

На правах рукописи



**Макарычева Елизавета Михайловна**

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

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и  
грунтоведение

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-  
минералогических наук

Москва 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН).

**Научный руководитель:** **Сергеев Дмитрий Олегович** – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геоэкологии Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), г. Москва

**Официальные оппоненты:** **Григорьев Михаил Николаевич** – доктор географических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск

**Пономарева Ольга Евгеньевна** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва

**Ведущая организация:** **Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), Геологический факультет, г. Москва**

Защита состоится «11» февраля 2020 года в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.048.02 при Институте Геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева по адресу: 109004, Москва, Николоямская улица, д. 51, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института Геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева по адресу: 101000, Москва, Уланский переулок, д. 13, стр. 2, [www.geoenv.ru](http://www.geoenv.ru).

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 101000, Москва, Уланский переулок, д. 13, стр. 2, а/я 145 на имя ученого секретаря диссертационного совета Е.В. Булдаковой email: [e\\_buldakova@mail.ru](mailto:e_buldakova@mail.ru).

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д002.048.02,

кандидат географических наук



Булдакова Е. В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования:** 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:** Теоретические вопросы по проблемам мониторинга геологической среды и техногенных объектов изложены в работах Бондарика Г.К., Яргов Л.А., Шестакова В.М., Герасимова И.П., Королева В. А., Израэля Ю.А., Епишина В.К., Трофимова В.Т., Павлова А.В. и многих других авторов.

Общие требования и принципы размещения пунктов наблюдательных сетей мониторинга подробно описаны в работах Семенова С.М.

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.

**Объект исследования:** 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 км<sup>2</sup>.

**Предмет исследования:** Характеристика неоднородности распространения явлений термокарста в буферной зоне нефтепровода.

**Цель:** Разработка и обоснование методики районирования буферной зоны магистрального нефтепровода по условиям формирования термокарстового процесса с учетом природных и техногенных условий и факторов.

**Задачи:**

В соответствии с поставленной целью, в работе решались 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.

**Научная новизна:**

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 работы:** 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 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 работы:** 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.

**Методология и 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, проводившемся 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.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

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.

**Исходные 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).

**Степень достоверности и апробация диссертации:** 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: «Десятая Международная конференция по мерзлотоведению». Салехард, 2012 г.; «15-ые Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты)». Москва, 2013 г.; Международная конференция «Криология Земли: XXI Век». Пущино, 2013 г.; «5-я Европейская конференция по мерзлотоведению». Эвора, Португалия, 2014 г.; «XII Международный конгресс МАИГ «Инженерная геология для общества и территорий»». Турин, Италия, 2015 г.; «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.; «Конференция Международного географического союза «География, культура и общество нашей будущей Земли»». Москва, 2015; Международная конференция «Вечная мерзлота в XXI веке: фундаментальные и прикладные исследования». Пущино, 2015 г.; «18-ые Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН». Москва, 2016 г.; «XI Международная конференция по мерзлотоведению». Потсдам, Германия, 2016 г.; Международная конференция «Криосфера Земли: прошлое, настоящее и будущее». Пущино, 2017; Расширенное заседание Научного Совета по криологии Земли РАН «Актуальные проблемы геоэкологии». Москва, 2018 г.

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

**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».

**Структура и объем работы:** Диссертация состоит из трех глав, введения и заключения. Общий объём работы – 255 страниц 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.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, охарактеризована научная новизна, оценена практическая значимость.

### **Глава 1. Условия и факторы распространения термокарстовых явлений**

В первой главе рассмотрены тектонические, геологические, мерзлотные, мерзлотно-ландшафтные, ландшафтно-геоморфологические условия и климатические факторы территории прохождения трассы нефтепровода.

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

Геокриологическая изученность территории неравномерна, наиболее изученной территорией является Южная Якутия. Изучение территории Южной Якутии началось лишь в советское время, в основном в 30-40-е годы. Многочисленные экспедиции были организованы Институтом мерзловедения АН СССР им. В.А. Обручева. Исследования проводились Академией наук СССР, Главным геологическим управлением СССР, Советом по определению производственных сил Севера и другими ведомственными организациями. Многочисленные экспедиции были организованы Институтом мерзловедения АН СССР им. В.А. Обручева в 1953-1957 гг., а также в 70-80 гг. С перерывами в 1961-1967 гг., а затем в 1972-1974 гг. масштабные исследования геокриологических условий Южной Якутии проводились Якутской экспедицией кафедры мерзловедения МГУ.

На юге Дальнего Востока геокриологическое изучение территории связано со строительством Амурской ветви Транссибирской железной дороги в начале 20 века. В

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

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..

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

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.

Согласно карте морфоструктурного районирования, в буферной зоне трассы нефтепровода рассматривается два типа структур: древние (донеотектонические) региональные структуры и неотектонические (новейшие по возрасту образования) структуры второго порядка. Трасса нефтепровода пересекает две региональных структуры: Сибирскую древнюю докембрийскую платформу (в пределах которой выделяются плита с осадочным чехлом и Алдано-Становой щит) и Монголо-Охотскую позднепротерозойско-палеозойскую горно-складчатую систему. 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.

На основании особенностей геологического строения и неотектонических структур (морфоструктур) полосу трассы нефтепровода можно разделить на три части: равнинную, плоскогорную и нагорную. 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.

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 характеру распространения ММП, их мощности и среднегодовой температуре пород буферную зону трассы нефтепровода на территории Южной Якутии можно разделить на семь частей

На участке трассы нефтепровода, проходящем через территорию Южной Якутии, также выделено 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.

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.

Методом геометрических построений буферная зона нефтепровода 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.

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**

**Во второй** главе приведен обзор существующих представлений о термокарсте и его типах, выполнен анализ особенностей проявления термокарста как в полосе землеотвода трассы нефтепровода и за ее пределами в естественных условиях (ширина зоны исследований составила 3 км). Выполнен анализа распространения явлений термокарста вдоль трассы нефтепровода.

В данном исследовании автор придерживается определения термокарста предложенного Ю.Л. Шуром (1988 г.) 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.

Исходными данными для исследований послужили материалы аэровизуальных обследований, ежегодно получаемые в течение трех лет с 2010 по 2012гг., данные космо- и аэрофосъемки, материалы изысканий и наземных геологических обследований территории.

Усовершенствованная методика аэровизуального обследования с применением специального оборудования, позволила в короткие сроки предоставить актуальную информацию о распространении явлений термокарста вдоль трассы нефтепровода. Использование перспективной съемки при фотографировании позволило получить информацию о морфологических характеристиках явлений и ландшафтов.

Дешифрирование термокарстовых явлений в буферной зоне шириной 3 км, выполненное автором, позволило нанести на карту 2146 явлений термокарста. Из общего количества выявленных явлений в полосе землеотвода трассы нефтепровода было выявлено 100 явлений.

На специфику проявления термокарста в буферное зоне нефтепровода влияет расположение района исследования вблизи южной границы криолитозоны. На основе анализа существующих подходов к типизации процесса и описаний отдельных типов явлений термокарста, представленных в российской и зарубежной литературе, а также анализа особенностей проявления процесса в буферной зоне нефтепровода была разработана региональная типизация термокарстовых явлений.

Все выделенные явления термокарста (2146) были разделены 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 позволила составить представление о механизмах их формирования, а также выделить эталоны для их дешифрирования. Техногенные явления разделены на типы по приуроченности к участкам приложения техногенной нагрузки (рисунок 1).



Рис. 1 - Региональная типизация термокарстовых явлений в буферной зоне трассы нефтепровода

Идентификация техногенных типов явлений термокарста, находящихся на начальной стадии своего развития (строительство нефтепровода началось в 2009 г), по данным дистанционных обследований затруднена. Для повышения точности идентификации выполнен анализ инженерно-геологических разрезов и результатов наземных геологических обследований, а также произведена оценка динамики проявлений за период обследований (2010-2012 гг.) с учетом изменения климатических параметров.

Для каждого типа явлений термокарста подобран опорный инженерно-геологический разрез и эталонный фотоснимок, а для отдельных типов проявлений также аэрофотоснимок. Выделенные типы явлений характеризуются различной стадией развития и интенсивностью протекания процесса. По данным трехлетнего цикла аэровизуальных обследований отмечены формы с признаками увеличения обводненности или разрастания под воздействием хозяйственного освоения территории (рис. 2).



Рис. 2 - Изменение явления термокарста за трехлетний период обследования

Для анализа распространения явлений было предложено представить информацию в бинарной форме, то есть ответить на вопрос: «Есть ли термокарст (или есть ли данный тип термокарста) на данном километре трассы?» (0-нет, 1-есть). Для характеристики территории в бинарной форме было введено понятие встречаемости (таблица 1).

Таблица 1 - Число и встречаемость явлений термокарста в окрестности нефтепровода по типам

	кол-во явлений	встречаемость явлений на км
явления всех типов	2146	328
тип №1	353	71
тип №2	198	71
тип №3	304	87
тип №4	95	24
тип №5	179	70
тип №6	44	20
тип №7	157	32
тип №8	123	30
тип №9	593	28
тип №10	9	5
тип №11	74	33
тип №12	17	14
всего	2146	485

Распространение явлений в буферной зоне нефтепровода является неравномерным. Всю трассу можно условно разделить на 9 зон по частоте встречаемости термокарстовых явлений (рис. 3).

Зоны № 4, № 6 и № 8 характеризуются наибольшей частотой встречаемости, в среднем явления термокарста выявлены на каждом третьем километре трассы.

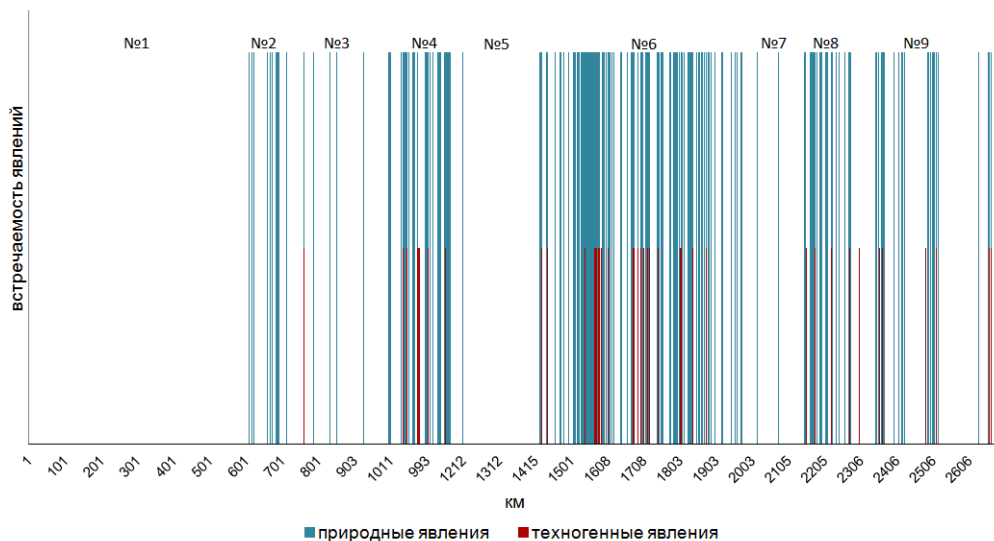


Рис. 3 - Встречаемость явлений термокарста на погонных километрах трассы нефтепровода

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

В третьей главе предлагается вероятностно-статистический метод поиска закономерностей распространения явлений термокарста в различных природных условиях, выявляются зависимости распространения термокарста от природных условий и факторов, оценивается влияние нефтепровода на распространение явлений, а также связь между распространением явлений и ремонтными работами, компенсирующими мероприятиями. Полученные зависимости используются в качестве основы для районирования территории. Результаты районирования верифицируются в ходе наземных обследований.

Анализ трассы нефтепровода проведен на той её части, на которой распространены ММП. Эта часть трассы, протяженностью 2085 км, была разделена на участки длиной 1 км (в соответствии с эксплуатационным километражем). Была выделена полоса анализа вблизи трассы шириной 3 км (по полтора километра от оси нефтепровода), содержащая 2085 участков. Участки пронумерованы.

Алгоритм действий в эксперименте разобран на примере анализа типов местности с карты природных комплексов. Наличие термокарстовых явлений, в рамках эксперимента, принимается как случайное событие. В рамках этого предположения вначале принимается, 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 трубопровода. И она будет тем больше, чем чаще встречается тип местности.

На основе данных с тематических карт и данных о распространении термокарстовых явлений составлены таблицы. В приведенной для примера таблице столбцы соответствуют типам местности, строки - участкам. 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 хотя бы одно явление термокарста в данном типе местности. Таким образом, в таблице для каждого из участков трассы нефтепровода 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 явлений (таблица 2).

Таблица 2.

Тип местности	Интразональные	Лесные	Лесотундровые, преимущественно равнинные (плоскогорья)	Лесотундровые, преимущественно горные
Погонные км				
1	0	1	0	0
2	0	1	0	0
3	2	0	2	1

Подобные таблицы 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 явились основой вычислительного эксперимента. Следующим шагом эксперимента стало вычисление частоты (числа) встречаемости. Для этого по одному выбираются типы местности (или другие условия территории) и определяется, в скольких единичных участках они встречены, а также содержат ли эти участки термокарстовые явления. Указанные операции были осуществлены стандартными средствами ГИС при помощи функции запросов, позволяющей выбрать по столбцам таблицы все ячейки со значениями 1 и 2 при подсчете встречаемости типов местности и со значением 2 при подсчете встречаемости термокарста. Таким образом, было посчитано общее количество встреч, например, типов местности, а также общее количество встреч термокарста в каждом из типов.



Для примера предположим, что у нас три участка. Согласно таблице 2 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.

После определения общей встречаемости термокарстовых явлений по типам местности (или другим условиям территории), вычислялось математическое ожидание частоты встречаемости термокарста в пределах отдельного типа. Затем – сравнивалось с фактически полученной частотой встречаемости термокарстовых явлений (таблица 3). В реальных условиях общее количество участков равно 2085 и соответствует общему количеству погонных километров с ММП. Расчет по ним производится аналогично.

Таблица 3. 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

Значительное отклонение фактически полученного значения встречаемости от математического ожидания свидетельствует о том, что между распространением явлений термокарста и конкретным природным условием есть связь. При этом связь может быть как прямой, если наблюдаемая величина превышает математическое ожидание, так и обратной, если математическое ожидание превышает наблюдаемую величину.

По итогам эксперимента получен ответ на вопрос, можно ли распространение явлений термокарста считать случайным событием или по каким-то признакам проявится связь природных условий и факторов с распределением термокарста? Для

выделения зависимостей, которые не являются случайными, применяется правило "трех сигм". Метод имеет ограничения по объему выборки. Для обеспечения статистической значимости эксперимента используется объем выборки превышающий 30-35 значений (общая встречаемость термокарста в пределах всех типов местности (таблица 3).

Величина отклонения наблюдаемой величины явлений от их математического ожидания, превышающая по модулю  $3\sigma$ , предложена в качестве количественного критерия зависимости термокарстовых явлений от природных условий и факторов (рисунок 4).

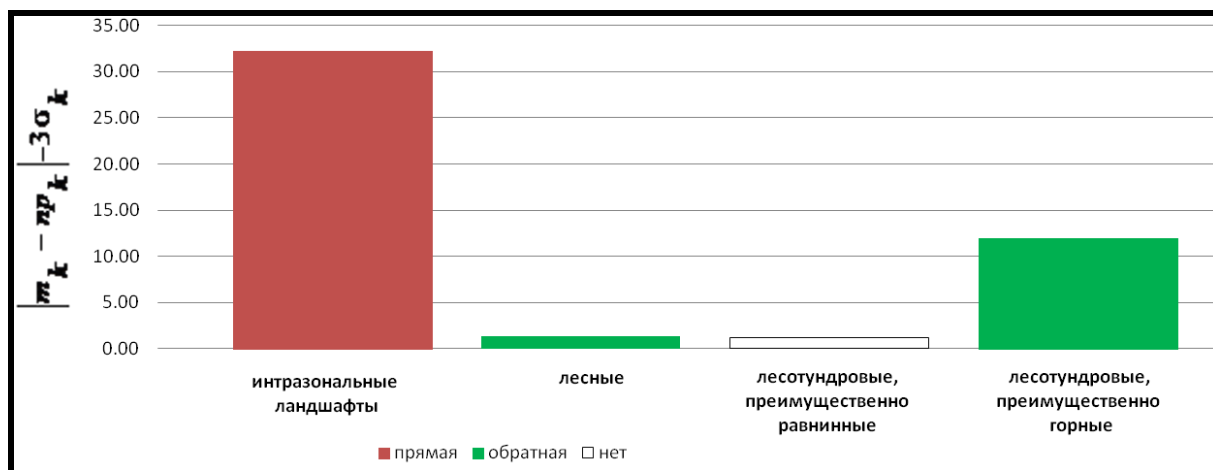


Рис. 4 - Характер и величина связи между распространением термокарстовых явлений и типами местности на примере Южной Якутии.

Поиск закономерностей распространения явлений термокарста в буферной зоне нефтепровода выполнен начиная с карт (1:2 500 000) обзорно-регионального масштаба к крупномасштабным картам.

Анализ 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).

Проанализированы статистические данные о распространении проявлений по всем типам и по каждому типу в отдельности. Анализ распространения термокарстовых явлений также выполнен для каждой из 9 зон разной частоты встречаемости явлений по отдельности.

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

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.

Полученные на основе вероятностно-статистической системы оценки зависимости распространения явлений термокарста от природных условий разделены на две группы: способствующие формированию термокарста (с прямой связью) и препятствующие распространению термокарста (с обратной связью).

Наложение ареалов распространения по условиям и факторам, способствующим и препятствующим формированию термокарста, позволило построить две отдельные карты районирования (рисунок 5).

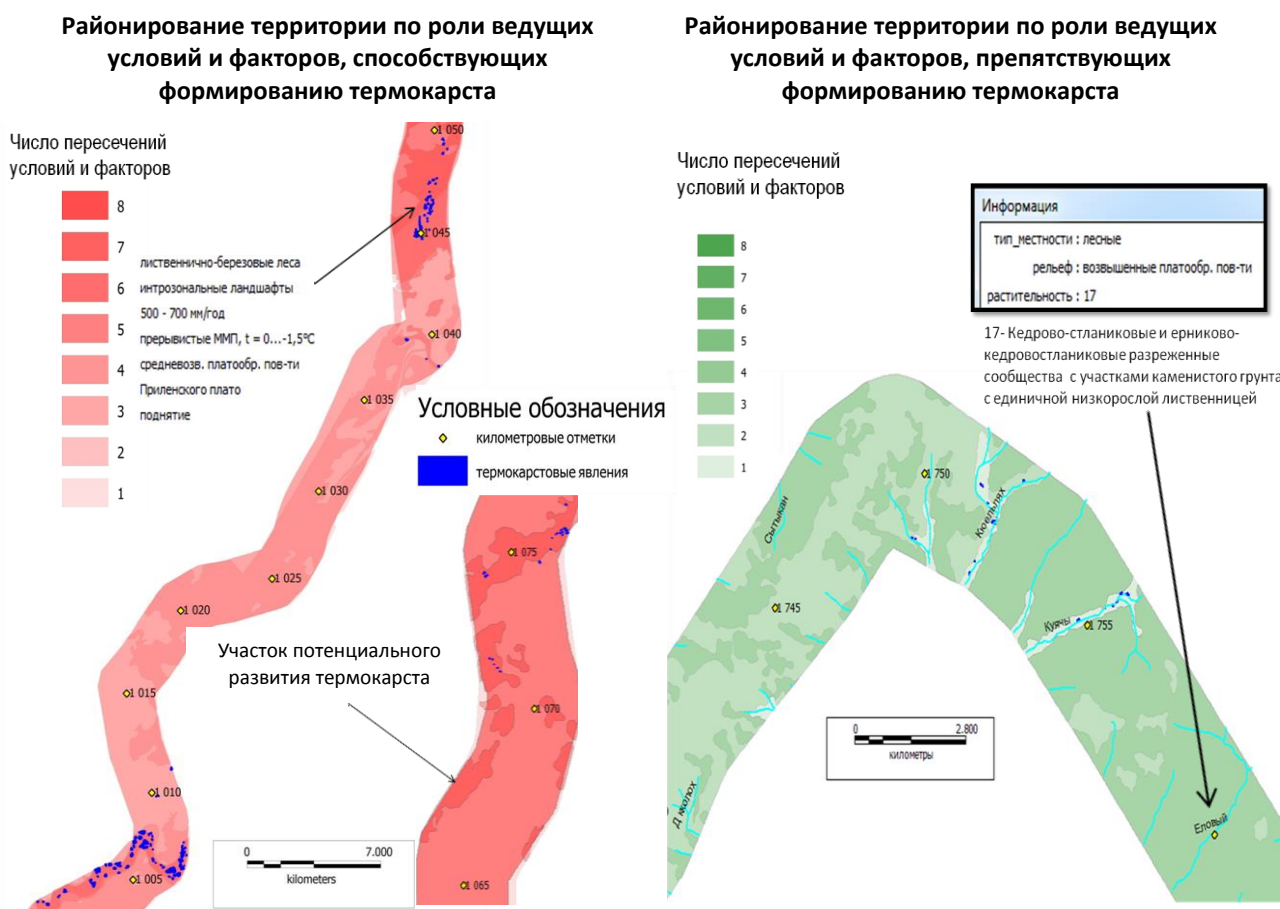


Рис. 5 - Фрагменты карт районирования участка вдоль нефтепровода на территории республики Саха (Якутия)

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.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

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

1. Разработана региональная типизация термокарста по приуроченности явлений к участкам изменения природных ландшафтов и к участкам приложения техногенной нагрузки. Выделены эталоны дешифрирования для каждого типа. 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 распространено 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.

2. Разработана методика районирования территории по роли природных и техногенных условий и факторов в распространении явлений термокарста.

3. Выявлено, что участки наиболее широкого распространения явлений (в среднем, на каждом третьем километре трассы) проходят по территории Нюе-Олекминской и Олекмо-Алданской увалистых провинций, где в пределах долинного комплекса развиты ПЖЛ.

4. Впервые предложены количественные критерии зависимости термокарстовых явлений от природных условий и факторов.

5. 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.

6. 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. Выявлены общие зависимости распространения термокарста на равнинных участках трассы, а именно прямая зависимость с тонкодисперсными четвертичными отложениями со сплошным распространением ММП мощностью 100-200 м. В пределах равнинных территорий 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.

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

*В пределах плиты Сибирской платформы:*

Распространение явлений термокарста связано зонами поднятий. Сохраняются общие зависимости распространения термокарста, выявленные вдоль всей трассы нефтепровода. 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.

Выявлено широкое распространение явлений 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:*

Распространение явлений термокарста связано с зоной 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 простирания), 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:*

Выявлена связь 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). Выявлено широкое распространение явлений термокарста по группам ландшафтов с ПЖЛ.

8. Выявлена значимая корреляция между распространением природных и техногенных явлений термокарста. Прохождение нефтепровода (тепловые воздействия) по участкам распространения природных явлений термокарста типов №1, №3, №5, №8 и №9, а также механические нарушения на участках природных явлений термокарста типа №8 и нарушения естественного стока на участках распространения явлений типов №2 и №4 следует считать местами потенциально развития техногенного термокарста.

9. Статистически подтверждена связь между распространением участков проведения инженерных мероприятий и явлений термокарста. Сравнение дистанционных данных за период 2010 - 2011 гг. позволило выявить низкую эффективность устранения осадок грунта методом гравийных отсыпок.

10. 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.

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.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### В изданиях, включенных в базы Scopus:

1. **Makarycheva E.M.** Thermokarst phenomenon typification approaches near the southern border of the permafrost zone // Engineering Geology for Society and Territory. Vol. 1. Springer International Publishing Switzerland, Torino, 2015, p. 331-334.
2. Novikov P., **Makarycheva E.**, Larionov V.. Model of Permafrost Thaw Halo Formation Around a Pipeline // Engineering Geology for Society and Territory. Vol. 6, Springer International Publishing Switzerland, Torino, 2015, p. 405-408.

### Публикации в журналах из перечня ВАК

3. **Макарычева Е. М.**, Угаров А. Н., Малаева Н. С.. Оценка динамики развития экзогенных геологических процессов по данным аэровизуальных обследований трубопроводных систем // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение", 2013. с. 114-121.
4. **Макарычева Е.М.**, Ларионов В.И., Новиков П.А. Экспериментальные исследования ореола оттаивания для верификации и калибровки прогнозных математических моделей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Естественные науки", Спец. выпуск «Математическое моделирование», 2013. с. 109-116.

### Прочие публикации:

5. **Макарычева Е.М.**, Мерзляков В.П., Миронов О.К., Бесперстова Н.А.. Анализ распространения термокарстовых явлений вдоль протяженного линейного сооружения с помощью вероятностно-статистического метода // В сб. докладов расширенного заседания Научного Совета по криологии Земли РАН «Актуальные проблемы геокриологии». Т.2. - М.: "КДУ", "Университетская книга", 2018, с. 69-76.
6. **Makarycheva E.M., Merzlyakov V.P., Besperstova N.A.** Thermokarst Phenomena Distribution Regularities Investigated In Various Geographic And Geological Conditions Using Probabilistic-Statistical Method // Journal of international conference: "Earth's Cryosphere: Past, Present and Future. Pushchino, Moscow region, Russia, 2017, p.61.
7. Тананаев Н.И., Хамедов В.А., **Макарычева Е.М.** Природные и техноприродные процессы состояние и динамика береговой черты Хантайского водохранилища в южной части акватории (залив Рубча) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017, № 1, с. 50-57.
8. Сергеев Д.О., Перльштейн Г.З., Мерзляков В.П., Хименков А.Н., Типенко Г.С., Власов А.Н., Станиловская Ю.В., **Макарычева Е.М.** Геоэкологические риски функционирования ведущих природно-технических комплексов на территории криолитозоны России // в сб.: Вопросы географии. Сб. 142: География полярных регионов. Отв. Ред. В.М.Котляков. М.: Издательский дом «Кодекс». 2016, с. 57-75.
9. **Makarycheva E.** Analysis Of Regional Formation Regularities Of Thermokarst Processes On The Basis Of Ground-Field And Remote Monitoring Data // ICOP Proceedings, Potsdam. 2016, p.907
10. **Макарычева Е.М.**, Капралова В.Н., Сергеев Д.О. Анализ режима водной поверхности термокарстовых озёр в горах Северного Забайкалья // «ГЕОРИСК-2015», Материалы 9-й Международной научно-практической конференции. 2015. С. 477-483.



11. **Makarycheva E.M.** Thermokarst processes formation along linear objects (an example of long distance oil pipeline in Siberia) // Journal of International Geographical Union Regional Conference “Geography, Culture and Society for Our Future Earth” at Lomonosov Moscow State University (LMSU), Moscow, Russia. 2015, p. 94.

12. **Makarycheva E.M.** Regional Formation Regularities of Thermokarst Processes in the South of the Eastern Siberia // Journal of international conference: “Permafrost in XXI Century: basic and applied researches”, Pushchino, Moscow region, Russia. 2015, p.70.

13. Sergeev D., Perlshtein G., Stanilovskaya J., Utkina I., Aleksyutina D., Bezdelova A., Kapralova V., **Makarycheva E.** Chara Permafrost Monitoring Results: Local Variability and Regional Trends // Journal of international conference: EUCOP IV, Evora. 2014, p.503.

14. **Makarycheva E. M.**, Sergeev D. O., Kapralova V. N., Jin H.. Water level regime of thermokarst lakes in mountainous areas // Journal of international conference: EUCOP IV, Evora. 2014, p.206.

15. **Makarycheva E.M.** Thermokarst phenomenon typification approaches near south border of permafrost zone. // Journal of international conference: «Earth Cryology: XXI Century». 2013, pp. 108-109.

16. **Е.М.Макарычева**, Д.О.Сергеев, Ю.В.Станиловская, Г.З.Перльштейн, А.Н.Хименков. Аэровизуальные обследования как источник геокриологической информации и их роль в обеспечении устойчивого развития территории // В сб.: Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии. Вып. 15. 2013 с. 449-454.

17. **Е.М. Makarycheva**, D.O. Sergeev, G.Z. Perlshtein, A.N. Khimenkov, J.V. Khalilova. Assessment of geocryological hazards in the land reclamation of the Central Yamal // International Symposium on Changing Cryosphere. Sanya, China. 2012. pp. 18.

18. Sergeev D.O., Stanilovskaya J.V., Perlshtein G.Z., Khimenkov A.N., **Makarycheva E.M.**, Ugarov A.N. Ranking of geological hazards for oil pipelines' exploitation // Journal of international scientific publications: Ecology and safety. 2012, pp. 164-170.

19. **Макарычева Е.М.**, Станиловская Ю.В., Сергеев Д.О., Перльштейн Г.З., Хименков А.Н., Угаров А.Н.. Аэровизуальные обследования как источник геокриологической информации // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению (TICOP). Т. 5: Тюмень: Печатник, 2012. с.192-193.

20. **Makarycheva E.M.**, Stanilovskaya Yu.V., Sergeev D.O., Perlshtein G.Z., Khimenkov A.N., Ugarov A.N.. Aerovisual Observations as a Source of Geocryological Information // Tenth International Conference on Permafrost. Vol.4/1. Ekaterinburg, Russia, 2012. pp. 348-349.

21. Сергеев Д.О., Халилова Ю.В., Перльштейн Г.З., Хименков А.Н., **Макарычева Е.М.**, Угаров А.Н.. Идентификация, диагностика и ранжирование геокриологических опасностей для протяжённых трубопроводов и других линейных объектов // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению. Т. 3, 2012, с. 463-466.

22. Sergeev D.O., Khalilova J.V., Perlshtein G.Z., Khimenkov A.N., **Makarycheva E.M.**, Ugarov A.N.. Identification, Diagnostics and Ranking of Geocryological Hazards for Lengthy Pipelines and Other Linear Structures // Tenth International Conference on Permafrost. Vol.2. Ekaterinburg, Russia. 2012. pp. 382-384.