при инж. изысканиях. – М. : Стройиздат, 1974 г. –70–83 с.
46. **Уошборн, А.Л.** Мир холода. Геокриологические исследования/ А.Л. Уошборн. – М.: Прогресс, 1988 г. – 384 с.
47. **Вейсман, Л.И.** Обобщенная классификация криогенных процессов и явлений/ Л.И. Вейсман // Криогенные процессы. – М.: Наука, 1978г. – 3–9 с.
48. **Соловьев, П.А.** Аласный рельеф Центральной Якутии и его происхождение/ П.А. Соловьев// Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1962г. –38-53 с.
49. **Соловьев, П.А.** Криолитозона северной части Лено – Амгинского междуречья/ П.А. Соловьев. – М.: Изд-во АН СССР, 1959 г. – 144с.
50. **Ефимов, А.И.** Высыхание термокарстовых озер в Центральной Якутии / А.И. Ефимов// Мерзлотоведение. – Т. 1, Вып. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1946 г. – 98–114 с.
51. **Анисимова, Н.П.** Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии/ Н.П. Анисимова. – М.: Наука, 1971 г. – 195 с.

52. **Вельмина, Н. А.** К вопросу о происхождении замкнутых (аласных) впадин Центральной Якутии/ Н.А. Вельмина// Изв. АН СССР, серия географическая. – М., 1957г. – № 5.
53. **Вейсман, Л.И.** Современные геологические процессы и их проявления в среднем течении р. Надым и Пур-Надымском междуречье/ Л.И. Вейсман, Л.Н. Крицук, В.Л. Невечеря, И.В. Тодосийчук// Реф. сб. ЦИНИС. Серия И, выпуск 2 (43). –Москва, 1976 г. – 50-54 с.
54. **Евсеев, В.П.** Миграционные бугры пучения северо-востока европейской части СССР и Западной Сибири/ В.П. Евсеев// В сб.: «Проблемы криолитологии».– Москва: Вып.У.МГУ, 1976 г. – 95-159с.
55. **Вейсман, Л.И.** Термокарст/ Л.И. Вейсман // Геокриологические условия Западно-Сибирской газоносной провинции. – Новосибирск: Наука, 1983 г. –174-179 с.
56. **Украинцева, Н.Г.**, Особенности проявления современных экзогенных процессов/ Н.Г. Украинцева, Е.С. Мельников // Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. – Новосибирск: Наука, 1983 г. –144-148 с.
57. **Пономарева, О. Е.** В Развитие экзогенных геологических процессов при техногенезе :на примере Надымского района Тюменской области: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геог. наук (25.00.36)/ Пономарева Ольга Евгеньевна; Институт криосферы Земли Сибирское отделение Российской академии Наук.– Тюмень, 2006. – 23 с.
58. **Попов, А.И.** Мерзлотные явления в земной коре (криолитология)/ А.И. Попов. – Москва, 1967 г. – 304 с.
59. **Баулин, В.В.** Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности/ В.В. Баулин, Е.Б. Белопухова, Г.И. Дубиков, Л. М. Шмелев. – М.: Наука, 1967г. – 213 с.
60. **Трофимов, В.Т.** Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты/ В.Т. Трофимов, Ю.Б. Бадун, Ю.К. Васильчук, П.И. Кашперюк, В.Г. Фирсов. – М.: Наука, 1987г. – 219 с.

61. **Трофимов, В.Т.** Основные закономерности строения рельефа Западно-Сибирской плиты/ В.Т. Трофимов// Природные условия Западной Сибири.– М.: Изд-во Моск. ун-та. – Вып. 7, 1980 г. –13-36 с.
62. **Трофимов В.Т.** Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты (пространственно-временные закономерности)/ В.Т. Трофимов, Ю.Б. Бадю, Ю.К. Васильчук и др. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986 г. – 246 с.
63. **Трофимов, В.Т.** Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты/ В.Т. Трофимов, Ю.Б. Бадю, Г.И. Дубиков. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980 г. – 46 с.
64. **Романовский, Н.Н.** Эрозионно-термокарстовые котловины на севере приморских низменностей Якутии и Новосибирских островах/ Н.Н. Романовский// Мерзлотные исследования, вып. 1. – М.: Изд-во МГУ, 1961 г. –124-144 с.
65. **Мухин, Н.И.** Особенности возникновения и развития термокарстовых озер на территории Яно-Индибирской низменности// Озера криолитозоны Сибири/ Н.И. Мухин. Новосибирск: Наука, 1974 г. 18-26 с.
66. **Томирдиаро, С.В.** Вечная мерзлота и освоение горных стран и низменностей/ С.В. Томирдиаро. – Магадан, 1972г. – 174 с.
67. **Арэ, Ф.Э.** Особенности переработки берегов термокарстовых озер Центральной Якутии/ Ф.Э. Арэ, В.Т. Балобаев, Н.П. Босиков// Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974 г. – 39-52 с.
68. **Тумской, В.Е.** Термокарст и его роль в развитии региона моря Лаптевых в позднем плейстоцене и голоцене: Автореф дисс. канд.гео.-мин. (25.00.08) – Москва, 2002 г. – 26 с.
69. **Оспенников, Е.Н.** Экзогенные геологические процессы и явления (Южная Якутия)/ Е.Н. Оспенников, Н.И. Труш, А.Б. Чижов, Н.И. Чижова. – М.: Изд-во МГУ, 1980 г. – 226 с.
70. **Morgenstern, A.** Evolution of a Thermokarst Basin in Ice-Rich Permafrost, Siberian Lena Delta/ A. Morgenstern, M. Ulrich, F. Günther, J. Boike & L. Schirrmeister// Melnikov, P.I. (ed.). Tenth International Conference on Permafrost. Vol.

- 4: Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia. Co-edited by D.S. Drozdov and V.E. Romanovsky. – The Northern Publisher, Salekhard, Russia, 2012. – pp. 406-407.
71. **Morgenstern, A.** Spatial analyses of thermokarst lakes and basins in Yedoma landscapes of the Lena Delta/ A. Morgenstern, G. Grosse, F. Günther, I. Fedorova and L. Schirrmeister //The Cryosphere, 5, 2011. – pp. 849-867
72. **Hopkins, D.** Permafrost and ground water in Alaska/ D. Hopkins, T. Karlstrom, R. Black et al. // Geol. Surv. Prof. Pap. — Washington, 1955. — 264 F. — 146 p.
73. **Тарбеева, А.М.** Четковидные русла малых рек зоны многолетней мерзлоты./ А. М. Тарбеева, В. В. Сурков// География и природные ресурсы. –2013 г. – № 3. – с. 27–32.
74. **Губарьков, А.А.** Чёткообразные русловые формы в долинах малых рек на центральном ямале – результат парагенеза криогенных и гидрологических процессов/ А.А. Губарьков, М.О. Лейбман //Криосфера Земли,. –2010 г. – т. XIV. – № 1. с. 41–49.
75. **Втюрин, Б.И.** Трещинно-полигональный рельеф/ Б.И. Втюрин, А.Я. Литвинов//В кн.: Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования. – М.: Изд-во АН СССР, 1961 г. –173-194 с.
76. Общее мерзлотоведение. Кудрявцев В.А. и др. - М., 1978; Основы геокриологии (часть 4): Динамическая геология. М., 2001.
77. **Коржуев, С.С.** Криогенная морфоскульптура/ С.С. Коржуев // В. КН.: Геоморфология СССР: Дальний Восток и берега морей, омывающих территорию СССР.– М.: Наука, 1982 г. –.248-259 с.
78. **Pewe, T.L.** Geologic hazards of the Fairbanks Area, Alaska- Departament of natural resources Division of geological and geophysical surveys/ T.L. Pewe,–Fairbanks, Alaska, 1982.. – First Edition, – p. 26-50
79. **Гарагуля, Л.С.** Типизация изменений природных условий для инженерно-геокриологической оценки территории при строительстве трубопроводов / Л.С. Гарагуля, Г.И Гордеева//Инженерная геология. – 1982 г. – №2. –106-113 с.

80. **Makarycheva, E.M.** Thermokarst phenomenon typification approaches near the southern border of the permafrost zone/ E.M. Makarycheva// Engineering Geology for Society and Territory – Volume 1 Climate Change and Engineering Geology, Springer International Publishing Switzerland, 2015. – p. 331-334.
81. **Lawson, D.E.,** Brown J. Disturbance of permafrost, massive ground ice, and surficial materials // Tundra disturbance and recovery following the 1949 exploratory drilling, Fish Creek, Northern Alaska. Hanover, New Hampshire, 1978, p. 28–78.
82. **Хабибуллин И.Л.,** Лобастов С.А., Хусаинов З.Р., Солдаткин М.В., Бураншина А.Р. Моделирование процесса термокарста // Вестник Башкирского университета. 2007. №1, с. 21-24.
83. **Kallio, A.** 1969. Recession of permafrost in a cultivated soil of interior Alaska/ A. Kallio and S. Rieger//Soil Sci. soc. Am. Proc. 33:430-432.
84. **Liu, L.** Seasonal thaw settlement at drained thermokarst lake basins, Arctic Alaska/ L. Liu, K. Schaefer, A. Gusmeroli, G. Grosse, B. M. Jones, T. Zhang, A. D. Parsekian, and H. A. Zebker // The Cryosphere Discuss., 2013. – 7. – pp. 5793–5822.
85. **Smith, L.C.** Disappearing Arctic Lakes/ L.C. Smith, Y. Sheng, G.M Macdonald, L.D Hinzman // Science, 2005.– V.– 308. –№ 3, –p. 14.
86. **Днепровская В.** Исследование геокриологических изменений термокарста в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири/ В. Днепровская, Ю. Полищук // Oil & Gas J. Russia, 2008. – № 1-2. – с. 94–98.
87. **Брыксина, Н.А.** Изучение динамики изменений термокарстовых форм рельефа с использованием космических снимков/ Н.А. Брыксина, А.В. Евтюшкин, Ю.М. Полищук// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей. – Выпуск 4. – Том II. – М.: ООО «Азбука-2000», 2007. – с.123-129.
88. **Брыксина, Н.А.** Использование радарных космоснимков для анализа сезонных изменений площади термокарстовых озер в зоне вечной мерзлоты западной Сибири/ Н.А. Брыксина, Ю.М. Полищук// В кн.: Обратные задачи и информационные технологии рационального природопользования: материалы IV

научно-практической конференции. – Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008 г. – с. 153-157.

89. **Кирпотин, С.Н.**, Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления/ С.Н., Кирпотин, Ю.М., Полищук, Н.А., Брыксина //– Томск: Вестник ТГУ, 2008 г. – №311, – с. 185–189.

90. **Кравцова, В.И.** Изучение изменений распространения термокарстовых озер России по разновременным космическим снимкам/ В.И. Кравцова, А.Г. Быстрова //– Тюмень: Криосфера Земли, 2009 г. –Т. 15. –№2.– с. 16-26.

91. **Санников, Г.С.** Картометрические исследования термокарстовых озер на территории бованенковского месторождения, полуостров ямал/ Г.С. Санников//– Тюмень: Криосфера Земли, 2012 г. – т. XVI. – № 2. – с. 30–37.

92. **Кравцова, В.И.** Изучение и картографирование динамики термокарстовых озер на территории Западной Сибири по разновременным космическим снимкам/ В.И. Кравцова, Т.В. Тарасенко // Восьмое сибирское совещание по климатозэкологическому мониторингу. Материалы российской конференции 8-10 октября 2009 г. – Томск: «Аграф-Пресс», 2009 г. – с.273-275.

93. **Романовский, Н.Н.** Основы криогенеза литосферы/ Н.Н. Романовский. – М.: Изд-во МГУ, 1993 г. – 335 с.

94. **Макарычева Е.М.,** Капралова В.Н., Сергеев Д.О. Анализ режима водной поверхности термокарстовых озёр в горах Северного Забайкалья // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (ГЕОРИСК-2015), Материалы 9-й Международной научно-практической конференции. 2015. С. 477-483.

95. **Сергеев, Д.О.** Температурный режим многолетнемерзлых толщ и сезонноталого слоя в горах Северного Забайкалья (возобновление стационарных наблюдений)/ Д.О. Сергеев, Ю.А. Ухова, Ю.В. Станиловская, В.Е. Романовский // Тюмень: Криосфера Земли, 2007 г. – т. XI, –№ 2. – с. 19-26.

96. **Макарычева, Е.М.** Оценка динамики развития экзогенных геологических процессов по данным аэровизуальных обследований трубопроводных систем/ Е. М. Макарычева, А. Н. Угаров, Н. С. Малаева// –Москва: Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”, 2013 г.– с. 114-121.
97. **Бурова, В.Н.** Закономерности формирования и оценка опасности переработки берегов водохранилищ: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геог. наук (04.00.07)/ Бурова Валентина Николаевна; Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве.– Москва, 1998 г. – 25 с.
98. **Прохоров, Ю. В.** Математический энциклопедический словарь/ Ю.В. Прохоров// – М.: Изд-во "Советская энциклопедия", 1988 г. – 848с.
99. **Ивашов-Мусатов, О.С.** Теория вероятностей и математическая статистика/ О.С. Ивашов-Мусатов. – М.: ФИМА, 2003 г. 224с.
100. **Макарычева, Е.М.** Анализ распространения термокарстовых явлений вдоль протяженного линейного сооружения с помощью вероятностно-статистического метода/ Е.М. Макарычева, В.П. Мерзляков, О.К. Миронов, Н.А., Бесперстова // Сборник докладов расширенного заседания научного совета по криологии Земли РАН "Актуальные проблемы геокриологии" с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов. — Т. 2. — "КДУ" Университетская книга Москва, 2018 г. — С. 69-76.
101. **Гравис, Г.Ф.** Цикличность термокарста на Приморской низменности в верхнем плейстоцене и голоцене. // Труды 3-ей Международной конференции по мерзлотоведению: тезисы док., Оттава, 1978 г. 282-287 с.
102. **Катасонов, Е.М.** О термокарсте и термокарстовых формах рельефа. Структура и возраст Аласовых осадок в Центральной Якутии/ Е.М. Катасонов. Новосибирск: Наука, 1979 г. – 4-7 с.
103. **Соловьев, П.А.** Геотермическая характеристика аласного термокарстового ландшафта междуречья Лены и Амги/ П.А. Соловьев// Исследование вечной

мерзлоты в Якутской республике. АН СССР, ИНМЕРО. – 1950 г. – Вып.2. – 128-178 с.

104. **Босиков, Н.П.** Ритмы увлажнения территории и озерный термокарст в центральной Якутии/ Н.П. Босиков // Междунар. конф. “Криогенные ресурсы полярных регионов”: Материалы. – Салехард, 2007г. – т. 1. – с. 259–262.

105. **Fedorov, A.N.** Recent Changes in Ground Temperature and the Effect on Permafrost Landscapes in Central Yakutia/ A.N. Fedorov, P.Y Konstantinov// NICOP 2008, Ninth International Conference on Permafrost, 2008 –1. – pp. 433-438.

106. **Калабин, А.И.** Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР/ А.И. Калабин // Труды ВНИИ-1. Магадан: Изд-во ВНИИ-1, 1960 г. – Т. 18. –471 с.

107. **Толстихин, О.Н.** Наледи Северо-Востока СССР: Автореферат на соискание ученой степени доктора геол.-минералогич. наук. – Иркутск, 1970 г. – 48 с.

108. **Попов, А.И.** Происхождение и развитие мощного ископаемого льда/ А.И. Попов// В сб. «Мат-лы к основам учения о мерзлых зонах земной коры». – вып. II. – Москва: Изд-во АН СССР, 1955 г. – с.5-24

109. **Попов, А.И.** Палеогеография плейстоцена Большеземельской тундры/ А.И. Попов. – Москва: Вестник МГУ, 1961 г. – серия V. – география. – 41-47 с.

110. **Герасимов, И.П.** Основные принципы и задачи морфоструктурного анализа/ И.П. Герасимов// В кн. «Применение геоморфологических методов в структурно-геологических исследованиях».–М.: «Недра», 1970 г. – с. 5–12

111. **Баулин, В.В.** Влияние тектоники на мерзлотные процессы/ В.В. Баулин// Отдельный оттиск из Известий Академии наук СССР. – Серия географическая. – № 6. – М.: Наука, 1970 г. с.75-79.

112. **Острый, Г.Б.** Особенности залегания и формирования многолетнемерзлых пород в связи с геологическим строением территории (на примере приенисейской части Западно-Сибирской низменности)/ Тр. Ин-та мерзловедения, т.19, 1962 г.

113. **Андреев, Ю.Ф.** Многолетняя мерзлота и ее значение для поисков структур на севере Западной Сибири/ Ю.Ф. Андреев// Очерки по геологии севера Западно-Сибирской низменности. – Л., Гостоптехиздат, 1960г. – с. 191-218.

114. **Ласточкин, А.Н.** Роль неотектоники в распределении и морфологии озер севера Западно-Сибирской равнины/ А.Н. Ласточкин // Изв. АН СССР. Сер. геогр. № 5, 1969. – с. 79–86.
115. **Baulin, V.V.** Moshchnost' merzlykh tolshch kak odin iz pokazatelie tektonicheskogo stroeniya raiona/ V.V. Baulin// (Thickness of permafrost as an indicator of the tectonic structure of the region) Geologiya i geofizika. –No. 1. – pp. 53-61, 1966.
116. **Baulin, V.V.** Vliyanie tektoniki na mnogoletnemerzlye protsessy/ V.V. Baulin (The influence of tectonics on permafrost processes). - Izv. AN SSSR Ser. Geogr.– No. 6. – pp. 75-79, 1970.
117. **Baulin, V.V.** Novye dannye o stroenii mnogoletnemerzlykh porod v nizov'yakh r. Vilyui/ V.V. Baulin, A.E. Shutkin and N.S. Danilova (New data on the structure of permafrost in the lower reaches of the Vilyui River). Izv. AN SSSR, Ser. Geogr. –No. 1. – pp. 75-82, 1970.
118. **Belopukhova, E.E.** Osobennosti mnogoletnego pucheniya v predelakh tektonicheskikh podnyatii na severe Zapadnoi Sibiri/ E.E. Belopukhova, (Peculiarities of perennial frost heave within the limits of the tectonic uplifts in the north of Western Siberia). Trudy PNIIS. – Vol. XI. – M., pp. 127-131, 1971.
119. **Belopukhova, E.B.** Osobennosti formirovaniya mnogoletnemerzlykh porod doliny rek Pravoi Khetty i Fladyma/ E.B. Belopukhova and N.S. Danilova. (Peculiarities in the formation of permafrost in the valleys of the Pravaya Khetta and Nadyn Rivers) . Trudy PNJIS. –No. 29. – M., Stroizdat, pp. 103-110, 1974.
120. **Чочиа, Н.Г.** Палеогеография позднего кайнозоя восточной Европы и западной Сибири (ледниковая и ледово-морская концепции) / Н.Г. Чочиа, С.П. Евдокимов// под. общ. ред. Н.Г. Чочиа. – Саранск: изд-во мордов. УН-ТА, 1993 г. –248 с.
121. **Фельдман, Г.М.** Термокарст и вечная мерзлота/ Г.М. Фельдман. – Новосибирск: Наука, 1984 г. – 253 с.

122. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. Масштаб: 1:2500000, 6 листов. Главный редактор: Ю.А. Мещеряков/ Комиссия по современным движениям Земной коры, подкомиссия по карте Восточной Европы, Главное Управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Москва, 1973.
123. **Мещеряков, Ю.А.** Изучение современных движений земной коры и проблема прогноза землетрясений/ Ю.А. Мещеряков// В кн.: Современные движения земной коры. – М.: ВИНТИ, 1968г.– № 3. – с. 44-62.
124. **Шац, М.М.** Основы комплексной (гидрогеологической, инженерно-геологической, геокриологической и геоэкологической) съемки северных территорий/ М.М. Шац// Учебное пособие. – Якутск: Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 2003 г. – 90 с.
125. **Тумель, В.Ф.** О мерзлотной съемке/ В.Ф. Тумель// Изв. АН СССР. – Сер.геогр. и гео-физ., 1945г. – Т.9. – №2. – С. 135-144.
126. **Кудрявцев, В.А.** О термокарсте/ В.А. Кудрявцев// Вопр. физ. геогр. поляр. стран, вып.1, 1958г.
127. **Кондратьева, К.А.** О роли геоботанической съемки при мелкомасштабных мерзлотных исследованиях (на примере Алданского района)/В.А. Кондратьев, Т.В. Курнишкова // Мерзлотные исследования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964г. – Вып. IV. –С. 255-272.
128. **Мельников, Е.С.** Методологические основы эколого-геологического картографирования/ Е.С. Мельников// Методы инженерно-геокриологической съемки. – М., 1990г. –С.6-11
129. **Мельников, Е.С.** Ландшафтные индикаторы инженерно-геологических условий и вопросы их использования при картировании в криолитозоне. Бюлл/ Е.С. Мельников, Л.Н. Тагунова, Л.И. Вейсман. – М.: ОНТИ ВИЭМС, 1966г. – Вып. 1. – С. 5257.
130. **Мельников, Е.С.** Ландшафтные индикаторы инженерно-геологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки/ Е.С. Мельников, Л.И. Вейсман, Л.Н. Крицук и др. – М.: Недра, 1974г. –132 с.

131. **Медведков, А.А.** Индикация состояния мерзлотно-таежных ландшафтов на южной периферии криолитозоны в условиях изменяющегося климата/ Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки, 2008, №1. - 18-26 с.
132. **Tyrtikov, A. P.** *Mnogoletnemerzlyye porodyii rastitelhost* [Perennially frozen ground and vegetation], p. 399421. In P. 1.: Shvetsov led.] *Osnovy geokriologii* [Principles of geocryology]. Vol. I. Academy of Sciences of the USSR, Moscow. (Translated into English by the National Research Council of Canada, Ottawa, as National Research Council Technical Translation 11 63, 34 p., mimeo.) – 1959.
133. **Benninghoff, W. S.** Interaction of vegetation and soil frost phenomena/ *Arctic* 5:3444. 2./ Benninghoff, W. S. //Relationships between vegetation and frost in soils. p. 9-12. In *Permafrost: Proceedings of an International conference*. National Academy of Sciences, Washington, D.C, 1966.
134. **Brown, J.**, 1969. The effect of disturbance on permafrost terrain, Special Report #138/ J. Brown, W. Rickard, and D. Victor// *Cold Regions Research and Engineering Laboratory*, Hanover, New Hampshire, 13 p. 6.
135. **Brown, R. J. E.** Influence of vegetation on permafrost, In *Permafrost: Proceedings of an international conference*/ R. J. E Brown// National Academy of Sciences, Washington, D.C. 7. –1965. – p. 20-25.
136. **Brown, R. J. E.** Permafrost as an ecological factor in the subarctic/ R. J. E Brown//In *Ecology of subarctic regions*. Proceedings of the Helsinki Symposium (Ecology and Conservation No. 1). UNESCO Paris. –1970. –, p. 129-140.
137. **Романовский, Н.Н.** Оценка влияния климатических изменений на поверхностный сток с помощью моделирования теплового взаимодействия многолетнемерзлых пород и подземных вод (на примере верхней части водосборного бассейна р. Лена)/ Н.Н. Романовский, С.Н. Булдович, Г.С. Типенко, Д.О. Сергеев, М.В. Касымская, А.В. Гаврилов // *Криосфера Земли*. – 2009 г. – Том XIII, № 1. –55–64 с.
138. **Цытович, Н.А.** *Механика мерзлых грунтов*/ Н.А. Цытович. Москва: Издательство Высшая школа, 1973 г. – 447 с.

139. **Grave, N.A.** Okhrana prirodnoi sredy na severe Kanady. (Protection of the environment in the Canadian North)/ N.A. Grave// In the book: Okhrana okryzhayushchei sredy v oblasti rasprostraneniya mnogoletne-merzlykh porod. (Protection of the environment in areas where permafrost is found). MOSCOW: "Nauka" (at press), 1978.
140. **Sukhodrovskii, V.L.** Ekzogennye protsessy rel'efoobrazovaniya na severe Zapadnoi Sibiri. (Exogenous processes of relief formation in the eastern Siberian North)/ V.L. Sukhodrovskii// In the book: Geokriologicheskie i gidrogeologicheskie issledovaniya Sibiri. (Geocryological and hydrogeological studies of Siberia). – Yakutsk, pp. 53-64, 1972.
141. **Sukhodrovskii, V.L.** Kriogenno-flyuvial'nyi rel'ef Kolymskoi nizmennosti v svete novykh dannykh. (Cryogenofluvial relief of the Kolyma lowland in the light of new data)/ V.L. Sukhodrovskii //In the book: Regional'nye i teplofizicheskie issledovaniya merzlykh gornykh porod v Sibiri, (Regional and thermophysical studies of frozen soils in Siberia). –Yakutsk, pp. 26-37, 1976.
142. **Перльштейн Г.З.** О механизме отепляющего влияния мелких водоемов на температуру подстилающих пород // Тез. докл. международной конф. «криосфера Земли как среда жизнеобеспечения» Научный Совет по криологии Земли РАН, Пущино, 2003.
143. **Агапов, Г.И.** Задачник по теории вероятностей/ Г.И. Агапов. – М.: Высшая школа, 1994. – 112с.
144. **Chaddock, R. E.** Principles and methods of statistics/ R. E. Chaddock// Boston, New York, [etc.]. – 1925. –471 p., illus.
145. Определение температурного поля вокруг трубопровода и прогнозирование планово-высотного положения трубопровода на участках с многолетнемерзлыми грунтами: Технический отчет по технологической работе. ООО «ЦИЭКС», 2012.
146. Обследование участков трубопроводов и объектов трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ТС ВСТО-1) тема «Обустройство термоскважин и определение температурного поля вокруг трубопровода на

опасных участках трассы ВСТО-1 с многолетнемерзлыми грунтами»: Технический отчет по технологической работе. ИГЭ РАН, 2010.

147. **Макарычева, Е.М.** Экспериментальные исследования ореола оттаивания для верификации и калибровки прогнозных математических моделей/ Е.М. Макарычева, В.И. Ларионов, П.А. Новиков// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Естественные науки", МГТУ им. Н.Э. Баумана, Спец. выпуск «Математическое моделирование», 2013 г. – с. 109-116.

148. **Novikov, P.** Model of Permafrost Thaw Halo Formation Around a Pipeline/ P. Novikov, E. Makarycheva, and V. Larionov// Engineering Geology for Society and Territory – Volume 6, Springer International Publishing Switzerland, 2015. – p. 405-408.

149.

Приложение А

Таблица А.1 - Пример таблицы с характеристикой участков трассы по типам местности и наличию термокарстовых явлений

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
606	0	1	0	0
607	0	2	0	0
608	0	1	0	0
609	0	1	0	0
610	0	1	0	0
611	0	1	0	0
612	0	1	0	0
613	0	1	0	0
614	0	1	0	0
615	1	1	0	0
616	1	1	0	0
617	1	2	0	0
618	0	1	0	0
619	0	1	0	0
620	0	1	0	0
621	0	2	0	0
622	2	2	0	0
623	0	1	0	0
624	0	1	0	0
625	0	1	0	0
626	0	1	0	0
627	0	1	0	0
628	0	1	0	0
629	0	1	0	0
630	0	1	0	0
631	0	1	0	0
632	0	1	0	0
633	0	1	0	0
634	0	1	0	0
635	0	1	0	0
636	0	1	0	0
637	0	1	0	0
638	0	1	0	0
639	0	1	0	0
640	0	1	0	0
641	0	1	0	0
642	0	1	0	0
643	0	1	0	0
644	0	1	0	0
645	0	1	0	0
646	0	1	0	0
647	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
648	0	1	0	0

Продолжение таблицы А.1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
649	0	1	0	0
650	0	1	0	0
651	0	1	0	0
652	0	1	0	0
653	0	1	0	0
654	0	1	0	0
655	0	1	0	0
656	0	1	0	0
657	0	1	0	0
658	0	2	0	0
659	0	2	0	0
660	0	1	0	0
661	0	1	0	0
662	0	1	0	0
663	0	1	0	0
664	0	1	0	0
665	0	1	0	0
666	1	1	0	0
667	2	1	0	0
668	1	1	0	0
669	0	1	0	0
670	1	1	0	0
671	2	1	0	0
672	1	1	0	0
673	0	1	0	0
674	0	1	0	0
675	0	1	0	0
676	0	1	0	0
677	0	1	0	0
678	0	1	0	0
679	0	1	0	0
680	0	1	0	0
681	1	1	0	0
682	1	1	0	0
683	2	1	0	0
684	1	1	0	0
685	2	1	0	0
686	2	1	0	0
687	2	1	0	0
688	1	1	0	0
689	0	1	0	0
690	1	2	0	0
691	1	1	0	0
692	0	1	0	0
693	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
694	0	1	0	0
695	0	1	0	0
696	0	1	0	0
697	0	1	0	0
698	0	1	0	0
699	0	1	0	0
700	0	1	0	0
701	0	1	0	0
702	0	1	0	0
703	0	1	0	0
704	0	1	0	0
705	0	1	0	0
706	0	1	0	0
707	0	1	0	0
708	0	1	0	0
709	0	1	0	0
710	0	1	0	0
711	2	2	0	0
712	1	1	0	0
713	0	1	0	0
714	0	1	0	0
715	0	1	0	0
716	0	1	0	0
717	0	1	0	0
718	0	1	0	0
719	0	1	0	0
720	1	1	0	0
721	1	1	0	0
722	0	1	0	0
723	0	1	0	0
724	0	1	0	0
725	0	1	0	0
726	0	1	0	0
727	1	1	0	0
728	1	1	0	0
729	1	1	0	0
730	0	1	0	0
731	0	1	0	0
732	0	1	0	0
733	0	1	0	0
734	0	1	0	0
735	0	1	0	0
736	0	1	0	0
737	0	1	0	0
738	0	1	0	0
739	0	1	0	0
740	0	1	0	0
741	0	1	0	0
742	0	1	0	0
743	0	1	0	0
744	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
745	0	1	0	0
746	0	1	0	0
747	0	1	0	0
748	0	1	0	0
749	0	1	0	0
750	0	1	0	0
751	0	1	0	0
752	0	1	0	0
753	0	1	0	0
754	0	1	0	0
755	0	1	0	0
756	0	1	0	0
757	0	1	0	0
758	0	1	0	0
759	0	2	0	0
760	0	1	0	0
761	0	1	0	0
762	0	1	0	0
763	0	1	0	0
764	0	1	0	0
765	0	1	0	0
766	1	1	0	0
767	1	1	0	0
768	1	1	0	0
769	1	1	0	0
770	1	1	0	0
771	1	1	0	0
772	1	1	0	0
773	1	1	0	0
774	0	1	0	0
775	0	1	0	0
776	0	1	0	0
777	0	1	0	0
778	0	1	0	0
779	0	1	0	0
780	0	1	0	0
781	0	1	0	0
782	0	1	0	0
783	0	1	0	0
784	0	1	0	0
785	0	1	0	0
786	0	2	0	0
787	0	1	0	0
788	0	1	0	0
789	1	1	0	0
790	1	1	0	0
791	1	1	0	0
792	1	1	0	0
793	1	1	0	0
794	1	1	0	0
795	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
796	1	1	0	0
797	0	1	0	0
798	0	1	0	0
799	0	1	0	0
800	0	1	0	0
801	0	1	0	0
802	0	1	0	0
803	0	1	0	0
804	0	1	0	0
805	0	1	0	0
806	0	1	0	0
807	0	1	0	0
808	0	1	0	0
809	0	1	0	0
810	0	1	0	0
811	0	1	0	0
812	0	1	0	0
813	1	1	0	0
814	1	1	0	0
815	0	1	0	0
816	0	1	0	0
817	0	1	0	0
818	0	1	0	0
819	0	1	0	0
820	0	1	0	0
821	0	1	0	0
822	0	1	0	0
823	0	1	0	0
824	0	1	0	0
825	0	1	0	0
826	0	1	0	0
827	0	1	0	0
828	0	1	0	0
829	0	1	0	0
830	0	1	0	0
831	0	1	0	0
832	0	2	0	0
833	0	1	0	0
834	0	1	0	0
835	0	1	0	0
836	0	1	0	0
837	0	1	0	0
838	0	1	0	0
839	0	1	0	0
840	0	1	0	0
841	0	1	0	0
842	0	1	0	0
843	0	1	0	0
844	0	1	0	0
845	0	1	0	0
846	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
847	0	1	0	0
848	0	1	0	0
849	0	1	0	0
850	0	1	0	0
851	1	1	0	0
852	2	1	0	0
853	2	1	0	0
854	0	1	0	0
855	0	1	0	0
856	0	1	0	0
857	0	1	0	0
858	0	1	0	0
859	0	1	0	0
860	0	1	0	0
861	0	1	0	0
862	0	1	0	0
863	0	1	0	0
864	1	1	0	0
865	0	1	0	0
866	1	1	0	0
867	1	1	0	0
868	1	1	0	0
869	0	1	0	0
870	0	1	0	0
871	0	1	0	0
872	0	1	0	0
873	0	1	0	0
874	0	1	0	0
875	0	1	0	0
876	0	1	0	0
877	0	1	0	0
878	0	1	0	0
879	0	1	0	0
880	0	1	0	0
881	0	1	0	0
882	0	1	0	0
883	0	1	0	0
884	0	1	0	0
885	0	1	0	0
886	1	1	0	0
887	1	1	0	0
888	1	1	0	0
889	0	1	0	0
890	0	1	0	0
891	0	1	0	0
892	0	1	0	0
893	0	1	0	0
894	0	1	0	0
895	0	1	0	0
896	0	1	0	0
897	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
898	0	1	0	0
899	0	1	0	0
900	0	1	0	0
901	0	1	0	0
902	0	1	0	0
903	1	1	0	0
904	1	1	0	0
905	0	1	0	0
906	0	1	0	0
907	0	1	0	0
908	0	1	0	0
909	0	1	0	0
910	0	1	0	0
911	0	1	0	0
912	0	1	0	0
913	0	1	0	0
914	0	1	0	0
915	0	1	0	0
916	0	1	0	0
917	0	1	0	0
918	0	1	0	0
919	0	1	0	0
920	0	1	0	0
921	1	1	0	0
922	1	1	0	0
923	1	1	0	0
924	1	1	0	0
925	1	1	0	0
926	1	1	0	0
927	0	1	0	0
928	0	1	0	0
929	2	1	0	0
930	2	1	0	0
931	1	1	0	0
932	0	1	0	0
933	0	1	0	0
934	0	1	0	0
935	0	1	0	0
936	0	1	0	0
937	0	1	0	0
938	0	1	0	0
939	0	1	0	0
940	0	1	0	0
941	0	1	0	0
942	0	1	0	0
943	0	1	0	0
944	0	1	0	0
945	0	1	0	0
946	0	1	0	0
947	0	1	0	0
948	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
949	0	1	0	0
950	0	1	0	0
951	0	1	0	0
952	0	1	0	0
953	0	1	0	0
954	0	1	0	0
955	0	1	0	0
956	0	1	0	0
957	0	1	0	0
958	0	1	0	0
959	0	1	0	0
960	0	1	0	0
961	0	1	0	0
962	0	1	0	0
963	0	1	0	0
964	0	1	0	0
965	0	1	0	0
966	0	1	0	0
967	0	1	0	0
968	0	1	0	0
969	0	1	0	0
970	1	1	0	0
971	1	1	0	0
972	1	1	0	0
973	0	1	0	0
974	0	1	0	0
975	0	1	0	0
976	0	1	0	0
977	0	1	0	0
978	0	1	0	0
979	0	1	0	0
980	0	1	0	0
981	0	1	0	0
982	0	1	0	0
983	0	1	0	0
984	0	1	0	0
985	0	1	0	0
986	0	1	0	0
987	0	1	0	0
988	0	1	0	0
989	0	1	0	0
990	1	1	0	0
991	1	1	0	0
992	1	1	0	0
993	0	1	0	0
994	0	1	0	0
995	0	1	0	0
996	0	1	0	0
997	0	1	0	0
998	0	1	0	0
999	2	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1000	2	1	0	0
1001	2	1	0	0
1002	2	1	0	0
1003	2	1	0	0
1004	2	1	0	0
1005	2	1	0	0
1006	2	2	0	0
1007	2	2	0	0
1008	0	1	0	0
1009	0	2	0	0
1010	0	2	0	0
1011	0	1	0	0
1012	0	1	0	0
1013	0	1	0	0
1014	0	1	0	0
1015	0	1	0	0
1016	0	1	0	0
1017	0	1	0	0
1018	0	1	0	0
1019	0	1	0	0
1020	0	1	0	0
1021	0	1	0	0
1022	0	1	0	0
1023	0	1	0	0
1024	0	1	0	0
1025	0	1	0	0
1026	0	1	0	0
1027	0	1	0	0
1028	0	1	0	0
1029	0	1	0	0
1030	1	1	0	0
1031	1	1	0	0
1032	1	1	0	0
1033	1	1	0	0
1034	1	1	0	0
1035	1	1	0	0
1036	1	1	0	0
1037	1	1	0	0
1038	2	2	0	0
1039	2	1	0	0
1040	1	1	0	0
1041	1	1	0	0
1042	1	1	0	0
1043	1	1	0	0
1044	2	1	0	0
1045	2	1	0	0
1046	2	1	0	0
1047	2	1	0	0
1048	2	1	0	0
1049	2	2	0	0
1050	2	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1051	2	1	0	0
1052	1	2	0	0
1053	2	1	0	0
1054	2	1	0	0
1055	1	1	0	0
1056	1	1	0	0
1057	1	1	0	0
1058	1	1	0	0
1059	1	1	0	0
1060	1	1	0	0
1061	2	2	0	0
1062	1	1	0	0
1063	0	1	0	0
1064	0	1	0	0
1065	1	1	0	0
1066	1	1	0	0
1067	1	1	0	0
1068	1	1	0	0
1069	1	1	0	0
1070	1	1	0	0
1071	1	1	0	0
1072	2	1	0	0
1073	1	1	0	0
1074	2	2	0	0
1075	2	1	0	0
1076	2	1	0	0
1077	2	2	0	0
1078	1	1	0	0
1079	0	1	0	0
1080	1	1	0	0
1081	1	1	0	0
1082	0	1	0	0
1083	0	2	0	0
1084	2	2	0	0
1085	2	2	0	0
1086	2	1	0	0
1087	2	1	0	0
1088	2	1	0	0
1089	1	1	0	0
1090	1	1	0	0
1091	1	1	0	0
1092	1	1	0	0
1093	0	1	0	0
1094	0	1	0	0
1095	0	1	0	0
1096	0	1	0	0
1097	0	1	0	0
1098	0	1	0	0
1099	0	1	0	0
1100	1	1	0	0
1101	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1102	1	1	0	0
1103	1	1	0	0
1104	2	2	0	0
1105	0	1	0	0
1106	0	1	0	0
1107	0	1	0	0
1108	2	1	0	0
1109	2	1	0	0
1110	0	1	0	0
1111	0	1	0	0
1112	0	1	0	0
1113	0	1	0	0
1114	0	1	0	0
1115	1	1	0	0
1116	2	1	0	0
1117	2	2	0	0
1118	2	1	0	0
1119	1	1	0	0
1120	0	1	0	0
1121	0	1	0	0
1122	0	1	0	0
1123	0	1	0	0
1124	0	1	0	0
1125	0	1	0	0
1126	0	1	0	0
1127	0	1	0	0
1128	0	1	0	0
1129	1	1	0	0
1130	2	1	0	0
1131	2	1	0	0
1132	1	2	0	0
1133	2	1	0	0
1134	2	1	0	0
1135	2	2	0	0
1136	2	2	0	0
1137	2	2	0	0
1138	0	2	0	0
1139	1	2	0	0
1140	1	1	0	0
1141	1	1	0	0
1142	1	1	0	0
1143	0	1	0	0
1144	0	1	0	0
1145	0	1	0	0
1146	1	1	0	0
1147	1	1	0	0
1148	1	1	0	0
1149	2	1	0	0
1150	2	1	0	0
1151	2	1	0	0
1152	2	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1153	2	1	0	0
1154	1	1	0	0
1155	1	1	0	0
1156	2	2	0	0
1157	2	1	0	0
1158	2	1	0	0
1159	0	1	0	0
1160	0	1	0	0
1161	1	1	0	0
1162	1	1	0	0
1163	2	1	0	0
1164	2	2	0	0
1165	2	2	0	0
1166	1	1	0	0
1167	1	1	0	0
1168	1	1	0	0
1169	1	1	0	0
1170	1	1	0	0
1171	1	1	0	0
1172	1	1	0	0
1173	0	1	0	0
1174	0	1	0	0
1175	0	1	0	0
1176	0	1	0	0
1177	0	1	0	0
1178	0	1	0	0
1179	0	1	0	0
1180	0	1	0	0
1181	1	1	0	0
1182	1	1	0	0
1183	0	2	0	0
1184	0	1	0	0
1185	0	1	0	0
1186	0	1	0	0
1187	0	1	0	0
1188	0	1	0	0
1189	0	1	0	0
1190	0	1	0	0
1191	0	1	0	0
1192	0	1	0	0
1193	0	1	0	0
1194	0	1	0	0
1195	0	1	0	0
1196	0	1	0	0
1197	0	1	0	0
1198	0	1	0	0
1199	0	1	0	0
1200	0	1	0	0
1201	0	1	0	0
1202	0	1	0	0
1203	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1204	0	1	0	0
1205	0	1	0	0
1206	0	1	0	0
1207	0	1	0	0
1208	1	1	0	0
1209	1	1	0	0
1210	1	1	0	0
1211	2	1	0	0
1212	1	1	0	0
1213	0	1	0	0
1214	0	1	0	0
1215	0	1	0	0
1216	0	1	0	0
1217	0	1	0	0
1218	0	1	0	0
1219	0	1	0	0
1220	0	1	0	0
1221	0	1	0	0
1222	0	1	0	0
1223	0	1	0	0
1224	0	1	0	0
1225	0	1	0	0
1226	0	1	0	0
1227	0	1	0	0
1228	0	1	0	0
1229	1	1	0	0
1230	1	1	0	0
1231	0	1	0	0
1232	1	1	0	0
1233	1	1	0	0
1234	1	1	0	0
1235	1	1	0	0
1236	1	1	0	0
1237	1	1	0	0
1238	1	1	0	0
1239	0	1	0	0
1240	0	1	0	0
1241	0	1	0	0
1242	0	1	0	0
1243	0	1	0	0
1244	0	1	0	0
1245	0	1	0	0
1246	0	1	0	0
1247	0	1	0	0
1248	0	1	0	0
1249	1	1	0	0
1250	1	1	0	0
1251	1	1	0	0
1252	1	1	0	0
1253	1	1	0	0
1254	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1255	1	1	0	0
1256	0	1	0	0
1257	0	1	0	0
1258	0	1	0	0
1259	0	1	0	0
1260	0	1	0	0
1261	1	1	0	0
1262	1	1	0	0
1263	1	1	0	0
1264	1	1	0	0
1265	1	1	0	0
1266	0	1	0	0
1267	0	1	0	0
1268	0	1	0	0
1269	0	1	0	0
1270	0	1	0	0
1271	0	1	0	0
1272	0	1	0	0
1273	0	1	0	0
1274	0	1	0	0
1275	0	1	0	0
1276	0	1	0	0
1277	0	1	0	0
1278	0	1	0	0
1279	0	1	0	0
1280	0	1	0	0
1281	0	1	0	0
1282	0	1	0	0
1283	0	1	0	0
1284	0	1	0	0
1285	0	1	0	0
1286	0	1	0	0
1287	0	1	0	0
1288	0	1	0	0
1289	0	1	0	0
1290	0	1	0	0
1291	0	1	0	0
1292	1	1	0	0
1293	1	1	0	0
1294	1	1	0	0
1295	1	1	0	0
1296	1	1	0	0
1297	1	1	0	0
1298	1	1	0	0
1299	1	1	0	0
1300	1	1	0	0
1301	1	1	0	0
1302	1	1	0	0
1303	1	1	0	0
1304	1	1	0	0
1305	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1306	1	1	0	0
1307	1	1	0	0
1308	1	1	0	0
1309	1	1	0	0
1310	1	1	0	0
1311	0	1	0	0
1312	0	1	0	0
1313	1	1	0	0
1314	1	1	0	0
1315	1	1	0	0
1316	0	1	0	0
1317	1	1	0	0
1318	1	1	0	0
1319	0	1	0	0
1320	1	1	0	0
1321	0	1	0	0
1322	0	1	0	0
1323	1	1	0	0
1324	1	1	0	0
1325	1	1	0	0
1326	1	1	0	0
1327	1	1	0	0
1328	1	1	0	0
1329	1	1	0	0
1330	1	1	0	0
1331	1	1	0	0
1332	1	1	0	0
1333	1	1	0	0
1334	1	1	0	0
1335	1	1	0	0
1336	1	1	0	0
1337	1	1	0	0
1338	1	1	0	0
1339	1	1	0	0
1340	1	1	0	0
1341	1	1	0	0
1342	1	1	0	0
1343	1	1	0	0
1344	1	1	0	0
1345	1	1	0	0
1346	1	1	0	0
1347	1	1	0	0
1348	1	1	0	0
1349	1	1	0	0
1350	1	1	0	0
1351	0	1	0	0
1352	0	1	0	0
1353	0	1	0	0
1354	0	1	0	0
1355	0	1	0	0
1356	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1357	0	1	0	0
1358	0	1	0	0
1359	0	1	0	0
1360	0	1	0	0
1361	0	1	0	0
1362	0	1	0	0
1363	0	1	0	0
1364	0	1	0	0
1365	0	1	0	0
1366	0	1	0	0
1367	0	1	0	0
1368	0	1	0	0
1369	0	1	0	0
1370	0	1	0	0
1371	0	1	0	0
1372	1	1	0	0
1373	1	1	0	0
1374	1	1	0	0
1375	1	1	0	0
1376	1	1	0	0
1377	0	1	0	0
1378	1	1	0	0
1379	0	1	0	0
1380	1	1	0	0
1381	1	1	0	0
1382	1	1	0	0
1383	1	1	0	0
1384	1	1	0	0
1385	1	1	0	0
1386	1	1	0	0
1387	1	1	0	0
1388	0	1	0	0
1389	0	1	0	0
1390	0	1	0	0
1391	0	1	0	0
1392	0	1	0	0
1393	0	1	0	0
1394	1	1	0	0
1395	1	1	0	0
1396	1	1	0	0
1397	0	1	0	0
1398	0	1	0	0
1399	0	1	0	0
1400	0	1	0	0
1401	0	1	0	0
1402	0	1	0	0
1403	0	1	0	0
1404	0	1	0	0
1405	1	1	0	0
1406	1	1	0	0
1407	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1408	1	1	0	0
1409	0	1	0	0
1410	0	1	0	0
1411	1	1	0	0
1412	0	1	0	0
1413	0	1	0	0
1414	0	1	0	0
1415	0	1	0	0
1416	0	1	0	0
1417	0	1	0	0
1418	0	1	0	0
1419	0	1	0	0
1420	0	1	0	0
1421	0	1	0	0
1422	0	1	0	0
1423	0	1	0	0
1424	0	1	0	0
1425	1	1	0	0
1426	1	2	0	0
1427	1	1	0	0
1428	0	1	0	0
1429	0	2	0	0
1430	0	1	0	0
1431	0	2	0	0
1432	0	2	0	0
1433	0	1	0	0
1434	1	1	0	0
1435	1	1	0	0
1436	1	1	0	0
1437	0	1	0	0
1438	0	1	0	0
1439	0	1	0	0
1440	0	1	0	0
1441	0	1	0	0
1442	1	1	0	0
1443	1	1	0	0
1444	0	1	0	0
1445	0	1	0	0
1446	0	2	0	0
1447	2	2	0	0
1448	1	2	0	0
1449	0	1	0	0
1450	0	1	0	0
1451	0	1	0	0
1452	0	1	0	0
1453	0	1	0	0
1454	0	1	0	0
1455	0	1	0	0
1456	0	1	0	0
1457	0	1	0	0
1458	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1459	0	1	0	0
1460	0	1	0	0
1461	0	1	0	0
1462	0	1	0	0
1463	0	1	0	0
1464	0	1	0	0
1465	0	1	0	0
1466	0	1	0	0
1467	1	1	0	0
1468	2	2	0	0
1469	2	1	0	0
1470	0	1	0	0
1471	0	1	0	0
1472	0	1	0	0
1473	0	1	0	0
1474	0	1	0	0
1475	1	1	0	0
1476	1	1	0	0
1477	0	1	0	0
1478	1	1	0	0
1479	1	1	0	0
1480	1	1	0	0
1481	1	1	0	0
1482	2	1	0	0
1483	1	2	0	0
1484	1	2	0	0
1485	0	1	0	0
1486	1	1	0	0
1487	0	1	0	0
1488	0	1	0	0
1489	0	1	0	0
1490	0	1	0	0
1491	1	1	0	0
1492	1	1	0	0
1493	1	2	0	0
1494	1	1	0	0
1495	0	1	0	0
1496	0	1	0	0
1497	0	1	0	0
1498	0	1	0	0
1499	0	1	0	0
1500	0	1	0	0
1501	1	1	0	0
1502	1	1	0	0
1503	1	1	0	0
1504	1	1	0	0
1505	0	1	0	0
1506	0	2	0	0
1507	1	2	0	0
1508	0	1	0	0
1509	0	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1510	0	2	0	0
1511	0	2	0	0
1512	0	1	0	0
1513	0	1	0	0
1514	0	1	0	0
1515	0	1	0	0
1516	1	1	0	0
1517	0	2	0	0
1518	0	1	0	0
1519	1	2	0	0
1520	1	1	0	0
1521	0	1	0	0
1522	0	2	0	0
1523	0	1	0	0
1524	1	1	0	0
1525	1	1	0	0
1526	0	2	0	0
1527	1	2	0	0
1528	2	2	0	0
1529	1	2	0	0
1530	0	2	0	0
1531	0	1	0	0
1532	1	2	0	0
1533	2	2	0	0
1534	2	1	0	0
1535	2	2	0	0
1536	1	2	0	0
1537	1	2	0	0
1538	0	2	0	0
1539	0	2	0	0
1540	0	2	0	0
1541	1	1	0	0
1542	1	2	0	0
1543	1	2	0	0
1544	1	2	0	0
1545	1	1	0	0
1546	1	1	0	0
1547	1	2	0	0
1548	0	1	0	0
1549	0	2	0	0
1550	0	2	0	0
1551	1	1	0	0
1552	1	1	0	0
1553	0	1	0	0
1554	0	2	0	0
1555	0	1	0	0
1556	0	2	0	0
1557	0	1	0	0
1558	0	1	0	0
1559	0	2	0	0
1560	0	2	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1561	0	1	0	0
1562	1	1	0	0
1563	1	1	0	0
1564	1	2	0	0
1565	1	1	0	0
1566	0	2	0	0
1567	0	2	0	0
1568	1	2	0	0
1569	0	2	0	0
1570	0	2	0	0
1571	1	2	0	0
1572	1	2	0	0
1573	1	2	0	0
1574	1	2	0	0
1575	0	2	0	0
1576	0	2	0	0
1577	0	2	0	0
1578	0	2	0	0
1579	0	2	0	0
1580	1	2	0	0
1581	1	1	0	0
1582	0	1	0	0
1583	0	1	0	0
1584	0	2	0	0
1585	0	1	0	0
1586	0	1	0	0
1587	1	1	0	0
1588	1	2	0	0
1589	1	2	0	0
1590	2	2	0	0
1591	1	1	0	0
1592	1	2	0	0
1593	2	2	0	0
1594	2	2	0	0
1595	2	2	0	0
1596	1	1	0	0
1597	1	1	0	0
1598	1	1	0	0
1599	1	1	0	0
1600	1	1	0	0
1601	1	1	0	0
1602	1	2	0	0
1603	1	1	0	0
1604	1	1	0	0
1605	1	1	0	0
1606	1	1	0	0
1607	2	2	0	0
1608	1	1	0	0
1609	1	1	0	0
1610	2	1	0	0
1611	2	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1612	1	1	0	0
1613	2	2	0	0
1614	2	1	0	0
1615	1	1	0	0
1616	1	1	0	0
1617	1	1	0	0
1618	0	1	0	0
1619	2	2	0	0
1620	2	2	0	0
1621	1	1	0	0
1622	1	1	0	0
1623	1	1	0	0
1624	1	2	0	0
1625	0	1	0	0
1626	0	1	0	0
1627	0	1	0	0
1628	0	1	0	0
1629	1	1	0	0
1630	1	1	0	0
1631	1	1	0	0
1632	0	1	0	0
1633	0	1	0	0
1634	0	1	0	0
1635	0	1	0	0
1636	1	1	0	0
1637	1	1	0	0
1638	1	1	0	0
1639	0	1	0	0
1640	0	1	0	0
1641	0	1	0	0
1642	1	1	0	0
1643	1	1	0	0
1644	2	2	0	0
1645	2	1	0	0
1646	1	1	0	0
1647	0	1	0	0
1648	0	1	0	0
1649	0	1	0	0
1650	0	1	0	0
1651	0	1	0	0
1652	0	1	0	0
1653	1	1	0	0
1654	1	1	0	0
1655	1	1	0	0
1656	0	1	0	0
1657	0	1	0	0
1658	0	1	0	0
1659	1	1	0	0
1660	1	1	0	0
1661	1	2	0	0
1662	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1663	1	1	0	0
1664	0	1	0	0
1665	0	1	0	0
1666	1	1	0	0
1667	1	1	0	0
1668	1	1	0	0
1669	1	1	0	0
1670	1	1	0	0
1671	1	1	0	0
1672	1	2	0	0
1673	1	1	0	0
1674	2	2	0	0
1675	1	2	0	0
1676	1	2	0	0
1677	2	1	0	0
1678	2	2	0	0
1679	2	1	0	0
1680	0	1	0	0
1681	1	1	0	0
1682	1	1	0	0
1683	0	1	0	0
1684	0	1	0	0
1685	0	1	0	0
1686	0	1	0	0
1687	0	1	0	0
1688	0	1	0	0
1689	0	1	0	0
1690	0	1	0	0
1691	2	2	0	0
1692	1	2	0	0
1693	1	1	0	0
1694	0	1	0	0
1695	0	1	0	0
1696	1	1	0	0
1697	1	1	0	0
1698	1	1	0	0
1699	1	2	0	0
1700	1	1	0	0
1701	1	2	0	0
1702	2	1	0	0
1703	2	2	0	0
1704	1	2	0	0
1705	2	2	0	0
1706	1	1	0	0
1707	0	1	0	0
1708	1	1	0	0
1709	0	1	0	0
1710	1	1	0	0
1711	1	1	0	0
1712	1	2	0	0
1713	2	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1714	2	2	0	0
1715	2	2	0	0
1716	2	1	0	0
1717	0	1	0	0
1718	0	1	0	0
1719	0	2	0	0
1720	2	2	0	0
1721	1	2	0	0
1722	2	2	0	0
1723	2	2	0	0
1724	1	1	0	0
1725	1	1	0	0
1726	1	1	0	0
1727	1	1	0	0
1728	1	1	0	0
1729	1	1	0	0
1730	1	1	0	0
1731	1	1	0	0
1732	1	1	0	0
1733	1	1	0	0
1734	0	1	0	0
1735	0	1	0	0
1736	0	1	0	0
1737	0	1	0	0
1738	0	1	0	0
1739	0	1	0	0
1740	0	1	0	0
1741	0	1	0	0
1742	0	1	0	0
1743	1	1	0	0
1744	0	1	0	0
1745	0	1	0	0
1746	0	1	0	0
1747	0	1	0	0
1748	0	1	0	0
1749	2	2	0	0
1750	1	1	0	0
1751	2	1	0	0
1752	2	2	0	0
1753	1	1	0	0
1754	2	1	0	0
1755	2	1	0	0
1756	1	1	0	0
1757	0	1	0	0
1758	0	1	0	0
1759	0	1	0	0
1760	0	1	0	0
1761	0	2	0	0
1762	0	2	0	0
1763	1	2	0	0
1764	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (поскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1765	0	1	0	0
1766	0	1	0	0
1767	2	1	0	0
1768	1	1	0	0
1769	1	1	0	0
1770	1	1	0	0
1771	0	1	0	0
1772	1	1	0	0
1773	1	1	0	0
1774	0	1	0	0
1775	1	1	0	0
1776	1	1	0	0
1777	1	1	0	0
1778	1	1	0	0
1779	1	1	0	0
1780	1	1	0	0
1781	1	1	0	0
1782	1	1	0	0
1783	1	1	0	0
1784	2	1	0	0
1785	1	1	0	0
1786	1	1	0	0
1787	2	1	0	0
1788	1	1	0	0
1789	1	1	0	0
1790	0	1	0	0
1791	0	1	0	0
1792	0	1	0	0
1793	1	1	0	0
1794	1	1	0	0
1795	1	1	0	0
1796	2	1	0	0
1797	2	1	0	0
1798	2	1	0	0
1799	2	1	0	0
1800	2	1	0	0
1801	2	1	0	0
1802	1	1	0	0
1803	1	1	0	0
1804	1	1	0	0
1805	2	1	0	0
1806	2	1	0	0
1807	2	1	0	0
1808	1	1	0	0
1809	1	1	0	0
1810	1	1	0	0
1811	1	1	0	0
1812	1	1	0	0
1813	1	1	0	0
1814	2	1	0	0
1815	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (поскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1816	1	1	0	0
1817	1	1	0	0
1818	1	1	0	0
1819	1	1	0	0
1820	1	1	0	0
1821	1	1	0	0
1822	1	1	0	0
1823	1	2	0	0
1824	1	1	0	0
1825	1	1	0	0
1826	2	1	0	0
1827	1	1	0	0
1828	2	1	0	0
1829	2	1	0	0
1830	2	1	0	0
1831	2	2	0	0
1832	2	1	0	0
1833	2	1	0	0
1834	2	1	0	0
1835	2	1	0	0
1836	2	1	0	0
1837	2	1	0	0
1838	1	1	0	0
1839	1	1	0	0
1840	1	1	0	0
1841	1	1	0	0
1842	1	1	0	0
1843	1	1	0	0
1844	1	1	0	0
1845	1	1	0	0
1846	1	1	0	0
1847	2	1	0	0
1848	2	1	0	0
1849	1	1	0	0
1850	1	1	0	0
1851	1	1	0	0
1852	1	1	0	0
1853	2	1	0	0
1854	1	1	0	0
1855	1	1	0	0
1856	2	1	0	0
1857	1	1	0	0
1858	1	1	0	0
1859	1	1	0	0
1860	1	1	0	0
1861	1	2	0	0
1862	1	1	0	0
1863	2	1	0	0
1864	2	1	0	0
1865	1	1	0	0
1866	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1867	1	1	0	0
1868	1	1	0	0
1869	2	1	0	0
1870	1	1	0	0
1871	1	1	0	0
1872	1	1	0	0
1873	1	1	0	0
1874	2	1	0	0
1875	1	1	0	0
1876	1	1	0	0
1877	1	1	0	0
1878	1	1	0	0
1879	1	1	0	0
1880	1	1	0	0
1881	1	2	0	0
1882	2	2	0	0
1883	2	2	0	0
1884	1	1	0	0
1885	1	1	0	0
1886	1	1	0	0
1887	1	1	0	0
1888	1	1	0	0
1889	1	2	0	0
1890	1	1	0	0
1891	1	1	0	0
1892	1	1	0	0
1893	1	1	0	0
1894	1	1	0	0
1895	1	1	0	0
1896	1	1	0	0
1897	1	1	0	0
1898	1	1	0	0
1899	2	1	0	0
1900	1	1	0	0
1901	1	1	0	0
1902	1	1	0	0
1903	1	1	0	0
1904	1	1	0	0
1905	1	1	0	0
1906	1	1	0	0
1907	1	1	0	0
1908	1	1	0	0
1909	1	1	0	0
1910	1	1	0	0
1911	1	0	0	0
1912	1	0	0	0
1913	1	1	0	0
1914	1	1	0	0
1915	1	1	0	0
1916	2	0	0	0
1917	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1918	1	1	0	0
1919	1	1	0	0
1920	2	1	0	0
1921	1	1	0	0
1922	1	1	0	0
1923	1	1	0	0
1924	1	1	0	0
1925	1	1	0	0
1926	1	1	0	0
1927	1	1	0	0
1928	1	1	0	0
1929	1	1	0	0
1930	1	1	0	0
1931	1	1	0	0
1932	1	1	0	0
1933	1	1	0	0
1934	1	1	0	0
1935	1	1	0	0
1936	1	1	0	0
1937	1	1	0	0
1938	1	1	0	0
1939	1	1	0	0
1940	1	1	0	0
1941	1	1	0	0
1942	1	1	0	0
1943	1	1	0	0
1944	1	1	0	0
1945	2	1	0	0
1946	1	1	0	0
1947	1	1	0	0
1948	1	1	0	0
1949	1	1	0	0
1950	1	1	0	0
1951	0	1	0	0
1952	1	1	0	0
1953	1	1	0	0
1954	2	1	0	0
1955	1	0	0	0
1956	1	0	0	0
1957	1	0	0	0
1958	1	0	0	0
1959	1	0	0	0
1960	1	1	0	0
1961	2	1	0	0
1962	1	1	0	0
1963	1	1	0	0
1964	1	1	0	0
1965	1	1	0	0
1966	1	1	0	0
1967	1	1	0	0
1968	1	0	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
1969	1	1	0	0
1970	1	1	0	0
1971	2	1	0	0
1972	2	1	0	0
1973	1	1	0	0
1974	1	0	0	0
1975	1	0	0	0
1976	1	0	0	0
1977	1	1	0	0
1978	1	1	0	0
1979	1	1	0	0
1980	1	1	0	0
1981	1	1	0	0
1982	1	1	0	0
1983	1	1	0	0
1984	1	1	0	0
1985	1	1	0	0
1986	1	1	0	0
1987	1	1	0	0
1988	1	1	0	0
1989	1	1	0	0
1990	1	1	0	0
1991	1	1	0	0
1992	1	1	0	0
1993	1	1	0	0
1994	1	1	0	0
1995	1	1	0	0
1996	1	1	0	0
1997	1	1	0	0
1998	1	1	0	0
1999	1	1	0	0
2000	1	0	0	0
2001	1	0	0	0
2002	1	1	0	0
2003	1	1	0	0
2004	1	1	0	0
2005	1	1	0	0
2006	1	1	0	0
2007	1	1	0	0
2008	1	1	0	0
2009	1	1	0	0
2010	1	1	0	0
2011	1	1	0	0
2012	1	1	0	0
2013	1	1	0	0
2014	1	1	0	0
2015	2	1	0	0
2016	2	1	0	0
2017	1	1	0	0
2018	1	1	0	0
2019	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2020	1	1	0	0
2021	1	1	0	0
2022	1	1	0	0
2023	1	1	0	0
2024	1	1	0	0
2025	1	1	0	0
2026	1	1	0	0
2027	1	1	0	0
2028	1	1	0	0
2029	1	1	0	0
2030	1	1	0	0
2031	1	1	0	0
2032	1	1	0	0
2033	1	1	0	0
2034	1	1	0	0
2035	1	1	0	0
2036	1	1	0	0
2037	1	1	0	0
2038	1	1	0	0
2039	1	1	0	0
2040	1	1	0	0
2041	1	1	0	0
2042	1	1	0	0
2043	1	1	0	0
2044	1	1	0	0
2045	1	1	0	0
2046	0	1	0	0
2047	1	1	0	0
2048	1	1	0	0
2049	1	1	0	0
2050	1	1	0	0
2051	1	1	0	0
2052	1	1	0	0
2053	1	1	0	0
2054	1	1	0	0
2055	1	1	0	0
2056	1	1	0	0
2057	1	1	0	0
2058	1	1	0	0
2059	1	1	0	0
2060	1	1	0	0
2061	1	1	0	0
2062	1	1	0	0
2063	1	1	0	0
2064	1	1	0	0
2065	1	1	0	0
2066	1	1	0	0
2067	1	1	0	0
2068	1	1	0	0
2069	1	1	0	0
2070	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (поскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2071	1	1	0	0
2072	1	1	0	0
2073	1	1	0	0
2074	1	1	0	0
2075	2	1	0	0
2076	1	1	0	0
2077	1	1	0	0
2078	1	1	0	0
2079	1	1	0	0
2080	1	1	0	0
2081	1	1	0	0
2082	1	1	0	0
2083	0	1	0	0
2084	0	1	0	0
2085	1	1	0	0
2086	1	1	0	0
2087	1	1	0	0
2088	1	1	0	1
2089	0	1	0	1
2090	1	1	0	1
2091	1	1	0	1
2092	1	1	0	1
2093	0	1	0	1
2094	1	1	0	1
2095	1	1	0	1
2096	1	1	0	1
2097	1	1	0	1
2098	0	1	0	1
2099	0	1	0	1
2100	0	1	0	1
2101	1	1	0	1
2102	1	1	0	1
2103	1	1	0	1
2104	0	1	0	1
2105	0	1	0	1
2106	0	1	0	1
2107	1	1	0	1
2108	1	1	0	1
2109	1	1	0	1
2110	1	1	0	1
2111	1	1	0	1
2112	1	1	0	1
2113	1	1	0	1
2114	1	1	0	1
2115	1	1	0	1
2116	1	1	0	1
2117	1	1	0	1
2118	1	1	0	1
2119	1	1	0	1
2120	1	1	0	1
2121	0	0	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2122	1	1	0	1
2123	1	1	0	1
2124	1	1	0	1
2125	1	1	0	1
2126	1	1	0	0
2127	1	1	0	1
2128	1	1	0	1
2129	1	1	0	1
2130	1	1	0	1
2131	1	1	0	1
2132	1	1	0	0
2133	1	1	0	0
2134	1	1	0	0
2135	1	1	0	0
2136	1	1	0	1
2137	1	1	0	1
2138	1	1	0	0
2139	1	1	0	1
2140	1	1	0	1
2141	1	1	0	1
2142	1	1	0	0
2143	1	1	0	0
2144	1	1	0	0
2145	1	1	0	1
2146	1	1	0	0
2147	1	1	0	0
2148	1	1	0	0
2149	2	1	0	1
2150	1	1	0	1
2151	1	1	0	0
2152	2	1	0	0
2153	1	1	0	0
2154	1	1	0	0
2155	1	1	0	0
2156	1	1	0	0
2157	1	1	0	0
2158	1	1	0	1
2159	1	1	0	1
2160	1	1	0	1
2161	1	1	0	1
2162	1	1	0	1
2163	1	1	0	1
2164	2	1	0	2
2165	2	1	0	1
2166	1	1	0	1
2167	2	1	0	1
2168	1	1	0	1
2169	2	1	0	1
2170	2	1	0	1
2171	1	1	0	1
2172	1	1	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2173	1	2	0	1
2174	0	2	0	2
2175	0	1	0	2
2176	1	1	0	1
2177	2	2	0	1
2178	1	1	0	1
2179	1	1	0	1
2180	1	1	0	1
2181	1	1	0	1
2182	2	2	0	2
2183	2	1	0	1
2184	1	1	0	1
2185	1	1	0	1
2186	1	1	0	1
2187	1	1	0	1
2188	1	1	0	1
2189	1	1	0	1
2190	1	1	0	1
2191	1	1	0	1
2192	2	1	0	1
2193	2	1	0	1
2194	1	2	0	0
2195	2	1	0	0
2196	1	2	0	0
2197	0	1	0	1
2198	1	1	0	1
2199	1	1	0	1
2200	1	1	0	1
2201	1	0	0	1
2202	1	1	0	1
2203	1	1	0	0
2204	1	1	0	0
2205	1	1	0	1
2206	0	1	0	1
2207	0	1	0	1
2208	2	1	0	1
2209	2	1	0	2
2210	1	1	0	1
2211	1	1	0	1
2212	2	1	0	1
2213	2	1	0	1
2214	1	1	0	0
2215	1	1	0	1
2216	1	1	0	1
2217	1	1	0	1
2218	1	1	0	1
2219	1	1	0	1
2220	1	1	0	1
2221	1	1	0	1
2222	1	2	0	1
2223	1	1	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2224	1	2	0	1
2225	0	1	0	1
2226	1	2	0	0
2227	1	1	0	0
2228	1	1	0	1
2229	1	1	0	1
2230	1	1	0	0
2231	1	1	0	1
2232	0	1	0	1
2233	0	1	0	1
2234	0	1	0	1
2235	0	2	0	1
2236	1	1	0	1
2237	0	1	0	1
2238	0	0	0	1
2239	0	0	0	1
2240	0	0	0	1
2241	0	0	0	1
2242	0	0	0	1
2243	2	1	0	1
2244	2	2	0	2
2245	2	2	0	1
2246	1	1	0	1
2247	0	1	0	1
2248	0	1	0	1
2249	1	1	0	1
2250	1	1	0	1
2251	0	1	0	1
2252	0	1	0	1
2253	0	1	0	1
2254	0	1	0	1
2255	0	1	0	1
2256	0	1	0	1
2257	0	1	0	1
2258	0	1	0	1
2259	0	1	0	1
2260	2	1	0	1
2261	2	2	0	0
2262	1	1	0	1
2263	1	1	0	1
2264	0	1	0	1
2265	0	1	0	1
2266	1	1	0	1
2267	1	1	0	1
2268	1	1	0	0
2269	1	1	0	1
2270	2	1	0	0
2271	2	1	0	0
2272	2	1	0	1
2273	1	1	0	1
2274	2	2	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2275	2	1	0	1
2276	1	1	0	1
2277	0	1	0	1
2278	0	1	0	1
2279	0	1	0	1
2280	1	1	0	1
2281	1	1	0	1
2282	1	1	0	1
2283	0	1	0	1
2284	0	1	0	1
2285	1	1	0	1
2286	1	1	0	1
2287	1	1	0	1
2288	1	1	0	1
2289	1	1	0	0
2290	1	1	0	1
2291	1	1	0	1
2292	1	1	0	1
2293	1	1	0	1
2294	1	1	0	1
2295	1	1	0	0
2296	1	1	0	1
2297	1	1	0	1
2298	1	1	0	1
2299	1	1	0	1
2300	1	1	0	1
2301	2	1	0	1
2302	1	1	0	1
2303	1	1	0	1
2304	1	1	0	1
2305	1	1	0	1
2306	1	0	0	1
2307	1	1	0	1
2308	1	1	0	1
2309	1	1	0	1
2310	0	1	0	1
2311	1	1	0	1
2312	1	1	0	1
2313	1	1	0	1
2314	1	1	0	1
2315	1	1	0	1
2316	1	1	0	1
2317	1	1	0	1
2318	1	1	0	1
2319	1	1	0	1
2320	1	1	0	1
2321	1	1	0	1
2322	1	1	0	1
2323	1	1	0	1
2324	1	1	0	1
2325	1	1	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2326	1	0	0	1
2327	1	1	0	1
2328	1	1	0	1
2329	1	0	0	1
2330	1	1	0	1
2331	1	1	0	1
2332	1	1	0	1
2333	1	0	0	1
2334	1	0	0	1
2335	1	0	0	1
2336	1	0	0	1
2337	1	1	0	1
2338	1	1	0	1
2339	1	1	0	1
2340	1	0	0	1
2341	1	1	0	1
2342	1	1	0	1
2343	1	1	0	1
2344	1	1	0	1
2345	1	1	0	1
2346	1	1	0	2
2347	0	0	0	2
2348	1	1	0	1
2349	1	2	0	1
2350	1	1	0	1
2351	1	1	0	1
2352	1	1	0	1
2353	1	1	0	1
2354	2	1	0	1
2355	1	1	0	1
2356	2	1	0	1
2357	1	1	0	1
2358	1	1	0	1
2359	0	1	0	1
2360	1	1	0	1
2361	2	1	0	0
2362	2	1	0	1
2363	2	1	0	1
2364	2	1	0	1
2365	2	1	0	1
2366	1	1	0	1
2367	1	1	0	1
2368	2	1	0	1
2369	2	1	0	1
2370	2	1	0	1
2371	1	1	0	1
2372	1	1	0	1
2373	1	0	0	1
2374	1	1	0	0
2375	1	1	0	0
2376	1	1	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2377	1	1	0	1
2378	1	1	0	1
2379	1	1	0	0
2380	1	1	0	1
2381	1	1	0	1
2382	1	1	0	1
2383	1	1	0	1
2384	1	1	0	0
2385	1	1	0	1
2386	1	1	0	1
2387	1	1	0	1
2388	1	1	0	1
2389	1	1	0	1
2390	1	1	0	1
2391	1	1	0	1
2392	1	1	0	1
2393	0	1	0	1
2394	0	1	0	1
2395	0	1	0	1
2396	1	1	0	1
2397	1	1	0	1
2398	2	1	0	1
2399	1	1	0	1
2400	0	1	0	1
2401	1	1	0	1
2402	1	1	0	0
2403	0	1	0	1
2404	0	1	0	1
2405	0	1	0	1
2406	1	1	0	1
2407	1	1	0	1
2408	1	1	0	1
2409	1	1	0	1
2410	1	2	0	1
2411	1	1	0	1
2412	1	1	0	1
2413	1	1	0	1
2414	1	1	0	1
2415	1	1	0	1
2416	1	1	0	1
2417	1	2	0	2
2418	1	1	0	1
2419	2	1	0	1
2420	2	0	0	1
2421	1	0	0	1
2422	1	1	0	1
2423	1	1	0	1
2424	1	1	0	1
2425	1	1	0	1
2426	1	1	0	1
2427	2	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2428	1	1	1	1
2429	1	1	1	1
2430	1	1	0	0
2431	1	1	0	1
2432	1	1	0	1
2433	1	1	0	1
2434	1	1	0	1
2435	1	1	0	1
2436	1	1	0	1
2437	1	1	0	1
2438	1	1	0	1
2439	1	1	0	1
2440	1	1	0	1
2441	1	1	0	1
2442	1	1	0	1
2443	1	1	0	1
2444	1	1	0	1
2445	1	1	0	1
2446	1	1	0	1
2447	1	1	0	1
2448	1	1	0	0
2449	1	1	0	1
2450	0	1	0	1
2451	1	1	0	1
2452	1	1	0	1
2453	1	1	0	1
2454	1	1	0	1
2455	1	1	0	1
2456	1	1	0	0
2457	1	1	0	0
2458	1	1	0	1
2459	1	1	0	1
2460	1	1	0	1
2461	1	1	0	1
2462	1	1	0	1
2463	1	1	0	1
2464	1	1	0	1
2465	1	1	0	1
2466	1	1	0	1
2467	1	1	0	1
2468	1	1	0	1
2469	1	1	0	1
2470	1	1	0	1
2471	1	1	0	1
2472	1	1	0	1
2473	1	1	0	1
2474	1	1	0	1
2475	1	1	0	1
2476	1	1	0	1
2477	1	1	0	1
2478	1	1	0	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2479	1	1	0	1
2480	1	1	0	0
2481	1	1	0	0
2482	1	1	0	0
2483	1	1	0	1
2484	2	1	0	1
2485	1	1	0	1
2486	1	1	0	0
2487	1	1	0	1
2488	1	1	0	1
2489	2	1	0	1
2490	2	1	0	0
2491	2	1	0	0
2492	2	1	0	0
2493	2	1	0	1
2494	1	1	0	1
2495	1	1	0	1
2496	1	1	0	1
2497	1	1	0	0
2498	2	1	0	1
2499	1	1	0	1
2500	1	1	0	0
2501	1	1	0	0
2502	1	1	0	0
2503	1	1	0	0
2504	2	1	0	0
2505	2	1	0	0
2506	2	1	0	1
2507	2	1	0	0
2508	2	1	0	1
2509	1	1	0	1
2510	1	1	0	0
2511	1	1	0	1
2512	1	1	0	1
2513	1	1	0	0
2514	2	1	0	0
2515	1	0	0	0
2516	1	0	0	0
2517	1	0	0	0
2518	2	0	0	0
2519	1	0	0	0
2520	1	1	0	1
2521	1	1	0	1
2522	1	0	0	1
2523	1	0	0	1
2524	1	0	0	0
2525	1	1	0	1
2526	1	1	0	1
2527	1	1	0	1
2528	1	1	0	1
2529	1	1	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (поскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2530	1	1	0	1
2531	1	1	0	1
2532	1	1	0	1
2533	1	1	0	1
2534	1	1	0	1
2535	1	1	0	1
2536	1	1	0	1
2537	1	1	0	1
2538	1	1	0	1
2539	1	1	0	1
2540	1	1	0	1
2541	0	1	0	1
2542	1	0	0	1
2543	1	1	0	1
2544	1	1	0	1
2545	1	1	0	1
2546	1	1	0	1
2547	1	1	0	1
2548	1	1	0	1
2549	1	1	0	1
2550	1	1	0	1
2551	1	1	0	1
2552	1	0	0	1
2553	1	1	0	1
2554	1	1	0	1
2555	1	1	0	0
2556	1	1	0	1
2557	1	1	0	1
2558	1	1	0	1
2559	1	1	0	1
2560	1	1	0	1
2561	1	1	0	1
2562	1	1	0	1
2563	1	1	0	1
2564	1	1	0	1
2565	1	1	0	1
2566	1	1	0	0
2567	1	1	0	0
2568	1	1	0	1
2569	1	1	0	1
2570	1	1	0	1
2571	1	1	0	1
2572	1	1	0	1
2573	1	1	0	1
2574	1	1	0	1
2575	1	1	0	1
2576	1	1	0	1
2577	1	1	0	1
2578	1	1	0	1
2579	1	1	0	0
2580	1	1	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2581	1	1	0	1
2582	1	1	0	1
2583	1	1	0	1
2584	1	1	0	1
2585	1	1	0	1
2586	1	1	0	1
2587	1	1	0	1
2588	1	1	0	1
2589	1	1	0	1
2590	1	1	0	1
2591	1	1	0	1
2592	1	1	0	1
2593	1	1	0	1
2594	1	1	0	1
2595	1	1	0	1
2596	1	1	0	1
2597	1	1	0	1
2598	1	1	0	1
2599	1	1	0	1
2600	1	1	0	1
2601	1	1	0	1
2602	1	1	0	1
2603	1	1	0	1
2604	1	1	0	1
2605	1	1	0	1
2606	1	1	0	1
2607	1	1	0	1
2608	1	1	0	1
2609	1	1	0	1
2610	1	1	0	1
2611	1	1	0	1
2612	1	1	0	1
2613	1	1	0	1
2614	1	1	0	1
2615	1	1	0	1
2616	1	1	0	1
2617	1	1	0	1
2618	1	1	0	1
2619	1	1	0	1
2620	1	1	0	1
2621	1	1	0	1
2622	1	1	0	1
2623	1	1	0	1
2624	1	1	0	1
2625	1	1	0	1
2626	1	1	0	1
2627	1	1	0	1
2628	1	1	0	1
2629	1	1	0	1
2630	1	1	0	1
2631	1	1	0	1

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2632	2	1	0	0
2633	1	1	0	1
2634	1	1	0	1
2635	0	1	0	1
2636	1	1	0	0
2637	1	1	0	0
2638	1	1	0	0
2639	1	1	0	0
2640	0	1	0	0
2641	1	1	0	0
2642	0	1	0	0
2643	1	1	0	0
2644	1	1	0	0
2645	1	1	0	0
2646	1	1	0	0
2647	1	1	0	0
2648	1	1	0	0
2649	1	1	0	0
2650	1	1	0	0
2651	1	1	0	0
2652	1	1	0	0
2653	1	1	0	0
2654	1	1	0	0
2655	1	1	0	0
2656	1	1	0	0
2657	1	1	0	0
2658	2	1	0	1
2659	2	1	0	0
2660	1	1	0	0
2661	2	1	0	0
2662	1	1	0	0
2663	1	1	0	0
2664	1	1	0	0
2665	1	1	0	0
2666	2	0	0	0
2667	1	0	0	0
2668	1	0	0	0
2669	1	1	0	0
2670	1	1	0	0
2671	1	1	0	1
2672	0	1	0	1
2673	0	1	0	1
2674	0	1	0	1
2675	1	1	0	1
2676	1	1	0	1
2677	1	1	0	1
2678	1	1	0	1
2679	1	1	0	1
2680	1	1	1	1
2681	1	1	1	0
2682	1	1	1	0

Участки трассы	Тип местности			
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (платогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
2683	1	1	1	0
2684	1	1	1	0
2685	1	1	2	0
2686	1	1	2	0
2687	1	1	2	2
2688	1	1	2	1
2689	1	1	1	1
2690	1	1	1	1
2691	1	1	1	0

Приложение Б

Таблица Б.1 - Анализ связи между распространением термокарстовых явлений и природными условиями и факторами

Условия и факторы	Типы местности				Болота верховые и переходные	Гарь с группами лиственницы, реже сосны с выжженным наземным покровом	Елово-лиственничные и еловые редкостойные	Елово-пихтовые леса	Ерниковые и ивняковые сообщества, местами с единичными низкорослыми лиственницей, сосной и березой, с сухостоем на вырубках и гарях частично заболоченные
	Интразональные ландшафты	Лесные	Лесотундровые преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные					
Выборка									
По всей трассе и всем типам	прямой	обратный	нет	обратный	нет	прямой	нет	обратный	прямой
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	прямой	обратный	нет	нет	нет	прямой	нет	обратный	нет
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой шит	прямой	нет	нет	обратный	прямой	нет	нет	нет	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)	прямой	обратный	нет	обратный	нет	нет	нет	нет	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинам рек	прямой	обратный	нет	обратный	нет	нет	нет	нет	нет
4 - по пойменным и террасным старицам рек	прямой	обратный	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	прямой	обратный	нет	обратный	нет	нет	нет	нет	нет
6 - по зеленым участкам	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	прямой	обратный	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	прямой	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	обратный	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	обратный	прямой	обратный	прямой	нет	нет	нет	прямой

Условия и факторы	Растительность						
	Ерниковые кустарничково-зеленомошные сообщества с единичными лиственницей, сосной и березой	Кедрово-сланиковые и ерnikово-кедровосланиковые разреженные сообщества с участками каменистого грунта	Кедрово-сланиковые и ерnikово-кедровосланиковые разреженные сообщества с участками каменистого грунта с единичной низкорослой лиственницей	Кустарниковые, ерниковые кочкарные места с единичной низкорослой лиственницей и березой, часто заболоченные	Лиственничники редкостойные ерниковые местами с участием кедрового стланика	Лиственничники редкостойные с лянтами каменистого грунта	Лиственнично-березовые и березовые леса с пятнами каменистого грунта
Выборка							
По всей трассе и всем типам	отсутствует	нет	отсутствует	отсутствует	отсутствует	нет	отсутствует
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	отсутствует	нет	нет	отсутствует	нет	отсутствует	отсутствует
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	нет	нет	нет	отсутствует	отсутствует	нет	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)	отсутствует	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинам рек	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
4 - по пойменным и террасным старицам рек	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
6 - по зеленым участкам	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	нет	нет	нет	отсутствует	нет	отсутствует	нет
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	отсутствует	нет	отсутствует	нет	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	отсутствует	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	отсутствует	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	отсутствует	нет	нет	нет

Условия и факторы	Растительность								
	Лиственнично-березовые и березовые леса	Лиственнично-елово-кедровые леса	Лиственничные леса	Лиственничные ольховниковые	Лишенные растительности участки на территориях дражных переработок	Лугово-болотный	Лугово-кустарниковые с отдельными мелколиственным и деревьями	Мелколиственные леса, преимущественно березовые	Пихтово-кедровые
Выборка									
По всей трассе и всем типам	прямой	обратный	нет	нет	нет	прямой	прямой	нет	обратный
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	прямой	обратный	обратный	нет	нет	нет	прямой	нет	обратный
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	нет	нет	нет	прямой	нет	прямой	нет	нет	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинам рек	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
4 - по пойменным и террасным старицам рек	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
6 - по зеленным участкам	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	прямой	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	прямой	нет	нет
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	прямой	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	нет

Условия и факторы	Рельеф						
	Сосновые, лиственничные и сосново-лиственничные	Возвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные поверхности	Возвышенные слаборасчлененные платообразные поверхности, осложненные эрозионными долинами	Области горного расчлененного рельефа	Области низких долинных и межгорных впадин.	Области низкогорного расчлененного рельефа и приподнятого грядового рельефа.	Области слабовозвышенного увалистого рельефа
Выборка							
По всей трассе и всем типам	нет	нет	обратный	нет	прямой	обратный	нет
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	нет	нет	обратный	нет	прямой	нет	прямой
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	нет	прямой	нет	нет	нет	обратный	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинам рек	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
4 - по пойменным и террасным старицам рек	прямой	нет	нет	прямой	прямой	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
6 - по зеленым участкам	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	нет	нет	нет	нет	нет	нет	прямой
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	прямой
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	обратный	нет	прямой	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	обратный	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Условия и факторы					Болота	
	Области слабозвышенных ступенчато-платообразных останцовых поверхностей.	Области средневозвышенного сильнорасчлененного грядового рельефа	Область расчлененного грядового и холмисто-грядового рельефа	Средневозвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные поверхности.	Заболоченные ландшафты	Дренажные ландшафты
Выборка						
По всей трассе и всем типам	обратный	обратный	нет	прямой	нет	нет
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	обратный	обратный	нет	прямой	нет	нет
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	нет	нет	нет	нет	прямой	обратный
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	нет	нет	нет	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)	нет	нет	прямой	нет	нет	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	прямой	обратный	нет	прямой	нет	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинам рек	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
4 - по пойменным и террасным старицам рек	нет	нет	нет	нет	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	нет	нет	прямой	прямой	нет	нет
6 - по зеленым участкам	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	нет	нет	нет	нет	нет	нет
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	нет	нет	нет	нет	нет	нет
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	прямой	нет	нет
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	обратный	прямой	обратный	прямой
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Условия и факторы	Климатические факторы (температура)				Климатические факторы (осадки)		
	Зона влияния метеостанции Ленск, Олекминск, Алдан, средняя многолетняя температура воздуха (-5 - -6°C)	Зона влияния метеостанции Чульман, Нагорный, средняя многолетняя температура воздуха (-6 - -7°C)	Зона влияния метеостанции Тында, средняя многолетняя температура воздуха (-4 - -5°C)	Зона влияния метеостанции Сковородино, средняя многолетняя температура воздуха (-3 - -4°C)	Зона влияния метеостанции Усть-Кут, Киренск, Витим, Ленск, Олекминск. Кол-во осадков, 300 - 500 мм/год	Зона влияния метеостанции Алдан, Чульман, Нагорный, Тында. Кол-во осадков, 500 - 700 мм/год	Зона влияния метеостанции Сковородино. Кол-во осадков, 400 - 500 мм/год
Выборка							
По всей трассе и всем типам	прямой	нет	обратный	нет	прямой	обратный	нет
По Сибирской платформе: 1а - плита (осадочный чехол)	нет	нет	нет	нет	прямой	обратный	нет
По Сибирской платформе: 1б - Алдано-Становой щит	нет	нет	обратный	нет	нет	нет	нет
По Монголо-Охотской складчатой системе	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
1 - расширения по руслам рек или днищам ложбин временных водотоков (четковидный сток)	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет
2 - по ложбинам подповерхностного стока	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет
3 - блюдцевидные понижения по долинам рек	нет	нет	нет	нет	прямой	обратный	нет
4 - по пойменным и террасным старицам рек	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет
5 - по кустарниковым марям	прямой	обратный	нет	нет	прямой	обратный	нет
6 - по зелененым участкам	прямой	нет	нет	нет	нет	нет	нет
7 - по бугристым торфяникам	нет	прямой	нет	нет	нет	нет	нет
8 - по группам ландшафтов с ПЖЛ	нет	нет	нет	прямой	нет	нет	прямой
9 - по заболоченным участкам (мелкоячеистый термокарст)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
10 - по участкам механических нарушений поверхности почвы	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
11 - по участкам тепловых воздействий	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
12 - по участкам нарушения поверхностного стока	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №2 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №3 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №4 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №6 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №7 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №8 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Зона №9 (по частоте встречаемости явлений)	нет	нет	обратный	нет	нет	нет	нет