

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ ОБУЧАЮЩИХСЯ
«НАУКА, ТВОРЧЕСТВО, ДУХОВНОСТЬ»**

Направление: География

**Тема: Мониторинг многолетней мерзлоты с помощью космических снимков
(на примере с. Мырыла, Чурапчинского района)**

Соискатель: Белолюбский Виталий Игоревич, ученик 8-го класса

Научный руководитель: Егорова Виктория Иннокентьевна

**Место выполнения работы: МБОУ «Соловьевская СОШ», Чурапчинский улус,
РС(Я)**

Аннотация

В условиях глобального потепления проблема деградации многолетней мерзлоты приобретает особую актуальность, особенно для территорий криолитозоны Якутии, где изменения мерзлотных условий напрямую влияют на природные ландшафты и устойчивость инфраструктуры. В докладе рассматриваются возможности мониторинга состояния многолетней мерзлоты с использованием данных дистанционного зондирования Земли на примере села Мырьла Чурапчинского района Республики Саха (Якутия).

Цель исследования заключается в анализе динамики состояния многолетней мерзлоты и выявлении признаков её деградации на основе многовременных спутниковых снимков. В работе использованы методы дистанционного зондирования Земли, геоинформационного анализа и сравнительно-географического подхода. В качестве исходных данных применялись космические снимки платформ Landsat и Google Earth за период 2016–2024 гг.

Результаты исследования показали увеличение количества и площади термокарстовых форм рельефа (быллары, дюёдя, тымпы, аласы, термокарстовые озёра), снижение устойчивости поверхностных грунтов, локальные просадки и изменения растительного покрова. Выявлена связь активизации термокарстовых процессов как с климатическими факторами, так и с антропогенным воздействием.

Сделан вывод о высокой эффективности спутниковых данных для выявления и анализа процессов деградации многолетней мерзлоты на локальном уровне. Полученные результаты могут быть использованы в системе мониторинга мерзлоты, при территориальном планировании и разработке мер адаптации к климатическим изменениям.

Структура работы

	Стр.
Аннотация	2
Введение	4
Глава 1. Теоретические основы мониторинга многолетней мерзлоты с использованием данных дистанционного зондирования Земли	7
Понятие и особенности многолетней мерзлоты	7
Роль спутниковых данных в изучении многолетней мерзлоты	8
Глава 2. Анализ состояния многолетней мерзлоты по спутниковым снимкам на примере с. Мырыла, Чурапчинского района	10
Общая характеристика района исследования	10
Анализ состояния многолетней мерзлоты по спутниковым снимкам	11
Заключение	14
Использованная литература	15
Приложение	16

Введение

В последние десятилетия под воздействием глобальных климатических изменений наблюдается активное таяние и деградация многолетней мерзлоты, что приводит к изменению ландшафтов, просадке грунтов, деформации инфраструктуры и изменению гидрологического режима. Поэтому вопрос регулярного и достоверного мониторинга состояния мерзлоты приобретает особую актуальность.

Современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) открывают новые возможности для изучения динамики мерзлоты. Космические снимки позволяют отслеживать изменения поверхности — развитие термокарстовых форм, изменение растительного покрова и водных объектов — что дает возможность косвенно оценивать процессы деградации мерзлоты без проведения масштабных наземных исследований.

Село Мырыла Чурапчинского района выбрано в качестве примера для данного исследования, так как территория характеризуется высокой чувствительностью к климатическим изменениям и наличием разнообразных форм рельефа, связанных с криогенными процессами. Мониторинг этой территории с использованием спутниковых данных позволяет выявить особенности изменения состояния многолетней мерзлоты на локальном уровне.

Проблема исследования. В условиях глобального потепления наблюдается ускоренная деградация многолетней мерзлоты, сопровождающаяся изменением рельефа, развитием термокарстовых процессов и нарушением природно-технических систем. Традиционные методы наблюдения за мерзлотой (геокриологические скважины, наземные измерения температуры грунтов) являются трудоёмкими, затратными и охватывают ограниченные участки территории. Возникает необходимость в разработке доступных, регулярных и масштабных методов мониторинга мерзлоты, обеспечивающих получение актуальной информации об её состоянии и динамике.

Актуальность проблемы. Мониторинг многолетней мерзлоты имеет особое значение для Якутии, где практически все объекты инфраструктуры расположены в криолитозоне. Развитие термокарста и просадка грунтов создают угрозу для жилых домов, дорог, линий связи и сельскохозяйственных угодий. Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) открывает новые возможности для комплексной оценки состояния мерзлоты и своевременного выявления негативных изменений.

Особая актуальность исследования на примере села Мырыла Чурапчинского района заключается в необходимости детального анализа локальных процессов деградации мерзлоты, характерных для центральной Якутии, где фиксируются одни из наиболее выраженных изменений за последние десятилетия.

Объект исследования — многолетняя мерзлота на территории села Мырыла, Чурапчинского района.

Предмет исследования — изменения состояния многолетней мерзлоты, выявляемые по данным космических снимков.

Цель исследования — анализ динамики состояния многолетней мерзлоты в окрестностях с. Мырыла с применением космических снимков.

Гипотеза исследования. Если использовать данные космических снимков высокой и средней пространственной разрешающей способности, то можно выявить закономерности деградации многолетней мерзлоты и определить зоны повышенной динамичности термокарстовых процессов в районе с. Мырыла. Таким образом, дистанционный мониторинг

способен стать эффективной альтернативой или дополнением традиционным геокриологическим методам наблюдения.

Задачи исследования:

1. Изучить теоретические основы мониторинга мерзлоты методами дистанционного зондирования.
2. Подобрать и обработать спутниковые снимки исследуемой территории.
3. Провести анализ изменений поверхности, отражающих динамику мерзлоты.

Научные методы исследования:

- Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) — анализ многовременных спутниковых снимков.
- Геоинформационный анализ (ГИС) — обработка, дешифрирование и картографирование изменений.
- Сравнительно-географический метод — сопоставление данных разных временных периодов.
- Аналитико-статистический метод — количественная оценка изменений площади термокарстовых форм.

Научная новизна:

- В исследовании впервые проводится детальный анализ состояния многолетней мерзлоты в районе с. Мырыла с использованием многовременных спутниковых данных.
- Определены пространственные закономерности деградации мерзлоты на локальном уровне.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы:

- для региональных и муниципальных органов при составлении программ адаптации к климатическим изменениям;
- в научно-образовательной деятельности, как пример применения ДЗЗ для изучения природных процессов;
- для создания баз данных мониторинга мерзлоты и прогнозирования развития термокарстовых процессов.

Теоретическая часть. Многолетняя мерзлота – это часть верхнего слоя земной коры, характеризующаяся отрицательной температурой горных пород и почв, отсутствием периодического оттаивания.

Особенностями многолетней мерзлоты являются высокая чувствительность к изменениям климата, наличие ледяных линз и склонность к образованию термокарстовых процессов при деградации.

Спутниковые данные играют ключевую роль в мониторинге криолитозоны, так как позволяют получать информацию о больших территориях, включая труднодоступные районы. Снимки дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) помогают отслеживать изменения температуры поверхности, влажности, структуры почвы и растительного покрова. Использование многоспектральных и радарных спутников обеспечивает высокую точность оценки процессов деформации поверхности, связанных с оттаиванием вечной мерзлоты.

Практическая часть. Село Мырыла расположено на юго-восточной части Чурапчинского района, на берегу реки Амга. Село находится в 85 км. от улусного центра. Соловьевский наслег граничит на юге с Усть-Майским улусом, на востоке с Таттинским. Общая площадь земель Соловьевского наслега составляет 271,2 тыс.га.

Использование многолетних спутниковых снимков показывает увеличение количества термокарстовых озёр и расширение мерзлотных форм рельефа (ие, дюёдя, быллары, тымпы, аласы, булгуннях) вокруг села Мырыла. Сравнение данных за разные годы позволяет выявить снижение стабильности поверхностных грунтов и локальное проседание территории. На многоспектральных снимках хорошо различимы участки изменения растительности и нарастающая фрагментация ландшафта.

Структура работы. Исследовательская работа состоит из введения, 2 глав, заключения, использованная литература и приложения.

Приложение. В приложении имеются космические снимки мерзлотных форм рельефа с Мырыла с 2016 по 2024 год, а также их сравнительный анализ.

Выводы:

- Изученные спутниковые снимки показывают увеличение и расширение мерзлотных форм рельефа вокруг села.
- Данные свидетельствуют о деградации многолетней мерзлоты, росте термокарстовых форм и сокращении мощностей мерзлого слоя, что подтверждает тенденцию регионального потепления.
- Исследование показало, что космические снимки являются эффективным инструментом для мониторинга состояния многолетней мерзлоты и оценки её деградации.
- Результаты подтверждают гипотезу о возможности выявления закономерностей деградации мерзлоты с использованием космических данных.

Глава 1. Теоретические основы мониторинга многолетней мерзлоты с использованием данных дистанционного зондирования Земли

1.1. Понятие и особенности многолетней мерзлоты

Здесь тайга стоит упрямо
В первозданной чистоте,
снится ей клыкастый мамонт,
спящий в вечной мерзлоте.
Иван Федосеев – Доосо

В природном облике Якутии, и её хозяйственной деятельности ключевую роль играет многолетняя мерзлота — грунты и отложения, длительно (много лет и столетий) находящиеся при температуре ниже 0 °С.

В географическом энциклопедическом словаре, термину «многолетняя мерзлота» дают следующее определение, «это мёрзлые горные породы, сцементированные замёрзшей в них влагой и характеризующиеся многолетним циклом промерзания — протаивания; то же, что вечная мерзлота» [Трещников А.Ф., 1988].

Иннокентий Иннокентьевич Жирков, в учебнике «География Якутии», к многолетней мерзлоте относит любые горные породы с температурой ниже нуля градусов. Мощность многолетней мерзлоты бывает разной [Жирков И.И., 2007].

А в учебном пособии «Край родной Чурапчинский», авторы определяют многолетнюю мерзлоту как, «одно из уникальных явлений природы Якутии, представляющий собой горные породы, которые имеют температуру ниже нуля градусов в течении длительного времени» [Аржакова А.А., 2024].

Анализ приведённых определений показывает, что в основе всех формулировок лежит представление о горных породах, длительно находящихся при температурах ниже 0 °С, однако источники различаются в деталях: энциклопедический словарь подчёркивает роль ледового цементирования и приравнивает понятие к вечной мерзлоте, Жирков даёт более простую температурную характеристику и отмечает вариативность мощности, а Аржакова акцентирует уникальность явления для Якутии. Такое многообразие подходов подчёркивает необходимость чёткой терминологии в научных исследованиях, инженерных расчётах и образовательных материалах, особенно в условиях изменения климата и активного освоения северных территорий.

Ниже рассмотрим *особенности многолетней мерзлоты* в Якутии.

Главной особенностью свойств многолетней мерзлоты является её льдистость. Подземный лед делится на два типа. Первый — жильный (чистый лед в виде клиньев, прослоев и линз), образуется в трещинах и при сезонном поступлении воды постепенно нарастает, разрывая породы; такие ледяные тела при оттаивании вызывают выпучивание, термокарст и образование булгунняхов, былларов, байджарахов и затем аласов (стадии: быллар, дюедя, тымпы, алас). Второй тип — поровый лед, замёрзшая влага в порах пород, цементирует частицы и делает грунт прочным, но делает мерзлоту водонепроницаемой. Это усиливает поверхностный сток и весенние паводки, ограничивает глубокое просачивание воды, зато сохраняет влагу в верхнем слое, что важно для растительности сухого региона. Близкая мерзлота ограничивает глубину корней (лиственницы 60–70 см), из-за чего деревья легко падают. На побережьях вечная мерзлота подвержена термоабразии — обрушению берегов (до 10–20 м в год), что приводит к исчезновению островов и потере гнездовых мест у птиц. В целом подземные льды формируют рельеф,

гидрологию и экосистемы региона и при потеплении представляют серьёзную угрозу ландшафту и хозяйству.

Многолетняя мерзлота прямо и косвенно формирует жизненные условия животных и птиц: она определяет расположение и устойчивость мест гнездования и нор, влияет на доступность кормовых территорий через изменение гидрологического режима и растительного покрова. Таяние или нарушение дернового слоя приводит к утрате убежищ и изменению биотопов, тогда как образование новых термокарстовых озёр и лугов создаёт новые, иногда благоприятные участки для определённых видов. В результате динамика мерзлоты вызывает перестройку сообществ и перераспределение видов, что требует мониторинга и мер по охране местообитаний при планировании хозяйственной деятельности. Таким образом, многолетняя мерзлота оказывает многостороннее и часто критическое воздействие на природу региона.

Подводя итоги, можно сказать, что многолетняя мерзлота в Якутии — сложная и крайне значимая природная система, сильно влияющая на рельеф, гидрологию, биогеохимию и хозяйственную деятельность региона. Её особенности — обширное распространение, значительная мощность, высокая ледонасыщенность — обуславливают особые риски и потребности в адаптации при изменяющемся климате. Для устойчивого развития территории необходимы сочетание постоянного мониторинга, научных исследований и внедрения инженерных и планировочных мер, которые позволят минимизировать ущерб от деградации мерзлоты и использовать потенциал региона с учётом экологической безопасности.

1.2. Роль спутниковых данных в изучении многолетней мерзлоты

Спутниковые данные сегодня становятся ключевым инструментом в изучении многолетней мерзлоты: они дают синоптическое, повторяемое и историческое покрытие труднодоступных территорий, позволяют выявлять и отслеживать пространственные изменения рельефа и гидрологии, связанные с оттаиванием

Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса — незаменимый инструмент изучения и постоянного мониторинга нашей планеты, помогающий эффективно использовать и управлять ее ресурсами.

Для исследования термокарстовых ландшафтов и особенностей растительного покрова необходимо иметь космические снимки за многолетний период времени. В настоящее время этому условию удовлетворяют космические снимки с космических аппаратов Landsat с более чем 50-летним архивом спутниковых данных. Следовательно, данные дистанционного зондирования открывают перспективные возможности для мониторинга изменения состояния термокарстовых ландшафтов и особенно для получения количественных параметров динамики площадей их поверхности, это подтверждается опытом использования ДЗЗ для мониторинга состояния разных компонент окружающей среды [Книжников Ю.Ф., 1991].

Также для мониторинга многолетней мерзлоты использовали космические снимки платформы Google Earth с 2016 по 2024 годы.

Для исследования динамики термокарстовых процессов и растительного покрова на территории мерзлоты используются разновременные снимки, при обработке которых используются либо раздельная обработка снимков (снимки анализируются отдельно и затем сравниваются между собой), либо совместная обработка совокупности разновременных снимков, которые геометрически совмещаются и обрабатываются вместе, подобно многозональному снимку [Книжников Ю.Ф., 1991, 2004].

Особенностями многолетней мерзлоты являются высокая чувствительность к изменениям климата, наличие ледяных линз и склонность к образованию термокарстовых процессов при деградации.

Спутниковые данные играют ключевую роль в мониторинге криолитозоны, так как позволяют получать информацию о больших территориях, включая труднодоступные районы. Снимки дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) помогают отслеживать изменения температуры поверхности, влажности, структуры почвы и растительного покрова. Использование многоспектральных и радарных спутников обеспечивает высокую точность оценки процессов деформации поверхности, связанных с оттаиванием вечной мерзлоты.

Глава 2. Анализ состояния многолетней мерзлоты по спутниковым снимкам на примере с. Мырыла, Чурапчинского района

2.1. Общая характеристика района исследования

Чурапчинский улус расположен в зоне сплошной многолетней мерзлоты. В северо-западной части территории Соловьевского наслега мощность многолетнемерзлых пород составляет 500 м, а в остальной части мощность равен 150-500 м. В последние годы в Чурапчинском улусе начались серьезные проблемы, связанные с изменениями, разрушением и обводнением поверхности аласов, усилением термокарстовых процессов.

Село Мырыла расположено на юго-восточной части Чурапчинского района, на берегу реки Амга. Село находится в 85 км. от улусного центра. Соловьевский наслег граничит на юге с Усть-Майским улусом, на востоке с Таттинским. Общая площадь земель Соловьевского наслега составляет 271,2 тыс.га.

Поверхность Чурапчинского улуса. Занимает восточную часть Центральноякутской равнины Якутии. Рельеф равнинный, представляет собой возвышенную равнину - водораздел между реками Лена и Амга, принято эту территорию называть Лено-Амгинским междуречьем. Рельеф улуса по высотам разделяется на две части: пологая и возвышенная часть.

Юго-восточная часть. Более возвышенная, расположена на Приленском плато (или Лено-Алданское плато), занимает междуречье рек Амга и Алдан. Поверхность холмистая, возвышенности имеют высоты от 300 - 400 метров. Здесь находится самая высокая отметка Чурапчинского улуса - 383 метров, на водоразделе между речкой Кехей (правый приток реки Амга) и речкой Хосулуччума (левый приток реки Куолума). Река Амга и таёжные реки образовали мелкодолинные формы рельефа - долины таёжных рек и от юряхов, а также аласов.

Наш улус занимает часть нижнего течения реки Амга, и в этой части реки характерна более широкая долина (хочо) и пойма (кытыл) шириной около 2 км. На пойме встречаются невысокие гривы и пологие ложбины. Пойма состоит из трех частей: низкая, средняя и высокая поймы. В основном освоен только левый берег нижней Амги и таёжные реки, впадающие в реку Амга слева. Аласы распространены, но их не так много, как в северной части улуса.

В Чурапчинском улусе распространены мерзлотные почвы средней тайги: палевые, палевые осолоделые и комплекс аласных почв. Распространенный тип почв мерзлотные палевые почвы развиты под лиственнично - брусничной тайгой. в анах, на равнинах и плоских участках междутечий распространены мерзлотные лугово - болотные мерзл. В долинах мелких таежных рек в условиях умеренного и временно - избыточного увлажнения распространены мерзлотные дерново-луговые и лугово-болотные почвы. Главной проблемой почв улуса является их засоленность, связанная с засушливостью и недостаточным увлажнением. Отдельными пятнами встречаются солончаки.

Рельеф является одним из основных факторов почвообразования. Междолинные и межбалочные пространства представляют собой сильно пересеченную бугристо - западинную поверхность, поросшую густой лиственничной труднопроходимой тайгой. Пологие склоны лесов, обращенные в сторону аласов и речных долин, осваиваются под пашню. Более пониженные участки террас с луговой и лугово - болотной, местами солончаковой растительностью, используются как сенокосные угодья.

Мерзлотные аласные почвы широко развиты на преобладающей части территории Чурапчинского улуса. По влагосодержанию и теплообеспеченности этих почв, определяющих интенсивность развития того или иного почвообразовательного процесса, аласную котловину

разделяют на следующие гидротермические пояса: болотные (нижний), луговые (средний) и остепнённые (верхний).

Аласные почвы часто засолены, по типу засоления относятся к гидрокарбонатно-натриевому, реже - хлоридно-гидрокарбонатно-натриевому. Почвы высоких участков аласов повсеместно проявляют солонцоватость. Хозяйственная ценность почв аласов высокая, большая часть сенокосных угодий и пастбищ улуса находится на этих почвах.

Чурапчинский улус расположен в умеренном климатическом поясе. Климат резко континентальный. Находится под влиянием холодного Северного Ледовитого океана. Открытость к арктическим воздушным массам способствует вторжению холодного воздуха, с чем связаны похолодания и заморозки поздней весной и ранней осенью. Лето тёплое, жаркое, зима холодная и недостаточное количество осадков.

Среднегодовое количество осадков 220 мм в год. За апрель-октябрь выпадает самое большое количество осадков 183 мм. Продолжительность периода со снежным покровом 220 - 254 дня. Высота снежного покрова 30 - 40 см. В 1859 г. выпал снег мощностью 1,5 м. В 1935 г. снежный покров был выше нормы, но летом озеро Чурапча высохло.

Юго-восточная часть. Более возвышенная, расположена на Приленском плато (или Лено-Алданское плато), занимает междуречье рек Амга и Алдан. Поверхность холмистая, возвышенности имеют высоты от 300 - 400 метров. Здесь находится самая высокая отметка Чурапчинского улуса - 383 метров, на водоразделе между речкой Кехей (правый приток реки Амга) и речкой Хосулучума (левый приток реки Куолума). Река Амга и таёжные речки образовали мелкодолинные формы рельефа - долины таёжных речек и от-юряхов, а также аласов.

Улус занимает часть нижнего течения реки Амга, и в этой части реки характерна более широкая долина (хочо) и пойма (кытыл) шириной около 2 км. На пойме встречаются невысокие гривы и пологие ложбины. Пойма состоит из трех частей: низкая, средняя и высокая поймы. В основном освоен только левый берег нижней Амги и таёжные речки, впадающие в реку Амга слева. Аласы распространены, но их не так много, как в северной части улуса.

В Чурапчинском улусе нет крупных месторождений рудных полезных ископаемых. Главное богатство Чурапчинского улуса - это осадочные горные породы: глина, песок, суглинки, песчано - гравийная смесь и строительный песок. На территории нашего улуса есть разведанные запасы и месторождения осадочных горных пород. Глина кирпичная широко используется почти во всех наслеггах улуса.

2.2. Анализ состояния многолетней мерзлоты по спутниковым снимкам

В качестве объектов исследования, нами были выбраны 4 территории в пределах с. Мырыла (рис. 2.2.1.).



Рисунок 2.2.1. Карта-схема с. Мырыла с исследуемыми объектами [Google Earth, 2024]

Анализ спутниковых данных свидетельствует о постепенной деградации многолетней мерзлоты в районе исследования. Рост термокарстовых форм рельефа указывает на увеличение глубины сезонного протаивания и сокращение мощности мерзлого слоя. Это подтверждает общую тенденцию регионального потепления и изменения гидрологического режима.

На основе представленных данных можно выделить несколько ключевых выводов о динамике многолетней мерзлоты и ее изменениях на исследуемых территориях

1. Увеличение количества былларов: С каждым годом наблюдается рост числа былларов, что указывает на активизацию процессов, связанных с изменением климата и деградацией многолетней мерзлоты. Это явление может быть связано с повышением температуры и изменением гидрологического режима, что приводит к более интенсивному таянию льдов.

2. Переход дюёдя в тымпы: На карте-схеме местности «Кураанах алаас» видно, что дюёдя, которые ранее являлись более стабильными образованиями, начинают преобразовываться в тымпы. Это изменение может быть результатом как природных процессов, так и антропогенного воздействия, например, из-за свалок или других вмешательств.

3. Вытаивание подземных льдов: Объект №3 демонстрирует, что вытаивание верхней части подземных льдов приводит к провалам земли и образованию бугристо-полигональных форм рельефа. Это указывает на активные процессы деградации вечномёрзлых грунтов, что может иметь серьезные последствия для экосистемы и инфраструктуры региона.

4. Антропогенное воздействие и его последствия: Космический снимок 2022 года показывает, что прорубка просек усугубляет ситуацию с многолетней мерзлотой. Увеличение глубины сезонного протаивания из-за таких вмешательств приводит к ускоренному образованию былларов и ухудшению состояния почвы. Это подчеркивает важность учета антропогенных факторов в исследованиях и управлении природными ресурсами.

Использование многолетних спутниковых снимков показывает увеличение количества термокарстовых озёр и расширение мерзлотных форм рельефа (ие, дюёдя, быллары, тымпы, аласы,

булгуннях) вокруг села Мырыла. Сравнение данных за разные годы позволяет выявить снижение стабильности поверхностных грунтов и локальное проседание территории. На многоспектральных снимках хорошо различимы участки изменения растительности и нарастающая фрагментация ландшафта.

Анализ спутниковых данных свидетельствует о постепенной деградации многолетней мерзлоты в районе исследования. Рост термокарстовых форм рельефа указывает на увеличение глубины сезонного протаивания и сокращение мощности мерзлого слоя. Это подтверждает общую тенденцию регионального потепления и изменения гидрологического режима.

Заключение

Проведённое исследование показало, что применение технологий дистанционного зондирования Земли является эффективным инструментом для мониторинга состояния многолетней мерзлоты и оценки динамики её деградации. Анализ космических снимков окрестностей села Мырыла позволил выявить существенные изменения природных комплексов, связанные с развитием термокарстовых процессов.




Полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу о возможности выявления закономерностей деградации мерзлоты с использованием космических данных. Спутниковые снимки демонстрируют чёткие признаки фрагментации ландшафта, изменения растительного покрова и локальных просядок территории, что свидетельствует о прогрессирующем оттаивании мерзлых пород.


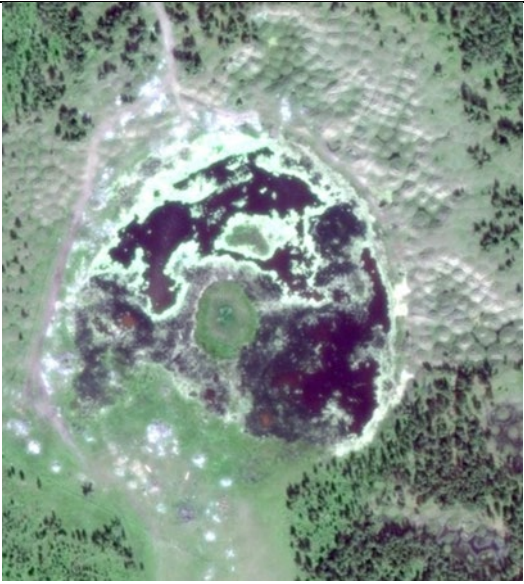

Таким образом, исследование подтверждает актуальность и необходимость внедрения современных методов дистанционного мониторинга для своевременного выявления и анализа процессов деградации многолетней мерзлоты. Полученные данные формируют основу для дальнейших наблюдений, более детальных исследований и разработки мероприятий по снижению рисков, связанных с изменением криогенных условий на территории с. Мырыла.




Использованная литература

1. Аржакова А.А. Край родной Чурапчинский : Учебное пособие по курсу «Родной край» для учащихся 5 класса / [А.А. Аржакова, А.Г. Борисова и др.; науч.ред. доцент, к.п.н. Л.С. Пахомова]; М-во образования Республики Саха (Якутия), СВФУ им. М.К. Аммосова, Институт естественных наук, МР «Чурапчинский улус», МКУ «Управление образования МР «Чурапчинский улус». – Якутск: ИП «Никифоров В.М.», 2024. – 236.
2. Атлас Чурапчинского улуса (района) Республики Саха (Якутия) : [посвящается 375-летию Ботурусского улуса / Л. С. Пахомова, к.п.н., А. Г. Борисова, М. Д. Колесова и др. ; редколлегия: А. Т. Ноговицын , М. М. Сивкова , Т. В. Павлова и др.] ; ОАО "Якутское аэрогеодезическое предприятие", Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Институт естественных наук, Кафедра географии [и др.]. - Якутск : [б. и.], 2014. - 1 атл. (72 с.)
3. Геология: пособие для школьников: в 2-х т./ Якут.гос.ун-т им. М.К. Аммосова, Гос.ком. Респ. Саха (Якутия) по геологии и недропользованию; [отв. Ред. : Л.Н. Ковалев, Н.Д. Кириллин, В.Ф. Уаров]. – Якутск: Сайдам, 2005.
4. Ершов Э.Д. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток (редакторы: Ершов Э. Д., Логинов В. Ф., Романовский Н. Н., Сычѳв К. И.). Издание: «Недра», Москва, 1989 г., 515 стр.. В книге обобщены материалы по геокриологии Восточной Сибири и Дальнего Востока.
5. Жирков И.И. География Якутии : учеб. Для 9 кл. сред. шк. / И.И. Жирков и др. – 2-е изд., перераб. – Якутск : Бичик, 2007. – 304 с.
6. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. аэрокосмические исследования динамики географических явлений. М. : изд-во Моск. ун-та, 1991. 205 с.
7. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. аэрокосмические методы географических исследований : учеб. М. : академия, 2004. 336 с.
8. Мурзин Ю. А. «Ледники Якутии» // Наука и техника. 2003. №2(5). С. 102–107.
9. Некрасов И. А. «Вечная мерзлота Якутии». Якутск: Книжное издательство, 1984.
10. Пестерев В. И. «История Якутии в лицах». Якутск: Бичик, 2001.
11. Смугина М. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР М. Сумгина. Издание: Дальне-Восточная Геофизическая Обсерватория, Владивосток, 1927 г., 372 стр..
12. Трѳшников А.Ф. Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины/ Гл. ред. А. Ф. Трѳшников; Ред. кол.: Э. Б. Алаев, П. М. Алампиев, А. Г. Воронов и др. — М., Сов. энциклопедия, 1988.— 432 с. с илл.
13. <https://www.google.com/earth/about/versions/>

Динамика изменения многолетней мерзлоты на территориях исследования

Исследуемый объект, географические координаты	Дата снимка	Космические снимки исследуемых объектов
<p>территория №1, 61°49'44" с.ш., 133°39'15" в.д.</p>	<p>Июль, 2016</p>	
	<p>Август, 2018</p>	
	<p>Июнь, 2022</p>	

	Сентябрь, 2024	
территория №2, 61°49'11" с.ш., 133°39'32" в.д.	Июль, 2016	
	Август, 2018	

	Июнь, 2022	
	Сентябрь, 2024	
территория №3, 61°50'52" с.ш., 133°35'39" в.д.	Июль, 2016	

Июнь,
2019



Июнь,
2022



Сентябрь,
2024



территория №4,
61°49'17" с.ш., 133°39'19" в.д.

Июнь,
2020



Июнь,
2022



Сентябрь,
2024

