


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ
Кафедра геоэкологии и природопользования

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Заведующий кафедрой
доктор биологических наук, доцент
 А.В. Синдирева
3.07 2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистерская диссертация

**ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И
ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ
В ПРЕДЕЛАХ ЛОКАЛЬНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА
СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

05.04.06 Экология и природопользование

Магистерская программа «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»

Выполнили работу
студенты 2 курса
очной формы обучения



Масобири Хайриддини Шахбози
Хидиров Джовид Имомалиевич

Руководитель
д.б.н., профессор



Соромотин Андрей Владимирович

Рецензент
к.г.н., доцент



Идрисов Ильдар Рустамович

Тюмень
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ	7
1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПОСЕЛКА ГАЗ-САЛЕ.....	8
1.2. РЕЛЬЕФ И ГЕОЛОГИЯ	9
1.3. ГИДРОЛОГИЯ	10
1.4. ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ.....	10
1.5. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ.....	11
1.6. КЛИМАТ.....	12
1.7. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....	13
ГЛАВА 2. ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЖАРОВ И НА УЧАСТКАХ С НАРУШЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД	15
2.1. ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЖАРОВ.....	15
2.2. ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УЧАСТКАХ С НАРУШЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ.....	18
ГЛАВА 3. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	21
3.1. ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ	21
3.2. НАЗЕМНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ	25
3.2.1. GPS ПРИБОРЫ.....	26
3.3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	28

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ НА ПОСТПИРОГЕННОМ УЧАСТКЕ В РАЙОНЕ НАРУШЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА.....	35
4.1. ПОСТИРОГЕННЫЙ УЧАСТОК.....	35
4.2.1. ПРИЧИНЫ РАЗВИТИЯ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ТОРФЯНИКОВ ВБЛИЗИ ПОСЕЛКА ГАЗ САЛЕ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КООРДИНАТЫ СЪЁМОЧНОЙ УЧАСТКИ.....	Ошибка!
Закладка не определена.	
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. КООРДИНАТЫ СЪЁМОЧНОЙ УЧАСТКИ.....	82

ВВЕДЕНИЕ

Экосистемы Арктики и Субарктики представляются безгранично уязвимыми к антропогенным и естественным изменениям. Глобальное потепление наряду с повышением антропогенной нагрузки уже в ближайшем времени будет содействовать уменьшению площади и мощности многолетнемерзлых пород с их полным протаиванием в южной части криолитозоны, что приведет к внушительным ландшафтным изменениям при строительстве и эксплуатации объектов индустриальной и общественной инфраструктуры. Любое строительство, в том числе строительство автодорог являются одним из основных факторов человеческого воздействия на тундровые геосистемы криолитозоны. В связи с этим, особую важность приобретают исследования мерзлотных почв, отображающих изменения климатических, геокриологических и ландшафтных условий [Каверин Д. А., Судакова М. С. 2022].

Природа севера чрезвычайно ранима. Даже при небольшом повышении температуры, а это неизбежно бывает при хозяйственном освоении территории – ММП протаивают. В естественных условиях в системе включаются природные механизмы саморегуляции. В периоды потепления происходит изменение почвы, растительности, гидрологического режима. Одним из регионов, где субарктические геосистемы ощущают полноценную антропогенную нагрузку наряду с климатическим потеплением, является Тазовский район Ямало-Ненецкого автономного округа. Воздействие этих изменений на подземный лед часто имеет противоположное действие влиянию повышения температуры. На фоне потепления в последние годы в тундре этого региона активизировались лесные пожары, термокарстовые и термоэрозионные процессы с негативными последствиями [Мельниченко Т. Н. 2004].

Нарушение функций ландшафта, может привести к значительному ущербу природной среды. Следовательно, трансформация ландшафтов имеет

прямую зависимость с деятельностью человечества. Именно поэтому так важны наблюдение за изменением верхнего покрова земной поверхности, которая позволяет следить за степенью трансформации природных.

Цель исследования: выявление особенностей распространения и проявления современных рельефообразующих процессов в пределах локальных морфологических комплексов на примере гарей и участков с нарушенным поверхностным стоком.

Задачи исследований:

- 1) оценить физико-географические условия района исследований;
- 2) провести обзор литературный источников о трансформации земной поверхности в результате пожаров и на участках с нарушенным поверхностным стоком в зоне распространения многолетнемерзлых пород;
- 3) выбрать методы дистанционной и наземной оценки трансформации земной поверхности в зоне распространения многолетнемерзлых пород;
- 4) провести фактическую оценку трансформации земной поверхности на гарях и на участке нарушенным поверхностным стоком в зоне распространения многолетнемерзлых пород с использованием дистанционных и наземных методов.
- 5) провести фактическую оценку трансформации земной поверхности на участке с нарушенным поверхностным стоком в зоне распространения многолетнемерзлых пород с использованием дистанционных и наземных методов.

Объекты исследования – земные поверхности, трансформированные в результате пожаров и нарушения поверхностного стока в зоне распространения вечной мерзлоты.

Предмет исследования – виды и масштабы трансформации земной поверхности с использованием наземных и дистанционных методов.

Защищаемые положения:

1. Пожар приводит к изменению рельефа местности, увеличению температуры почвы и мощности сезонно талого слоя.

2. Деградация многолетнемерзлых пород, происходящая в результате строительства автодороги в результате нарушения гидрологического режима, проявляется в виде типичных полигональных трещин природно-антропогенного генезиса.

Научная новизна. Впервые с использованием лидарной и мультиспектральной съемки, а также с использованием наземных геодезических приборов нами получены фактические данные о видах и масштабах трансформации земной поверхности на постпирогенных участках и проявлением полигональных просадок зоне влияния автодороги.

Практическая значимость. На двух объектах организованы геодинамические полигоны, выявлены линейные размеры и микрорельефные особенности экзогенных проявлений трансформации поверхности на момент обследования, установлены репера, что позволит в последствии проводить мониторинговые наблюдения за развитием экзогенных процессов, а также температурным режимом многолетнемерзлых пород.

ГЛАВА I. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Данное исследование проводило в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, недалеко от поселка Газ-Сале



Рис.1.Тазовский район на карте ЯНАО

К Тазовскому району относятся Гыданский и Тазовский полуострова, нижняя и средняя часть бассейна р.Таз до створа Красноселькуп, акватории Тазовской, Гыданской и Юрацкой губ. В свою очередь Гыданский полуостров

разделен заливами на полуострова меньшего размера (Явай, Мамонта, Олений). Гыданский полуостров представляет собой пологоволнистую морскую аккумулятивную равнину. В основании полуострова залегают палеозойские породы, перекрытые моренными, флювиогляциальными, а на побережьях морскими четвертичными отложениями. Протяженность полуострова с запада на восток около 400 км. Северная часть полуострова представляет собой плоскую, местами всхолмленную равнину высотой до 70-80 м. Равнинное место приблизительно на 90% лежит в пределах на высоты до 100 м над уровнем моря. Отсюда множество озер и болот. Заболоченные места среди водоразделов, возвышенность которых местами превышают 200 м над уровнем моря. Правобережная, материковая часть представляет собой всхолмленное плато с небольшим уклоном на север. Наиболее приподнятые и возвышенности участки низменности располагаются на юге округа в пределах Сибирских увалов. Большая часть района находится на Гыданском полуострове [Бессонов Е.А. 2022].

Районный центр-посёлок Тазовский, находится в 200-х км севернее Полярного круга. Практически вся территория района находится в арктической зоне и самые северные из них находятся более чем на 700 км севернее Полярного круга. В состав муниципального образования Тазовский входят 5 поселений: это - поселок Тазовский и села Антипаюта, Гыда, Газ-Сале и Находка. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тазовский_район]

1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПОСЕЛКА ГАЗ-САЛЕ

Исследуемые территории расположены недалеко от поселка Газ-Сале, который находится в Тазовском округе Ямало-Ненецкого автономного округа. Поселок расположен на берегу реки Таз, в 25 км от Тазовского, районного центра. С северной стороны территория ограничена рекой Таз, которая проходит с юго-востока на северо-запад.

1.2. РЕЛЬЕФ И ГЕОЛОГИЯ

Округ имеет равнинный рельеф с небольшими абсолютными отметками, которые незначительно снижаются в центральной части, где расположены долины рек Надыма, Таза и Пура. Эти заболоченные участки соответствуют Пуровской, Надымской и Тазовской низменностям. Абсолютные высоты колеблются от 15 до 50 м, русла рек имеют слабое изрезание и сильно извилисты. Меньшие по размерам низменности находятся на Гыданском полуострове и называются Мессояхская, Пяку-Толькинская и Таманская. Рельеф территории характеризуется слабым и средним эрозионным расчленением. Глубина расчленения варьирует от 5 до 20 м для террас и от 25 до 50 м для морских равнин [Шныт Л.Ф. 2010].

Территория, на которой проводится исследование, частично относится к молодой эпигерцинской Западно-Сибирской плите. Ее нижний структурно-тектонический ярус состоит из пород кристалльного фундамента, которые перекрыты морскими и континентальными осадочными образованиями разных систем - юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной. Эти породы образуют мощный мезозойско-кайнозойский платформенный чехол.

Дочетвертичные породы представлены верхнеолигоценовыми зелеными озерными алевритами с хлоритом, а четвертичные отложения - верхне-неоплейстоценовыми озерно-аллювиальными отложениями второй надпойменной террасы (супеси, пески, суглинки) и аллювиальными отложениями первой надпойменной лоджий (супеси, пески, суглинки, торф).

На территории обширно распространены прогрессивные аллювиальные отложения, состоящие из хорошо сортированных мелкозернистых песков. Мощность сезонного отложения может варьировать от 0,3 до 2,5 м, при этом наибольшая мощность (2,0-2,5 м) наблюдается на залесенных, заливаемых отделениях пойм, где поверхностные и подземные воды оказывают согревающее воздействие [Шныт Л.Ф. 2018] [Скрыльников А.В. 2012].

1.3. ГИДРОЛОГИЯ

Территория округа имеет более 21 тысяч квадратных километров водной поверхности, которая включает в себя 50 тысяч рек, речек и ручьев. Общая длина всех водотоков составляет 291 тысячу километров, а самые длинные реки в округе - Обь, Пур, Таз, Пякупур, Айваседапур, Надым, Полуй и Щучья [Шныт Л.Ф. 2010].

Озера в округе возникают благодаря глетчерному и термокарстовому происхождению, а крупнейшие из них - Хасато, Ямбуто и Ярато - расположены на севере территории. В Тазовском районе насчитывается около 19 тысяч озер, питание которых осуществляется снегом и дождем [Атлас..., 2004].

Более крупные термокарстовые озера находятся на слабо дренированных поверхностях, и их глубина может достигать 6-10 метров. Морфология озер зависит от состава и льдистости вмещающих отложений, а также от возраста озер.

Заболоченность территории округа вызвана слабым дренажем, а среднегодовое количество осадков составляет около 370 мм, преимущественно выпадающих в теплый период года (с апреля по октябрь). В связи с дефицитом тепла выпадающее количество осадков оказывается избыточным, а испарение на протяжении всего года меньше выпадающих осадков, что поддерживает относительную влажность на высоком уровне - 65-70 %.

1.4. ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

На территории Тазовского района сменяются две природные зоны: тундра и лесотундра соответственно прослеживается зональность в распределении основных типов почв. Среди зональных таежно-поверхностно-глеевых почв выделяется несколько видов: типичные таежно-поверхностно-глеевые, охристо-элювиально-глеевые, подзолисто-элювиально-глеевые.

Типичные таежно-поверхностно-глеевые почвы развиваются на плоских элементах рельефа под лиственнично-еловым редколесьем с кустарничковым покровом на тяжелых (глинистых) почвообразующих породах. Почвы характеризуются кислой реакцией, по всему профилю дают положительную реакцию на воднорастворимое двухвалентное железо [Абакумов и др., 2016].

Торфяные почвы развиваются в условиях болотных почвообразующих процессов, при избыточном увлажнении атмосферными осадками или грунтовыми водами. Они имеют относительно примитивный почвенный профиль, состоящий из торфяного или торфяно-глеевого горизонтов. [<https://tasu.ru/files/stp-pz-tazovski-y-r-n.pdf>]

1.5. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Территория Тазовского полуострова входит в состав тундровой и лесотундровой (бореально-субарктической) зон Западной Сибири. Здесь растительность представлена сложным сочетанием тундр, болот, лиственничных редколесий и лесов. Значительное флористическое и фитоценотическое разнообразие привлекало к себе внимание многих исследователей. Основные особенности растительности Тазовского полуострова отражены в работах Б. Н. Городкова [1935], В. Д. Александровой [1977], Л. И. Мельцер [1982, 1984], Н. Г. Москаленко [1990].

В южных субарктических тундрах Тазовского полуострова можно выделить две полосы второго порядка, которые различаются по степени распространения, высоте и сомкнутости зарослей кустарников. Северная полоса характеризуется меньшей плотностью и высотой кустарников по сравнению с южной полосой. В зарослях кустарников, расположенных вдоль речных долин южной полосы, можно встретить древовидные кустарники, такие как ольховник на глинисто-илистых субстратах и ив на песках. На поймах рек и надпойменных террасах можно найти редколесья из лиственницы. Болотная растительность занимает более 25% территории южной полосы [Валеева, Московченко, с.2].

1.6. КЛИМАТ

Ямало-Ненецкий автономный округ простирается через три климатических пояса: арктический, субарктический и умеренный. Климат округа характеризуется суровыми условиями, которые отличаются продолжительной зимой (32 недели в тундре и 26 недель в зоне тайги), длительным залеганием снежного покрова (более 260 дней на Крайнем Севере и 210 на юге), короткими переходными периодами (весной - 7-9 недель, осенью - 6-7 недель), коротким холодным летом, а также поздними весенними и ранними осенними заморозками. В целом, климат округа соответствует климату полярных пустынь и тундры в арктическом поясе и лесотундры в субарктическом поясе, а также климату тайги в умеренном поясе [Атлас...,2004].

Для анализа климатических факторов использовались данные метеостанции «Тазовский» с 2013 по 2022 г. Среднегодовая температура меняется от минус 3,1°С до минус 8,4°С, составляя в среднем минус 6,1°С. (Таблица 1,2)

Таблица 1

Климатические характеристики

Годы	М е с я ц ы												Средн. годов.	Средн. летн.	Средн. зимн.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-7,4	13,4	-24,2
2014	29,2	21,3	27,8	-8,5	2,2	9,2	19,0	12,0	3,1	6,2	14,4	22,0	-8,4	10,0	-26,9
2015	34,9	29,1	12,6	-8,3	1,9	7,8	13,0	9,3	2,5	9,6	20,8	16,6	-5,8	12,7	-24,0
2016	28,4	23,0	14,5	-4,5	1,3	13,0	15,0	10,1	4,2	6,8	15,2	20,7	-4,9	15,1	-21,3
2017	19,9	14,0	14,3	-5,2	3,5	14,7	18,6	12,0	9,0	3,2	22,9	29,9	-5,6	11,9	-20,6
2018	25,6	23,4	-7,1	12,5	5,2	9,8	15,8	10,0	3,3	3,0	15,8	12,9	-7,0	12,4	-22,1
2019	22,5	23,3	22,6	12,8	7,1	12,0	14,1	11,0	6,5	1,1	17,1	20,6	-5,6	13,1	-21,9
2020	24,5	23,6	10,2	11,7	2,7	7,5	18,0	13,8	5,4	3,1	17,9	17,7	-3,1	13,4	-19,9
2021	20,4	14,3	12,4	-3,0	4,4	10,5	14,2	15,6	8,5	4,9	10,5	25,0	-8,1	11,3	-29,8
2022	-	-	-	-6,9	0,5	8,2	12,5	13,2	5,7	-	-	-	-8,1	11,3	-29,8

	30,8	33,1	23,3							1,5	16,4	25,5			
2022	- 20,5	- 19,4	- 17,6	-8,3	2,7	13,4	15,2	12,6	4,0	- 0,1	- 19,7	- 21,3	-4,9	13,7	-20,4

Таблица 2

Скорость ветра по направлениям, м/с

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Тазовский	5,7	4,7	5,4	4,6	5,0	4,0	4,3	4,2	4,6	3,4	4,4	4,7	4,6

1.7. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Распространение, мощность и температура многолетней мерзлоты зависят прежде всего от зональных факторов природной среды. Температура и мощность многолетней мерзлоты колеблются в большом диапазоне: от -9 до 0 градусов Цельсия и от 400-500 м до 5-25 м. Изменение температуры закономерно и определяется широтной зональностью и ландшафтной структурой внутри зон. Она повышается с юга на север и выше в минеральных грунтах, по сравнению с органогенными. На севере она зависит не только от климата, но и от возраста рельефа, связанного со временем выхода морских и гляциально-морских равнин и террас из-под уровня моря [Атлас..., 2004].

Сезонное промерзание и протаивание почвогрунтов в районе Газ-Сале наблюдается практически повсюду. Основным параметром сезонного промерзания и протаивания является их глубина, то есть мощность сезонно-мерзлотного и сезонно-талого слоев. Общий диапазон изменения глубины слоя сезонного протаивания составляет от 0,2 до 2 метров, а сезонного промерзания - от 0,4 до 3 метров (Рис. 2)

Оттаявший термокарст неспособен удерживать воду в объеме из близлежащих озер. Вода стекает по оттаявшему грунту и по склону рельефа в низины. Дальнейшая динамика деградации озер в Тазовском районе будет определяться совокупностью погодных факторов, таких как увеличение температуры в зимнее время и повышение среднегодовых осадков в летний период [Свириденко С.П. 2008].

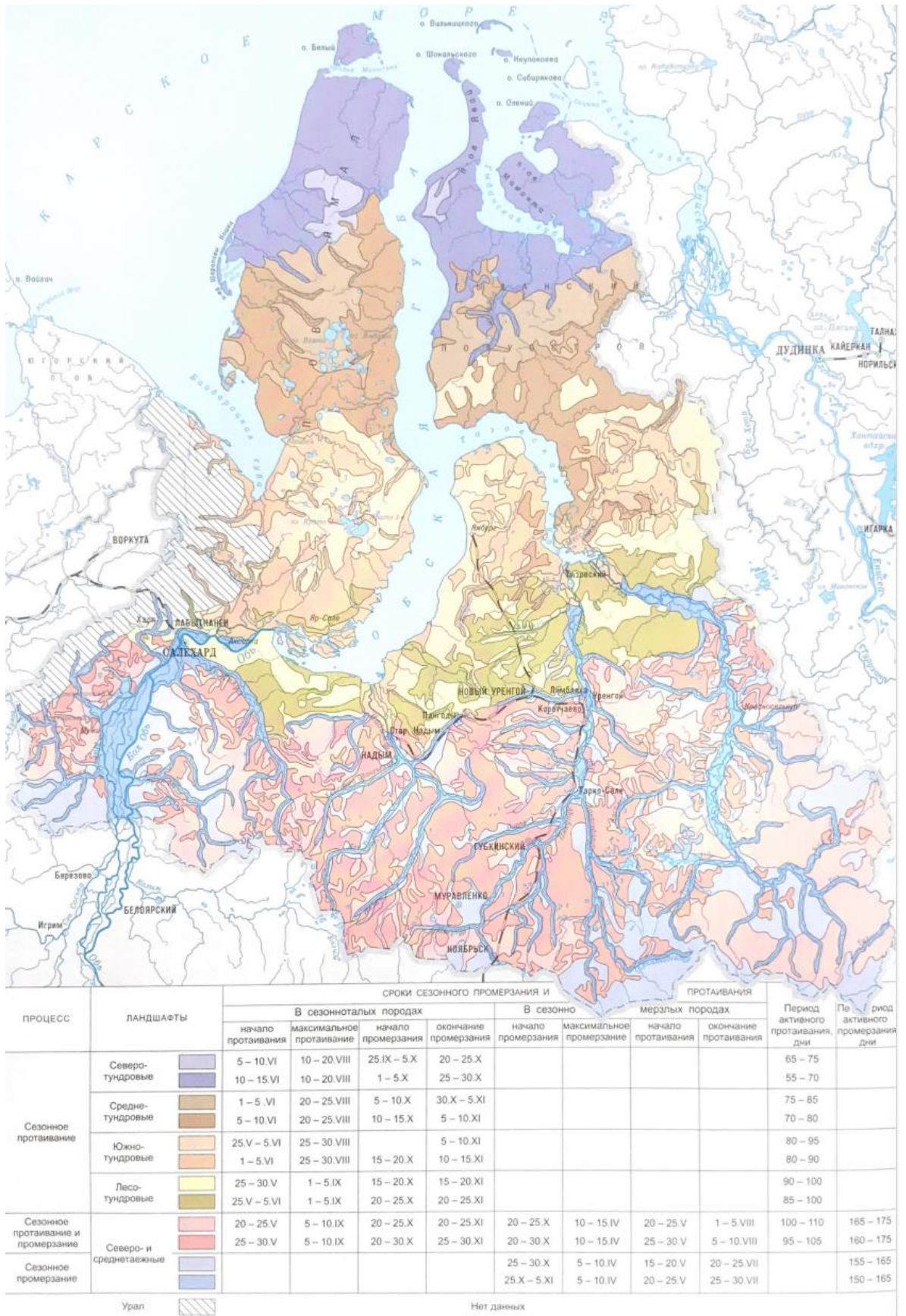


Рис.2. Карта криолитозоны ЯНАО

ГЛАВА 2. ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЖАРОВ И НА УЧАСТКАХ С НАРУШЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

2.1. ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЖАРОВ

Пожары в настоящее время является важным нарушением в сибирской тундре и может увеличиться в региональном масштабе, частоте и серьезности в Арктике при более теплых климатических условиях, но в настоящее время он не представлен адекватно в региональных моделях. Увеличение частоты пожаров может привести к быстрому высвобождению большого количества почвенного углерода [Sitch et al., 2007].

В быстро прогрессирующей Арктике происходят изменения, которые могут повлиять на глобальный углеродный баланс. Одним из ключевых процессов является переход к типам растительности с более высокой биомассой, что свидетельствует о более сильном поглощении углерода. Этот сдвиг предсказывается биоклиматическими моделями на основе абиотических климатических факторов, но он не всегда подтверждается наблюдениями. Недавние исследования подчеркивают роль возмущений в этом сдвиге – 40 % исследуемой территории было сожжено в течение 60-летнего периода. Три четверти выжженных участков представляли собой сухую тундру. Примерно на 10 % исследуемой территории произошло два-три пожара с интервалом 15-60 лет, что свидетельствует о более коротком интервале возврата пожаров, чем в северных районах центральной Сибири (130-350 лет). Смена растительности (в течение 60-летнего периода) произошла на 40 %-85 % выжженных территорий. Все территории, пострадавшие от пожаров, были равнинными, поэтому влияние рельефа не было обнаружено. Напротив, на ненарушенных территориях переход растительности наблюдался только на 6

%-15 % территорий, характеризующихся более крутыми топографическими склонами [Sizov et al, 2021].

Увеличение масштабов, тяжести и частоты пожаров при продолжающемся потеплении климата может способствовать широкомасштабному изменению растительности или необратимому таянию вечной мерзлоты [Talucci et al., 2022].

Пожар влияет на углеродный цикл и климат в экосистемах – изменяя свойства поверхности земли и потоки энергии, такие как состав растительности, альбедо и испарение [Lasslop et al., 2019].

В северных широтах (бореальные, субарктические и арктические районы) лесные пожары и выпас оленей - два основных нарушения, которые влияют на структуру и динамику растительности (Köster et al., 2013; Narita et al., 2015), что в свою очередь вызывает сдвиги в экосистемных процессах, например, в круговороте питательных веществ и экологических взаимодействиях.

Пожар уменьшает покрытие лишайников и бриофитов (Joly et al., 2009), но усиливает рост трав и кустарников (Barrett et al., 2012; Narita et al., 2015). Landhausser и Wein (1993) наблюдали, что леса на Северо-Западных территориях Канады продвигаются в экотоне лес - тундра после сильного лесного пожара.

Установлено, что мена растительности от сухой тундры к лесу тесно связана с пожарами. На ненарушенных участках, где не было пожаров, только 6 % площади южной тундры за 60-летний период заросло деревьями. Это число увеличилось до 15 % площади в экотоне лесотундры и северной тайги. Сдвиг на ненарушенной территории был чувствителен к топографии, и деревья появлялись в основном на умеренных склонах. На участках, пострадавших от пожара, после того же периода растительность с преобладанием деревьев уже занимала 40 %-85 % площади прежней сухой тундры в экотоне лесотундры и северной тайги [Sizov et al, 2021].

Лесные пожары относительно редки в экосистемах субарктической тундры, но они могут сильно изменить свойства экосистемы. Частота тундровых пожаров в тундре будет увеличиваться с потеплением климата. Установлено, что температура почвы, глубина оттаивания вечной мерзлоты и общий растительный покров восстановились до уровня, существовавшего до пожара через >44 года, а также общий растительный покров. В отличие от этого, через >44 года функциональные группы не восстановились до состояния до пожара. На выжженных участках было меньше лишайников и больше бриофитов и кустарников. Доминирующий вид кустарника, *Betula nana*, демонстрировал более высокую жизнеспособность (более высокая удельная площадь листьев и высота растений) на выжженных участках по сравнению с контрольными, что свидетельствует о наследии пожара в росте кустарников. Восстановление после пожара в сухой субарктической тундре с преобладанием лишайников происходит очень медленно и что экосистема не достигает состояния до пожара даже спустя почти полвека. восстановление после пожара в сухой субарктической тундре с преобладанием лишайников происходит очень медленно и что экосистема не достигает состояния до пожара даже спустя почти полвека [Ramona et al., 2021].

Вызванное пожаром повреждение растительного покрова приводит к повышению температуры почвы за счет уменьшения скрытого теплового потока [Lasslop et al., 2019]. Пожары удаляют части изолирующего органического слоя почвы, что приводит к деградации вечной мерзлоты, потере торфяного плато и углублению сезонно оттаивающего активного слоя над вечной мерзлотой, что связано с увеличением микробного дыхания почвы [Gibson et al, 2018].

ВЫВОДЫ:

Таким образом, в результате пожаров в тундре изменяется растительный покров, с преимущественно лишайникового, на травянисто-кустарниковый. В результате выгорания органического горизонта почвы и растительного

покрова, а также изменения альbedo поверхности, происходит деградация вечной мерзлоты.

2.2. ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УЧАСТКАХ С НАРУШЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ

В период строительства и эксплуатации линейных сооружений (автодорог) важно учитывать сложности инженерно-геокриологических условий территории со сложными мерзлотными процессами (термокарста, термоэрозии и других процессов). Они могут быть причинами природных опасностей [Гидрология заб..., 2009].

Проявлений криогенных процессов в зоне влияния автодороги может быть очень серьезным: от незначительных признаков – заболачивание территории и развития полигонального микрорельефа.

Установлено, что быстрая деградация верхней мерзлоты и необратимые изменения в болотных системах полигональных торфяников происходят при антропогенных нарушениях, в частности, изменении естественного гидрологического режима при строительстве линейных объектов [Pastukhov et al., 2021]. Так, исследования на европейском северо-востоке с использованием высокочастотного георадара показали, что строительство и эксплуатация дорожной насыпи с твердым цементно-бетонным покрытием, пересекающей торфяные плато в южной мерзлоте, привело к отступлению уровня мерзлоты до 8 м, а эффект потепления от строительства дороги повлиял на поле шириной 50 м. В придорожных понижениях создаются благоприятные условия для заболачивания, роста высоких кустарников, а также накопления снега [Kaverin et al., 2018]. Сочетание этих факторов активизирует термокарстовые процессы [Fortier et al., 2011], что приводит к значительному отступлению уровня вечной мерзлоты в местах воздействия дорог.

Анализ с помощью георадарных исследований в зоне влияния автодороги на мерзлых грунтах показал, что зона отепляющего воздействия

дороги в результате изменения гидрологического режима исследуемого торфяника превышает 50 м. Наиболее значительное отступление мерзлотной толщи (до 2-3 м) наблюдалось непосредственно у подошвы откоса насыпи дороги, сложенной рыхлыми песчаными и песчано-суглинистыми грунтами. Основными причинами оседания уровня вечной мерзлоты является трансформация природных условий, обеспечивающих функционирование экосистемы полигонального торфяника. В придорожных понижениях создаются благоприятные условия для заболачивания, роста высоких кустарников, а также накопления снега [Kaverin et al., 2018]. В естественных региональных экосистемах оседание мерзлоты менее выражено, по сравнению с зоной прерывистой мерзлоты на Европейском Севере. Это объясняется большей устойчивостью низкотемпературной сплошной мерзлоты на севере Западной Сибири. При нарушении экосистем мерзлота в почвенно-геокриологических комплексах частично оттаивает, но при благоприятных экологических условиях возможна и повторная деградация мерзлоты. В связи с этим необходимо уделять внимание защите и сохранению мерзлотных торфяников и применять концепцию экосистемных услуг при использовании торфяников при строительстве объектов инфраструктуры. При проектировании и строительстве линейных объектов необходимо устраивать достаточное количество водопропускных труб для поддержания естественного уровня режима болотных вод. Меры по предотвращению или уменьшению негативных последствий для линейных сооружений заключаются в составлении сетки линий стока болотных вод, определении мест и расчете размеров водопропускных труб [Гидрология заболоченных..., 2009].

Дифференциальная просадка до 0,85 м влияет на подъездную дорогу к аэропорту Умиуджак в Нунавике (Квебек), Канада, расположенную в зоне прерывистой вечной мерзлоты была вызвана оттаиванием слоя ила, богатого льдом, под поверхностным слоем песка автодороги. Толстая насыпь действует как снежный заслон, способствуя накоплению снега на плечах насыпи.

Деградация вечной мерзлоты также обусловлена теплоизоляцией снежного покрова, снижающего потери тепла на обочинах насыпи [Fortier et al., 2011].

Строительство автодороги способствовало затоплению близлежащего торфяника, что привело к изменению гидротермического режима и растительного покрова, повышению температуры верхней мерзлоты, а также деградациии почвенно-геокриологического комплекса. Такое техногенное воздействие превысило потенциальную устойчивость торфяника как болотной системы, и, следовательно, может вызвать необратимые процессы деструкции [Pastukhov et al., 2021].

ВЫВОДЫ:

Таким образом, строительство линейных сооружений, каких как автодороги, в зоне распространения ММП приводит к изменению гидротермического режима на прилегающей территории, активизирует термокарстовые процессы.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Дистанционный метод исследования - это метод, использующий информацию, собранную с помощью дистанционных средств наблюдения (например, спутников, летательных аппаратов, дронов) для анализа объектов и явлений, находящихся на земной поверхности или в атмосфере, без непосредственного контакта с ними. В современном мире дистанционный метод исследования широко используется в различных областях, таких как география, экология, геология, метеорология, агрономия, лесоводство, транспорт и многие другие. Он позволяет получать большое количество информации о различных объектах и явлениях, находящихся на значительных расстояниях.

Преимущества использования дистанционного метода исследования включают в себя:

- возможность получения данных о местах, которые сложно или опасно достигнуть;
- возможность получения информации в режиме реального времени;
- возможность получения данных о больших территориях за короткий промежуток времени;
- возможность получения данных о состоянии объектов и явлений на различных временных и пространственных масштабах.

Дистанционный метод исследования с помощью БПЛА (беспилотных летательных аппаратов) является одним из наиболее эффективных и перспективных способов получения данных о местности и окружающей среде. БПЛА могут быть использованы, для съемки аэрофотоснимков и видео, а также для получения данных о топографии, геологических особенностях, погодных условиях и других параметрах местности.

Для исследования с помощью БПЛА используются специальные беспилотные летательные аппараты с установленными на них камерами и другими сенсорами. БПЛА могут быть оснащены различными типами камер, включая термальные, инфракрасные и мультиспектральные камеры, которые позволяют получать данные о различных параметрах местности.

Дистанционный метод исследования с помощью БПЛА может использоваться в различных областях, включая геологию, экологию, сельское хозяйство, строительство, архитектуру и туризм. БПЛА могут использоваться для оценки состояния лесов, сельскохозяйственных угодий и других природных ресурсов, а также для планирования и управления строительством и ремонтом зданий и сооружений. Дистанционный метод исследования с помощью БПЛА является быстрым, эффективным и относительно дешевым способом получения данных о местности и окружающей среде. Однако, для использования БПЛА необходимо получить соответствующие разрешения и обучиться управлению беспилотными летательными аппаратами, а также соблюдать правила безопасности полетов.

В данном участке было использовано дрон- платформа DJI Matrice 300 RTK и лидар Zenmuse L1.

DJI Matrice 300 RTK

Дрон DJI Matrice 300 RTK – универсальное устройство с расширенными возможностями искусственного интеллекта, эффективной системой позиционирования и обнаружения препятствий в 6 направлениях. Он идеально подходит для аэрофотосъемки и лазерного сканирования, а также может быть оснащен практически любой полезной нагрузкой весом до 2,7 кг и соответствующей размерам. Благодаря продуманной конструкции дрон может находиться в воздухе до 55 минут без нагрузки и до 35 минут с нагрузкой 2 кг, а также передавать данные на расстояние до 15 км. Горячая замена аккумуляторов обеспечивает непрерывную работу устройства. Корпус дрона имеет степень защиты IP45, что позволяет использовать его при температуре воздуха от -20°C до +50°C и обеспечивает устойчивость даже при порывах

ветра до 15 м/с (в некоторых условиях эксплуатации была зафиксирована работа дрона при скорости ветра 25 м/с) [<https://aeromotus.ru/product/multispektralnaya-kamera-rededge-mx/>].

Еще одно преимущество – подготовка к запуску дрона занимает всего около 2 минут. DJI Matrice 300 RTK – надежный и многофункциональный инструмент для решения разнообразных задач. (Рис 3.).



Рис. 3. Дрон-платформа DJI Matrice 300 RTK [<https://aeromotus.ru/product/multispektralnaya-kamera-rededge-mx/>].

Zenmuse L1

Камера Zenmuse L1 – многофункциональное устройство для фиксации деталей сложных структур и создания высокоточных восстановленных моделей. Она оснащена 3-осевым стабилизированным подвесом, объединяющим модуль лазерного лидара Livox Lidar, высокоточный IMU и 1-дюймовую CMOS-камеру с механическим затвором. Камера легко интегрируется с дронами DJI и проста в использовании.

Zenmuse L1 позволяет получать данные в режиме реального времени и быстро принимать взвешенные решения. Устройство имеет высокую производительность, способность охватывать до 2 км² за один полет и поддерживать до 3 возвратов. Диапазон обнаружения составляет до 450 м.

С помощью камеры Zenmuse L1 можно получать точные данные о рельефе, соответствующие топографическим планам 1:500, 1:1000, 1:2000 (в зависимости от высоты полета). Это позволяет создавать высокоточные модели сложных структур [<https://aeromotus.ru/product/multispektralnaya-kamera-rededge-mx/>] (Рис. 4).



Рис. 4. Лидар ZenmuseL1 [<https://aeromotus.ru/product/multispektralnaya-kamera-rededge-mx/>]

Мультиспектральная камера RedEdge-MX позволяет создавать ортофотопланы и индексные карты в цветах (RGB), получая данные за один полет. Этот датчик, который может быть установлен на любой беспилотный летательный аппарат, необходим не только сельскохозяйственным компаниям, но и ученым, исследователям и другим специалистам, которые предоставляют услуги в сфере анализа состояния посевов. Камера Micasense RedEdge-MX является мощным инструментом для получения точных данных [<https://aeromotus.ru/product/multispektralnaya-kamera-rededge-mx/>].

3.2. НАЗЕМНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Топографическая съёмка представляет собой один из видов геодезических исследований, которые представляют собой комплекс полевых и камеральных работ. В ходе его выполнения определяется взаимное планово-высотное расположение заданных точек на местности, которые служат основными при выявлении характеристик объекта. Такого рода работы позволяют получить топографические планы и карты в бумажном и электронном виде, а также в цифровых моделях местности [<https://www.rsgid.ru/frames/vidy-s-mok-mestnosti-ponyatie-o-vybore-masshtaba-s-mki-i-vysoty/>]. Этот вид геодезического исследования особенно востребован при поиске полезных ископаемых или в ходе выполнения геофизических работ. Топографическая съёмка проводится с помощью геодезических приборов тахеометр.

Тахеометр - это геодезический прибор, который используется для измерения горизонтальных и вертикальных углов, а также расстояния. Он применяется для определения координат и высот точек местности во время геодезических работ или топографических съёмок. Также он используется для определения координат расчетных точек на местности. Точность измерения тахеометра зависит от его технических характеристик и модели, а также от внешних параметров, таких как давление, температура, влажность и т.д. Современные тахеометры имеют точность угловых измерений до половины угловой секунды ($0^{\circ}00'00,5''$) и расстояний до $0,5 \text{ мм} + 1 \text{ мм}$ на каждый км.

Тахеометры используются для создания планов и карт местности в большом масштабе либо в сочетании с другими типами обследования. Это основной тип обследования в тех случаях, когда другие варианты не являются экономически или технически целесообразными.

Диапазон измерения расстояний тахеометром зависит от режима его работы: с отражателем на объекте измерения или без отражателя (непосредственное отражение от объекта). Дальность измерений в режиме без

отражателя зависит от отображающих параметров поверхности, на которую выполняется измерение. Наибольшая дальность прямолинейных измерений для режима с отражателем - до 5 км, а для режима без отражателя - до 1 км. Модели тахеометров без отражательного режима могут измерять расстояния до любой поверхности, но следует быть осторожным при измерении сквозь ветки, листья и другие препятствия, так как неизвестно, от чего отразится луч и какая будет дистанция до объекта [Перков А.И. Клевцов Е.В. 2015].

Топографическая съемка выполняется самостоятельно для создания планов или цифровых моделей небольших участков местности в крупных масштабах (1: 500 - 1: 5000) либо в сочетании с другими видами работ, когда выполнение стереотопографической или мензульной съемок экономически нецелесообразно или технически затруднительно. Ее результаты используют при ведении земельного или городского кадастра, для планировки населенных пунктов, проектирования отводов земель, мелиоративных мероприятий и т.д. Особенно выгодно ее применение для съемки узких полос местности при изысканиях трасс каналов, железных и автомобильных дорог, линий электропередач, трубопроводов и других протяженных линейных объектов [Перков А.И. Клевцов Е.В. 2015].

3.3. GPS П.РИБОРЫ

GPS-приборы — это геодезические приборы, которые регистрируют местоположение устройства через регулярные промежутки времени во внутренней памяти. GPS-регистраторы могут иметь либо слот для карты памяти, либо внутреннюю карту флэш-памяти и порт USB для сохранения данных координат местности. Некоторые из них действуют как USB флэш-накопитель, который позволяет загружать данные журнала отслеживания для дальнейшего компьютерного анализа. Спутниковые устройства GPS слежения будут работать в любой точке земного шара, используя спутниковые технологии, такие как GlobalStar или Iridium.

Для обычных геодезических GPS-устройств заложена точность в один процент от бит-тайма. Это соответствует 10 наносекундам, для скорости света, то есть расстояние 3 метра. подобная точность достаточна для ориентирования на местности, но не годится для строительства разных инфраструктур. Более того, продвинутые приёмники используются в высококлассных геодезических устройствах. Погрешность набирается при прохождении сигналом атмосферы, то есть это зависит от облачности и погоды, от разных препятствий, — лес, здания, тело самого владельца прибора и пр. На практике предельная точность измерения бытовых приёмников постоянно ограничена бит-таймом и составляет 3-5 м даже при применении систем SBAS и местных систем передачи поправок от наземной станции на 1 км расстояния между станциями (дифференциальный метод). До 1 мая 2000 года точность искусственно занижалась путем внесения в сигналы, передаваемые спутником, неправильных поправок [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Сильно частой погрешностью является уравнивание различных навигаторов проносом их в «в одном кармане» с попыткой сравнить приобретенные треки. Кроме того, что тело человека накрывает место спутников, тут проявляется сведущая радиоинтерференция гетеродинов приёмников, то есть они функционируют на одной частоте. При правильном испытании GPS располагаются на открытой площадке не ближе 4 метров друг от друга.

Устройства, использующие в своей работе сигнал со спутников GPS, позволено разъединить на профессиональные, обладающие высокой точностью нахождения местоположения и бытовые. Основном прибор используется в целях для геодезии и картографии, а вторые получили широкое применение в различных сферах современной жизни.

Геодезические приемники устройства, используемые для геодезических работ, используется при съемках топографических местах. Эти приборы состоят из приемочного блока (геодезической антенны, соединенной с приемо-передающим устройством) и контроллера (портативного компьютера

в промышленном исполнении). Всеобщее название для таких приемников - полевой комплект или ровер [Спутниковый приёмник — Википедия**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] [Спутниковый навигатор-(lik-o-diles.blogspot.com)].

3.4. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гарь.

Последние годы на территории поселка замечены активные криогенные процессы, которые связаны с деятельностью человека. Основные проблемы – это пожары которые за последние годы несколько раз были зафиксированы недалеко от поселка Газ-Сале, и автомобильные дороги, которые связывают поселок с другими районами и городами.

Участок исследования находится в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Расстояние от объекта до районного центра, поселка Тазовского, составляет 40 км по дороге или 32 км по прямой линии на юг. Его координаты: 67° 11' 19" северной широты, 78° 53' 27" восточной долготы (Рис. 5.). Общая площадь исследуемого участка составляет 40821 м² (4,1 га). Пожар произошел в 2016 году.



Рис. 5. Участок исследования (Google Earth).

Пожары в регионе в основном возникают из-за загорания [Kornienko, S.G., 2018.], но с ростом транспортной и поселковой инфраструктуры в регионе (в связи с эксплуатацией нефти и газа) увеличилось количество антропогенных пожаров [Mollicone, D., et al., 2006.],[Vilchek, G.E.et al.,1992.]. С 1985 по 2017 год 5% лесотундры Западной Сибири пострадало от пожаров, большинство из которых происходило в типе растительности карликовой лесотундры с преобладанием кустарников, лишайников и мхов в лесотундре с лиственничными деревьями. Частота, размер и интенсивность пожаров сильно зависят от погодных условий. Летние температуры и осадки связаны с выжигаемой и поэтому большинство пожаров возникает, когда горючий материал сухой [Валеева, Московченко, с.5].

Было проведено сравнение параметров растительности и почвы на сгоревшем участке и на прилегающий фоновом участке. Оба участка расположены непосредственно близко друг к другу (расстояние между участками <math><300\text{м}</math>) с однородными экологическими условиями с точки зрения материнской породы и рельефа (Рис 6.).

Исследуемый район находится в экотональном переходе между лесотундрой на юге и открытой безлесной кустарниковой тундрой на севере. В растительности преобладают лишайники (в основном *Cladonia stellaris* и *Cladonia rangiferina*), которые покрывают толстым слоем около 70% поверхности почвы, кустарники, такие как *Betula nana* (около 25% покрытия), и карликовые кустарники, такие как *Vaccinium uliginosum* (около 10% покрытия). [Ramona J. et al., 2021]. Травы и граминоиды, а также бриофиты гораздо менее многочисленны. В основном открытый ландшафт редко усеян лиственницами (*Larix sibirica*), единственным видом деревьев, встречающимся на территории нашего исследования [Ramona J. et al., 2021]. Почвы представляют собой криосоли [IUSS Working Group WRB..., 2015.] которые развивались в лессовидном, алевроитовом материнском материале [Ramona J. et al., 2021.].

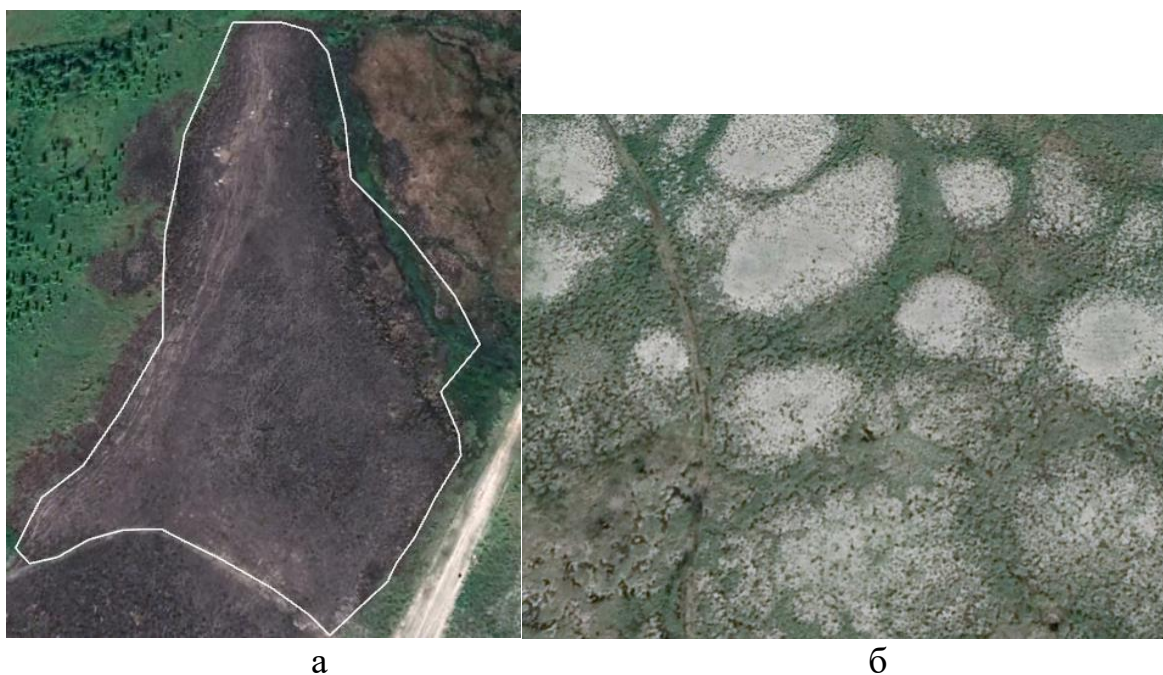


Рис. 6. Исследуемые участки. Вид с космоса. (а - гарь, б - фон)

Были измерены температура почвы и глубина оттаивания вечной мерзлоты на гарях и фоновых участках с помощью термометра и металлической палочки. Максимальное, минимальное и среднее значения были рассчитаны для каждого участка. Затем были построены линейные модели изменения температуры на разных глубинах. Для этого был выбран

квадрат размером 10х10 метров, точки измерений расположены через каждые 2 метра (Рис. 7.).



Рис. 7. Измерение температур на участках исследования (слева- гарь, справа- фон)

Измерение температур пород проводились на поверхности, на глубине 10 см и 50 см. Общее количество точек на гарь составляет 36 штук.

Участок криогенных полигональных трещин около п. Газ-Сале

Насыпные и грунтовые дороги зимой промерзают и служат препятствием поверхностному и подерновому стоку. Последний объединяется с эрозийным термокарстом вдоль дорог, и в результате формируются линейные рытвины, прорезы и промоины. Именно так, вдоль дороги до поселка Газ-Сале формировались овраги глубиной до 2 м [Качур А.Н., Скрылник Г.П.].

Объекты исследований находятся по дороге на въезде в село Газ-Сале Тазовского района, расположены в 155 километрах к северу от Полярного Круга в зоне тундры. (Рис. 8.) Исследуемые озера образуют каскад термокарстовых озёр, которые активно деградируют в последнее время.



Рис. 8. Исследуемый участок полигональных трещин. (Google Earth)

Антропогенный фактор – это воздействие человека и его деятельности на ландшафт, биосферу, природу. В настоящий момент в районе Газ - Сале ведутся очень активные разработки нефтегазоносных месторождений и для их обустройства потребуются значительное количество строительного материала, в том числе песка. Для этой цели песок берется из рядом размещенных исследуемых термокарстовых озёр. Наблюдается устойчивое изменение ландшафта и климата в сторону потепления, что отразится на состоянии и деградации термокарстовых озёр.

Геокриологические условия посёлок Газ- Сале. Посёлок находится в зоне сплошного распространение многолетнемерзлых толщ, мощность до 250 метров. Мерзлые толщи существуют при температурах грунта -4 градусов С.

В криолитозоне широко развиты подземные льды, находящиеся в мёрзлых породах в виде мономинеральных ледяных образований. Наибольшее распространение имеют полигонально-жильные льды, формирующиеся в дисперсных породах по морозобойным трещинам при среднегодовых температурах ниже -4 градус С. Обычно их конфигурация в плане представляет собой систему взаимно перпендикулярных вертикальных трещин глубиной до 2- 3 м, разбивающих массив пород на полигоны различных размеров. Кровля ММП (подошва сезонно талого слоя) выделяется по высокоамплитудному отражению радиосигнала, и глубина её залегания подтверждается следствиями замеров металлическим щупом. Данные

отображения от кровли ММП в границах полигонального болота располагается во временном промежутке 20-30 нс, увеличиваясь под дорогой до 50 нс и особенно под придорожным снижением [Каверин Д. А., Судакова М. С 2022].

Более того, многолетнемерзлой кровли на исследуемой участке автодороги существенно меньше таковых (8-10 м). Это может быть связано с относительно невысокими температурами многолетнемерзлых пород в болотных геосистемах Тазовского района. Естественно под дорожной насыпью кровля ММП залегает на внушительной глубине (до 3 и более метров). Однако, если не учитывать возвышенность насыпной и песчаной толщи, в погребенных торфяных отложениях многолетнемерзлая кровля располагается в пределах непринужденных глубин залегания, исключительно в определенных местах снижаясь на 0,3 м [Абакумов Е. В. Алексеев И. И.].

Возможно, подобная специфика залегания кровли многолетнемерзлых пород определена значительным замораживанием очищаемой от снега дорожной насыпи в зимний период, а еще увеличенной температуропроводностью песочных грунтов летом [Каверин Д. А., Судакова М. С 2022].

В приведенной для данной местности модели глубина ММП под насыпью едентична как у ненарушенных участков, а глубина залегания многолетнемерзлой кровли у основания дороги не превышает даже 3 м. Прием ручного зондирования позволяет определить разновидности глубины сезонного протаивания до 1,3 м в пределах полигональных болот и пересекающих их придорожных понижений.

В мочажинах мощность сезонноталого слоя увеличивается лишь на 20%, еще в большей степени глубина сезонного протаивания возрастает в краевых долях торфянистых полигонов. В придорожных снижениях кровля ММП залегает поглубже 1 м. Главными отепляющими условиями в снижениях представляются лишняя объемная влажность почв (до 100%), большой объем

кустарниковой растительности (до 2 и более метров), обуславливающей усиление снегонакопления [Атлас..., 2004].

ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ НА ПОСТПИРОГЕННОМ УЧАСТКЕ В РАЙОНЕ НАРУШЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

4.1. ПОСТИРОГЕННЫЙ УЧАСТОК

Изменение температуры грунтов

На поверхности почвы максимальная значения температур составляет 37,7°C, минимальная 25,7°C и средняя 33,8°C. На глубине 10 см максимальная 17,6°C минимальная 13,4°C и средняя 15,4°C. На глубине 50 см максимальная 11,2°C минимальная 9,5°C и средняя 10,3°C. На фоновых участках количество точек составляет 36 штук на поверхности почвы максимальная значения температур составляет 40,1°C, минимальная 20,1°C и средняя 29,6°C. На глубине 10 см максимальная 16,1°C минимальная 9,3°C и средняя 12,8°C. На глубине 50 см максимальная 9,7°C минимальная 6,9°C и средняя 8,8°C (Рис. 9.).

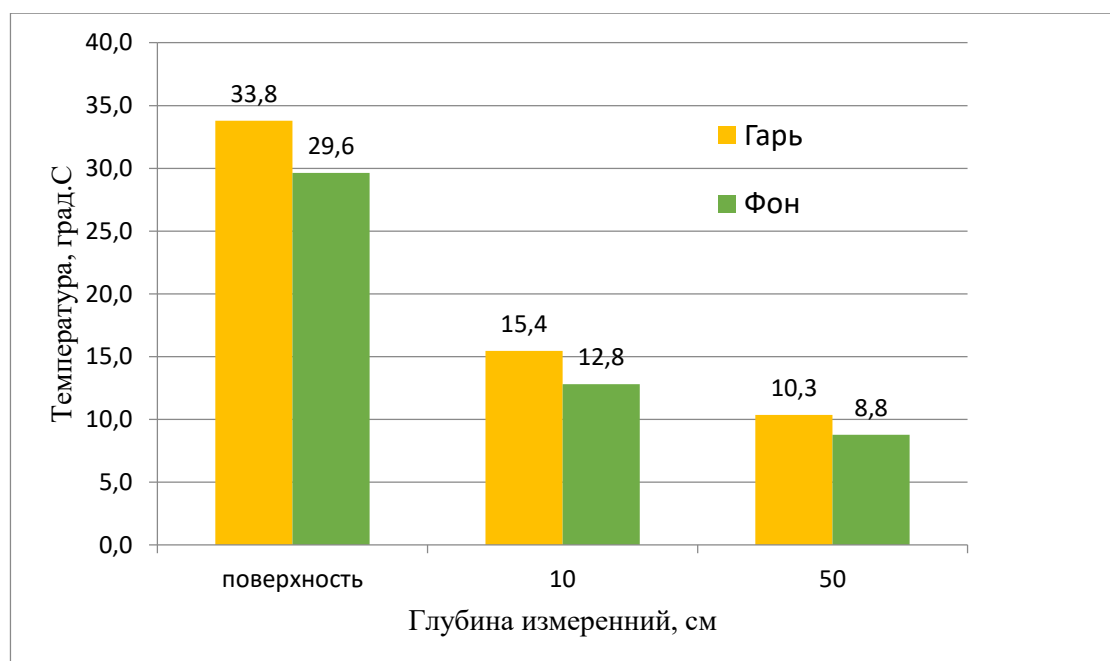


Рис. 9. Изменение температур на разных глубинах (фон/гарь) Автор: Масобири Х.Ш

Затем, было проведено измерение глубины оттаивания вечной мерзлоты и составлено график изменение температур пород на разных глубинах (Рис. 10.).

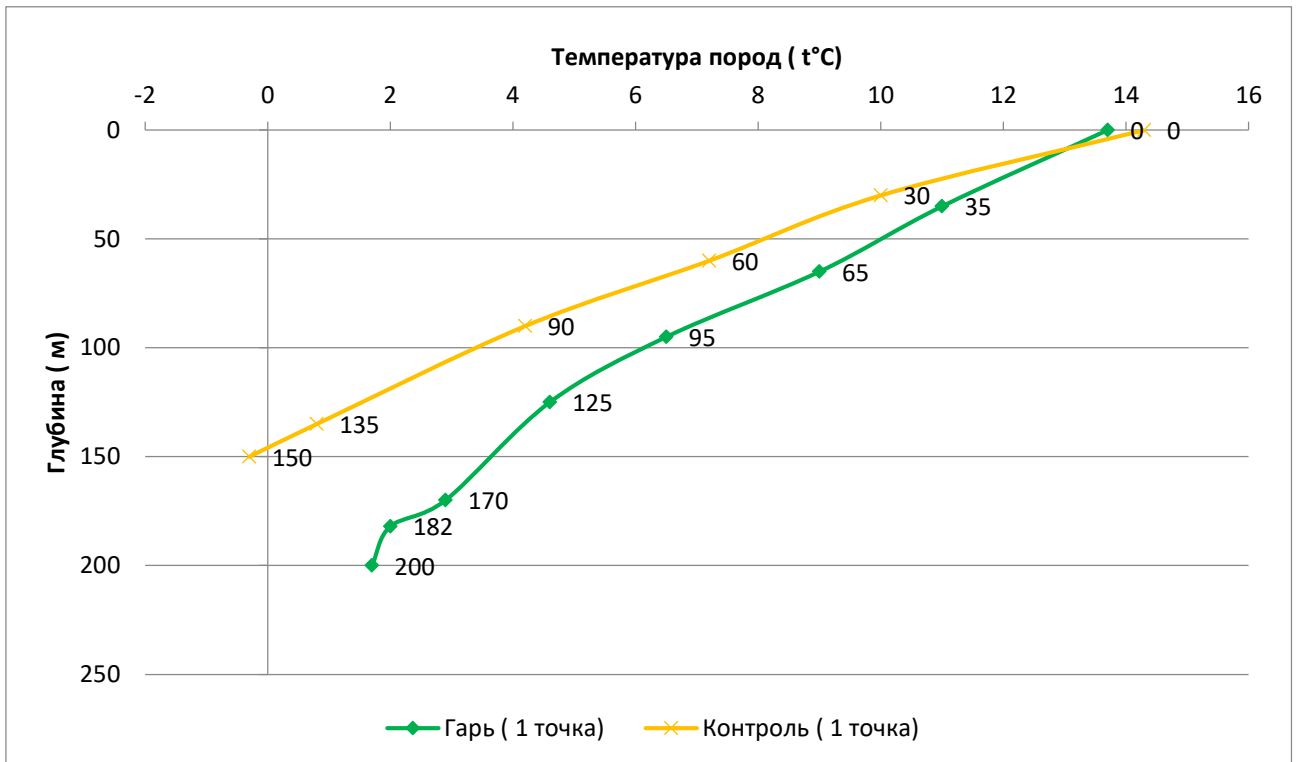


Рис. 10. Глубина оттаивания. Автор: Масобири Х.Ш

Для измерения глубины оттаивания на фоновом участке было выбрано 4 точки, две из которых располагались на возвышенностях (кочках), а измерения проводились на глубине от 1,4 до 1,7 метров. На глубине 1,5 метра была обнаружена мерзлота методом шупа, а температура пород составляла $-0,3^{\circ}\text{C}$.

На гарях были выбраны три точки, расположенные на определенном расстоянии друг от друга. Измерения проводились на глубину до двух метров от поверхности участка исследования. На нарушенном участке мерзлота не была обнаружена, и результаты геофизических исследований показали, что кровля мерзлоты опустилась ниже.

По завершении измерения температуры пород и глубины оттаивания вечной мерзлоты была проведена тахеометрическая съемка участка исследования с использованием электронного тахеометра Nikon NPL-332. Начальная обработка данных была выполнена в программе GeoTerminal.

Программа GeoTerminal позволяет принимать, передавать и обрабатывать данные из тахеометров и нивелиров в различных форматах и интерфейсах (usb флешка, кабель, файл).

Из-за пожара рельеф местности изменился, поэтому на топографической карте исследуемого участка расстояние между горизонталями составляет 0,1 м, а на фоновом участке - 0,2 м. Кроме того, на основе карты можно провести дополнительные исследования, направленные на изучение влияния пожара на экосистему и возможные последствия для окружающей среды.

Передача данных:

- Прием данных из тахеометров и нивелиров
- Передача данных в тахеометры и нивелиры
- Чтение файлов EXCEL (*.xls, *xlsx), DXF (AUTOCAD) и

ТХТ

При помощи данной программе скачивали координаты точек с тахеометра в формате txt- файл и загрузили в excel. (Приложение 1)

Второй этап обработки проводилось в AutoCAD (Рис. 11.). AutoCAD – это коммерческое автоматизированного проектирования (CAD) и черчения. Разработанный и продаваемый Autodesk, AutoCAD был впервые выпущен в декабре 1982 года как настольное приложение, работающее на микрокомпьютерах со встроенными графическими контроллерами. AutoCAD в основном используется для двумерных чертежей, и хотя 3D-моделирование доступно в AutoCAD, для 3D-моделирования предпочтительнее другое программное обеспечение для автоматизированного проектирования, такое как Fusion 360, Inventor и Solidworks. AutoCAD используется в промышленности архитекторами, руководителями проектов, инженерами, графическими дизайнерами, градостроителями и другими специалистами.

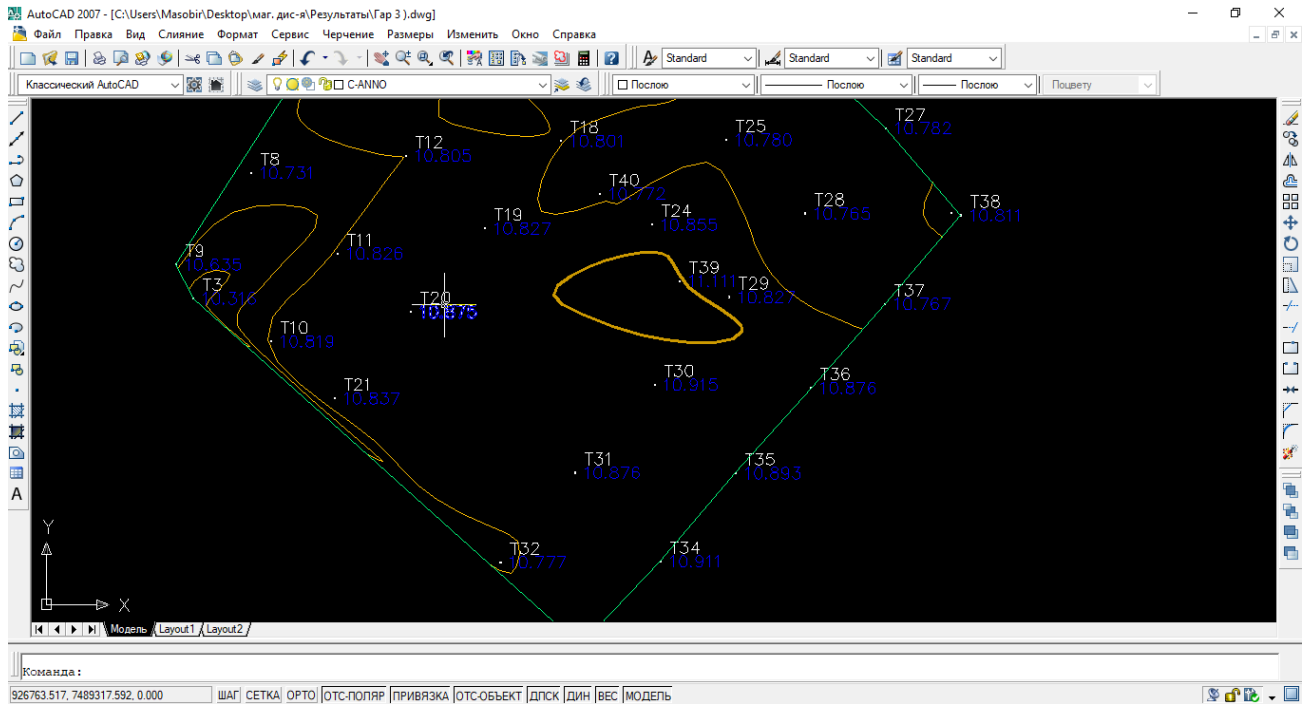


Рис. 11. Процесс обработки и создание рельеф исследуемого участка.

Для составления топографической карты гари и фонового участка были использованы данные, полученные в результате съемки на точках, где измерялась температура. Картографические работы были выполнены на основе всех имеющихся данных и представлены на рисунках 12 и 13.

Данная топографическая карта была составлена на абсолютные координаты, а система высот имеет абсолютные отметки.

Карта позволяет получить детальное представление о рельефе территории и изменениях, произошедших в результате пожара. На горях были установлены три репера, а на фоновом участке два с точными координатами, полученными с помощью GPS-спутника. Обе карты имеют масштаб 1:500.

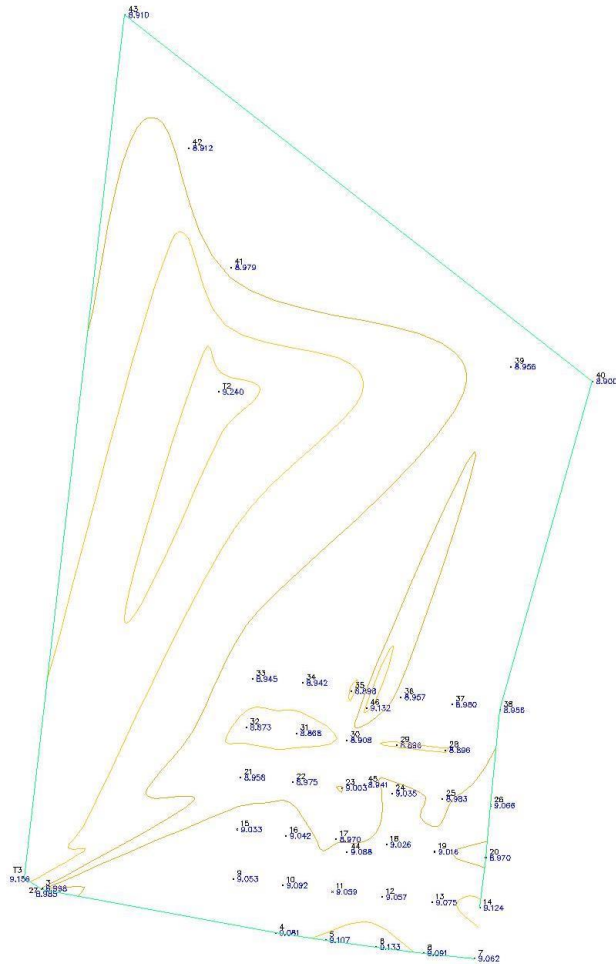
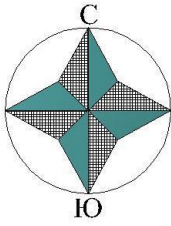


ТАБЛИЦА КООРДИНАТЫ

№рп	Х, м	У, м	Н, м	S, м	напр. на
рп1	7489316,85	926683,63	8,96	75,15	рп3
рп2	7489548,12	926654,10	9,24	35,41	рп5
рп3	7489528,71	926646,33	9,16	75,15	рп1

Е:67

1:500
 В 1 сантиметре 5 метров
 Высота пересечения между горизонтами 0,1 м

Система координат - абсолютная
 Система высот - абсолютная

Рис. 12. Топографическая карта исследуемой участок. Автор: Масобири Х.Ш

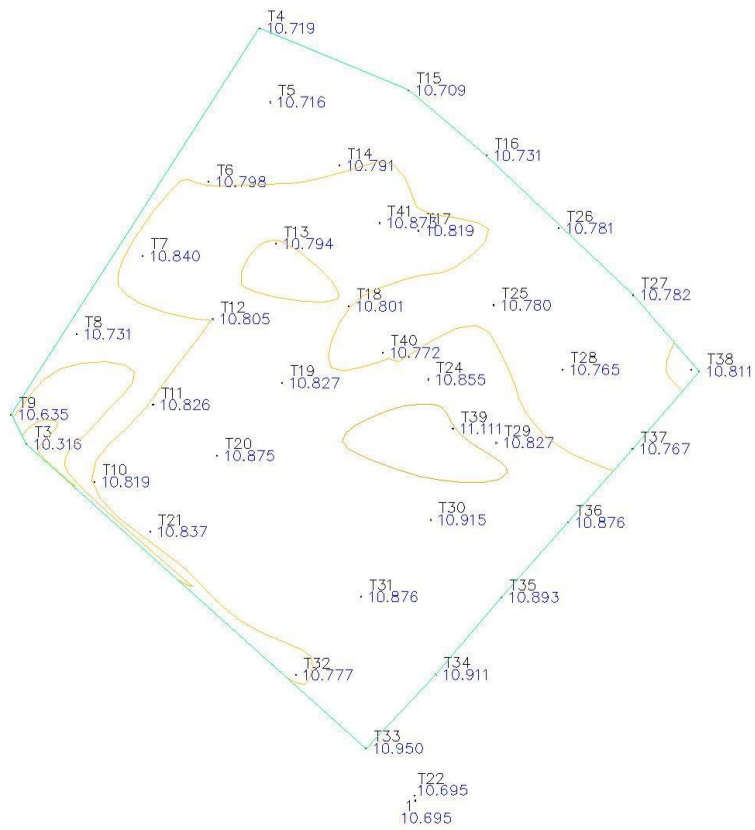
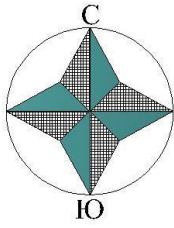


ТАБЛИЦА КООРДИНАТЫ

№пр	Х.м	У.м	Н.м	С.м	напр.на
рп1	7489293,64	926869,39	10,69	33,12	рп2
рп2	7489308,66	926866,76	10,82	33,12	рп1

1:500

В 1 сантиметре 5 метров

Высота пересечения между горизонтами 0,2 м

Система координат - абсолютная
Система высот - абсолютная

Рис. 13. Топографическая карта фоновой участок. Автор: Масобири Х.

Последний этап исследования включает использование дистанционного метода мониторинга, в рамках которого был задействован беспилотный летательный аппарат (БПЛА) модели DJI Matrice 300 RTK, оснащенный мультиспектральной камерой MicaSense RedEdge- MX. С помощью этого оборудования удалось получить высококачественные данные о территории исследования. Мультиспектральная камера MicaSense RedEdge- MX позволяет получать изображения в нескольких спектральных диапазонах, что позволяет более точно определить характеристики поверхности земли. Например, с ее помощью можно выявить зоны, где растения испытывают недостаток питательных веществ, заболевания или стресс.

Этапы обработки данных с БПЛА произвелись в разных программах. Первоначальная обработка осуществляется в DJI Terra. В этом этапе идет процесс скачивания данных с коптера и сгрузка для дальнейшей обработки. (Рис. 14.).



Рис. 14. DJI Terra – первоначальная обработка

Все последующие обработки производятся в Agisoft Metashape. В Agisoft Metashape происходит не только классификация точек рельефа, но и создание цифровой модели рельефа, которая позволяет получить более детальную информацию о территории и ее особенностях. Кроме того, в программе возможно создание 3D-моделей объектов, что позволяет более наглядно представить исследуемый участок. После обработки данных в Agisoft

Metashare, полученные результаты импортируются в ArcGIS, где происходит более детальный анализ и выделение исследуемых областей. Важным этапом является сопоставление полученных результатов с полевыми данными и проверка их соответствия.

Далее происходит создание картографических продуктов, таких как ортофотопланы и карты высот, которые могут быть использованы в различных областях, например, в геологии, геодезии, экологии и т.д (Рис. 15.).

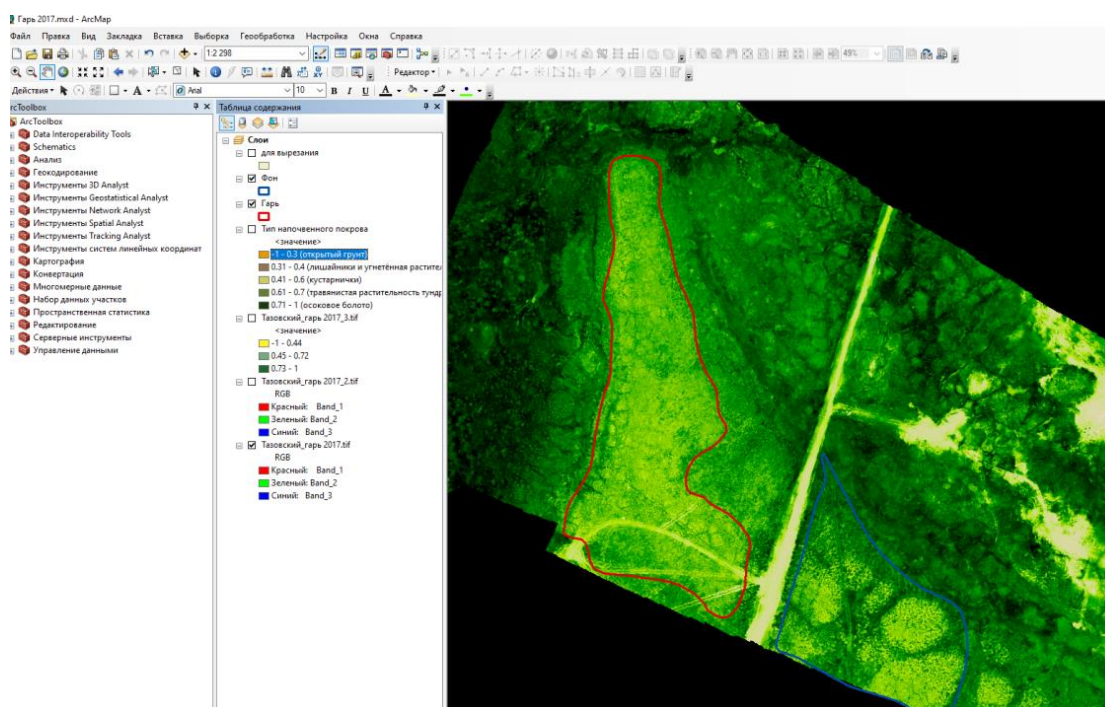


Рис. 15. Импорт в ArcGis и выделение исследуемые области (гарь и фон) на основе полевых данных

В результате использования БПЛА и мультиспектральной камеры была получена карта-схема напочвенного покрова территории исследования. Эта карта позволяет увидеть распределение различных типов почв, их толщину, структуру и другие характеристики. На карте-схеме напочвенного покрова можно увидеть различные типы почв, включая песчаные, глинистые, черноземы, торфяные и другие. Также на карте можно увидеть различные ландшафтные элементы, такие как озера, леса, поля и т.д. (Рис. 16.)

Карта-схема напочвенного покрова территории исследования

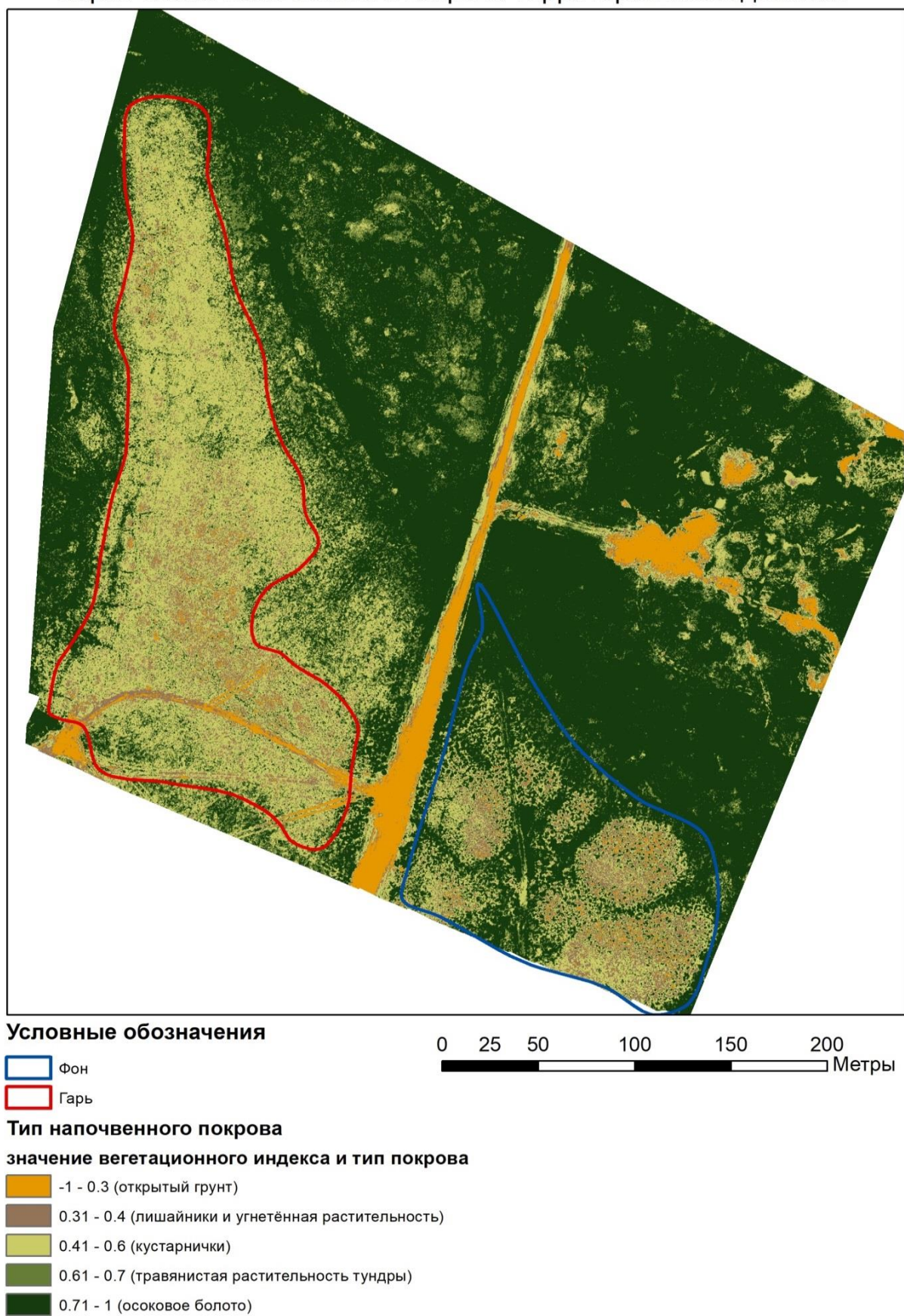


Рис. 16. Карта-схема напочвенного покрова исследуемого участка. Автор: Масобири Х.Ш

ВЫВОДЫ

Из имеющихся данных можно сделать вывод, что пожар оказал значительное влияние на температуру почвы и глубину оттаивания вечной мерзлоты. На участке, подвергшемся пожару, наблюдалась более высокая температура почвы и глубина оттаивания вечной мерзлоты была больше, чем на фоновом участке. Кроме того, топографическая карта показала, что на сгоревшем участке изменился рельеф местности. Также следует учитывать, что пожар повлиял на состав почвы и растительности, что может негативно сказаться на экосистеме.

Большинство пожаров происходит в кустарниковых, лишайниково-моховых тундрах, лесах с карликовым кустарниковым покровом и мохово-лишайниковых палсовых болотах. Если в растительном покрове преобладают синузии эпигейных лишайников, это служит индикатором повышенной пожарной опасности. Наибольший ущерб (23%) обычно наносится в лиственничных и елово-лиственничных лишайниковых редколесьях, которые широко распространены в южной части лесотундры. Крупные пожары в значительной степени зависят от метеорологических условий. Они возникают при высоких летних температурах, больших максимальных значениях температуры, больших суммах положительных температур и небольшом количестве осадков в летнее время - другими словами, когда лето жаркое и сухое.

4.2. ПОЛИГОНАЛЬНЫЕ ТОРФЯНИКИ В БЛИЗИ ПОСЕЛКА ГАЗ-САЛЕ

Основная цель исследования полигональных торфяников заключается в наблюдении за изменением рельефа местности в результате деградации торфяников под воздействием техногенных факторов на фоне современных климатических колебаний. Климат и техногенные воздействия оказывают свое влияние на состояние торфяников. Геокриологические исследования торфяников в последние годы были направлены на решение инженерно-геологических и экологических задач, таких как прогноз увеличения глубины протаивания при повышении летних температур воздуха. Однако, недостаточная изученность строения и свойств мерзлого и талого торфа затрудняет оценку тенденций изменения состояния мерзлых пород и развития рельефа в южной тундре и лесотундре [Королева Е.С. 2022].

Полигональные торфяники – это процесс образования эрозионных трещин из-за термического сжатия многолетнемерзлых пород, который распространяется в толщу вечной мерзлоты. При замораживании тела сжимаются, а при согревании расширяются. В случае слишком быстрого замерзания и резкого перепада температур тело может разорваться или деформироваться. Во время сильных холодов верхние слои земли сжимаются до определенного предела, а затем раскалываются на отдельные блоки, образуя линии трещин. В такие трещины весной затекает талая снеговая вода, которая затем замерзает, а летом мерзлая порода расширяется, но ледяной участок остается. В результате мерзлая порода выдавливается вверх, на поверхности образуются небольшие валики. Этот процесс повторяется неоднократно в течение нескольких лет, что приводит к образованию ледяных жил высотой в несколько метров [Мельниченко Т.Н. 2023].

Динамика полигональных торфяников в пространственно-временном плане подвержена значительным колебаниям. Несмотря на то, что полигональные торфяники относительно хорошо изучены, в их механизме

и региональных чертах проявления все еще есть многие неясности и разночтения. Развитие полигональных торфяников происходит не только в глубину, но и активно распространяется в стороны. В результате формируются обширные термокарстовые озера, диаметр которых может достигать 150-200 метров, а слой воды - до 3,5 метров, с превышением торфяников над ними до 1,5 метров. Мощность таких ледяных жил может достигать пяти метров. В настоящее время лед на многих участках начал таять [Скрыльник Г.П. 2015].

4.2.1. Причины развития полигональных торфяников вблизи поселка газ сале

Основной причиной появления и развития полигональных торфяников является изменение термического режима поверхности и увеличение мощности деятельного слоя. Главным условием для их формирования является большая льдонасыщенность пород. Формы рельефа при полигональных торфяниках могут быть разнообразными: озерные котловины, западины, провалы, ниши, блюдца, термокары (термоцирки), ложбины. Чтобы полигональный торфяник мог прогрессировать, необходима минимальная глубина в 1,5-1,7 м. Озера, связанные с полигональными торфяниками, обычно имеют округлую форму. Прямоугольные озера, размеры которых менее 50 м и глубина менее 3 м, находятся в днищах долин рек и связаны с речными отложениями.

На карте Тазовского района показано расположение исследуемого участка вблизи поселка Газ Сале (рис. 17.) [Бабкин Е.М, Хомутов А.В, и др] [Мельниченко Т. Н. 2023].

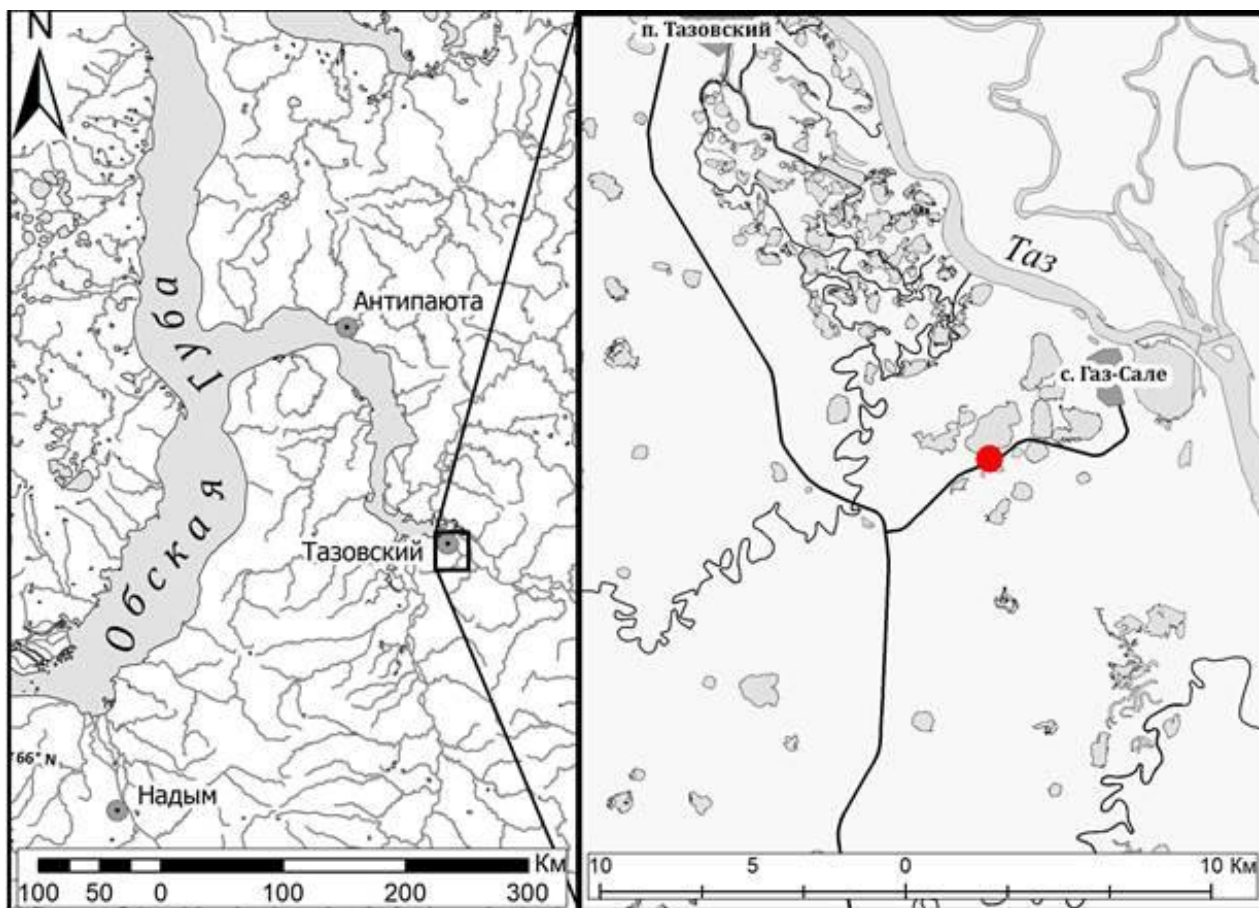


Рис. 17. Местоположение участок исследований

Исследуемым объектом является участок, где насыпная автомобильная дорога Тазовский - Газ Сале пересекает полигональное болото с цементно-бетонным покрытием. Участок расположен в 155 км. к северу от Полярного Круга в зоне тундры, в пределах Пур-Тазовского междуречья. Исследуемые озера образуют каскад термокарстовых озёр, которые активно деградируются в последнее время. Координаты участка исследований: $67^{\circ}20'26''$ с.ш., $78^{\circ}57'07''$ в.д. Ширина основания дорожной насыпи составляет 20 м, ширина дороги – 12 м, часть дороги покрыта бетонными плитами шириной 6 м, высота насыпи – до 2,5 м. Температура ММП для района исследований составляет от -3 до -7 °С [Каверин Д.А., Судакова М.С. 2022].

Изменение полигональных торфяников вблизи поселка Газ-Сале зависит не только от климата, но и от антропогенного воздействия. Постройка автомобильной дороги, соединяющей поселок Газ Сале с Тазовским, стала одним из основных факторов для развития полигональных торфяников.

Возможно, при строительстве не учитывали условия вечной мерзлоты и расположения грунтовых вод. Дорога была построена между двумя озерами, возможно, ее строительство привело к перекрытию грунтовых вод и использованию песка из дна озер.

На текущий момент в районе Газ Сале активно ведутся работы по разработке нефтегазоносных месторождений. Для строительства требуется большое количество строительного материала, включая песок. Для этой цели песок берут из рядом расположенных термокарстовых озер, которые мы исследуем. За период с 2000 по 2016 годы каскад термокарстовых озер потерял около 65% своей поверхности: из 58,4 км² осталось 38,1 км². Площади озер можно рассчитать по космическим снимкам, используя программы, например, Google Earth [Кунин С.А, Семенова О.С. 2018], [Кусаева А.А. Сторожук Д.А. 2016].

Человеческое вмешательство в природную среду часто приводит к нарушению растительного покрова, что является одним из наиболее динамичных природных факторов. Такие нарушения связаны с активизацией термокарстовых процессов в районе поселка Газ-Сале, где полигональные торфяники быстро деградируют и негативно влияют на окружающую среду [Скрыльник Г.П. 2015]. Эти эрозионные торфяники могут также представлять угрозу для близлежащей дороги. Однако, несмотря на близость, торфяники не оказывают существенного влияния на дорожное полотно, поскольку сток воды направлен в сторону от дороги. Это связано с тем, что дорога перекрывает торфяники, и там происходит вытаивание льда и деформация почвы.

Торфяник, расположенный недалеко от Газ Сале, подвергается разрушению, причем скорость этого процесса зависит от количества льда внутри него. Одной из причин быстрого разрушения торфяника может быть появление здесь дороги. Возможно, разломы, которые появились здесь недавно, могут стать продолжением ближайшего озера. Торфяник покрыт слоем торфа, который обладает высокой теплоизоляционной способностью. На песке протаивание составляет 2 метра, а на торфянике - всего 40 сантиметров. Это означает, что торф практически не пропускает тепло. Если

здесь будет немного теплее, возможно, здесь начнет появляться растительность, которая заполнит эти разломы. Ранее сделанные космические снимки показывают, что раньше здесь было все спокойно [Хомутов А.В, Бабкин Е.М, Тихонравова Я.В и др. 2021].

Деграция полигонов приводит к расширению полигональных канав. Скорость деграции рельефа полигонального торфяника в естественных условиях немного выше, чем на участке, прилегающем к автодороге на северо-западе. Это говорит о том, что автодорога оказывает стабилизирующее воздействие на рельеф торфяника на этом участке. Однако сопоставление климатических параметров и скоростей деграции рельефа не дало явных зависимостей. Вероятно, перераспределение поверхностного стока и смена режимов затопления полигональных канав и их дренирования определяют скорость деграции рельефа. Активизация обрушения полигонов в теплое лето приводит к блокированию стока по канавам и термокарсту. В более холодные периоды, сочетающиеся со значительными атмосферными осадками, преобладает проточный режим в канавах и термоэрозия как фактор увеличения глубины и площади полигональных канав. Для выявления закономерностей взаимодействия деграции полигональных торфяников и климатических параметров необходимы более частые дистанционные наблюдения, например, с помощью БПЛА.

Используя программу Google Earth, мы можем увидеть местоположение исследуемого участка и его вид из космоса. Синяя точка на карте указывает на исследуемый участок. (см. рис. 18.)

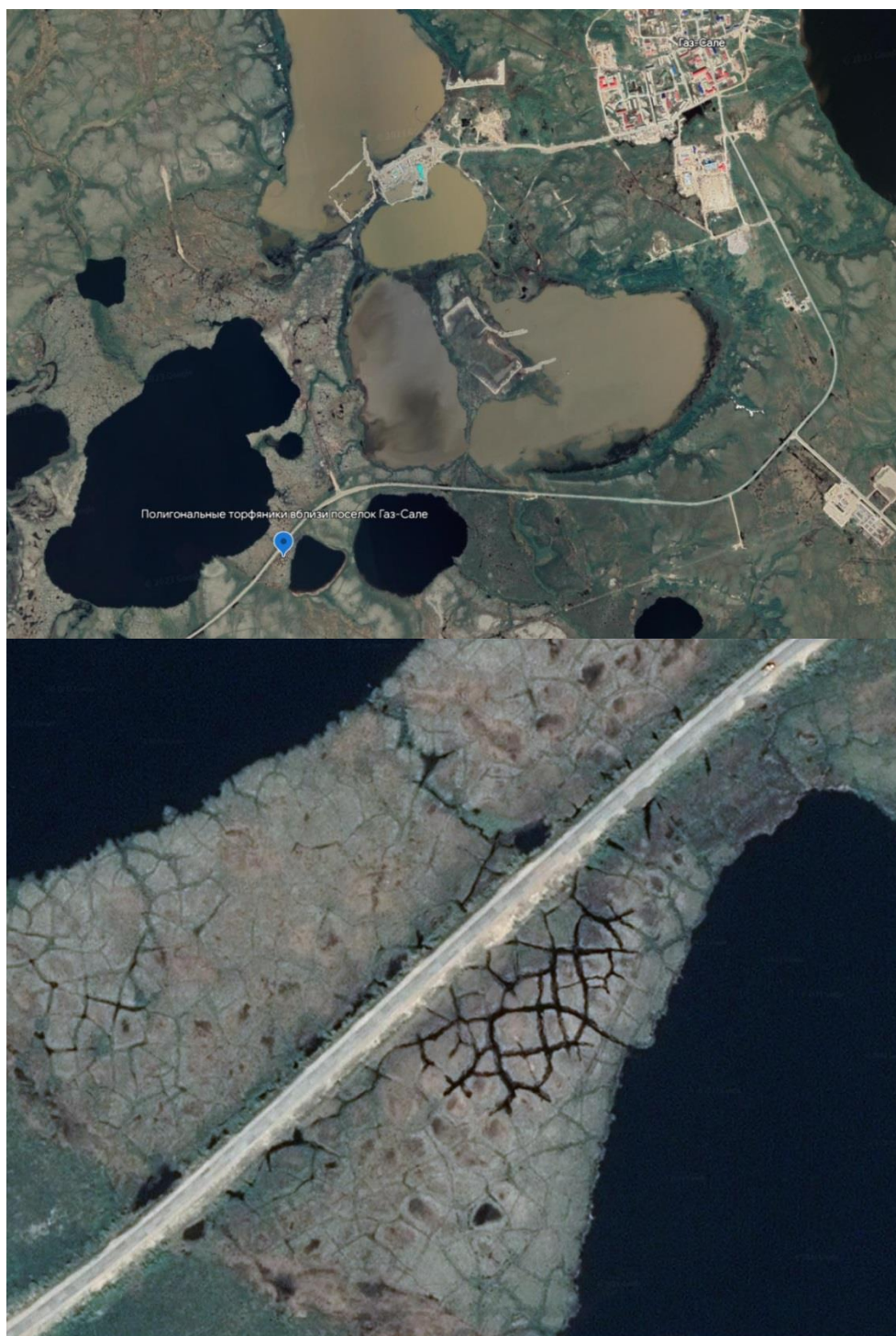


Рис. 18. Местоположение исследуемого участка. Вид из космоса.

На исследуемом участке распространены полигональные торфяники, которые в основном находятся в термокарстово-эрозионных ложбинах с остаточными озерами и на поймах старых озер. Эти льды имеют гетерогенное строение, которое связано с локальным термокарстом в ходе промерзания озерно-болотных отложений в голоцене. На всех элементах рельефа мы

заметили аномально теплый и сухой летний сезон [Хайруллин Р.Р, Хомутов А. В], [Королева Е.С. 2022].

Показано вид исследуемый участок с высоты (Рис. 19.) [Перцова А.В 2000], [Губин В. Н. 2004].



Рис. 19. Обзор полигональные торфяники в районе Газ-Сале. Процесс протаивания- полигональные жильные

Поверхность торфяника имеет ячеистую структуру, разбитую на многочисленные пересекающиеся морозобойные трещины, образующие прямоугольные, треугольные и многоугольные плоские полигоны, окруженные полигональными канавами. Центральная часть полигонов часто находится на 0,2-0,3 м ниже периферийной, а поверхность местами мелкобугорчатая и увлажненная. Торфяник пересекается насыпью автомобильной дороги, высотой до 3 м, построенной в 1994-1995 годах и покрытой бетонными плитами. С тех пор, как была построена дорога, произошло незначительное разрушение поверхности торфяника из-за вытекания ПЖЛ, происходящего только у основания насыпи из-за скопления воды в низинах, что показывается на снимке черным фототонном.

Трещины на торфянике можно разделить на два вида:

1) широкие трещины более 2 метров в ширину (они заполнены водой и имеют глубину более 1 метра);

2) узкие трещины менее 2 метров в ширину (они не заполнены водой и имеют меньшую глубину).

На фотографиях хорошо видны эрозионные участки, трещины, глубина и ширина трещин. Перегибленные канавы, дно которых покрыто слаборазложившейся растительностью, местами затоплены водой. В канавах можно увидеть обвалившиеся фрагменты полигонов с остаточной растительностью. Некоторые канавы достигают глубины 3 м и периодически дренируются через сток в смежное озеро (Рис. 20.).



Рис. 20. Фото с места полигональных торфяников вблизи посёлка Газ Сале

Согласно исследованиям Королевой Е.С., в полигональных торфяниках возникают переходные и промежуточные слои. Переходный слой можно определить на основе мониторинга глубины СТС в условиях потепления

последних лет. В мерзлом состоянии этот слой имеет желтовато-коричневый цвет и отличается от других слоев. Промежуточные слои характеризуются наличием линзовидных и слоистых криогенных текстур, повышенной льдистостью, содержанием газа в сегрегационных льдах и торфе. В зависимости от неровной кровли ММП, строение слоя может отличаться в полигонах и межполигональных понижениях. Промежуточные слои в межполигональных понижениях имеют большую льдистость, включения льда различных размеров и термокарстово-полостные льды, обусловленные неравномерными просадками. В промежуточных слоях полигонов можно обнаружить субгоризонтальные шпирсы льда, которые параллельны рельефу кровли мерзлоты и образуются при переходе СТС в мерзлое состояние. Изменения в плотности торфа объясняются различным содержанием льда. Плотность скелета торфа переходного слоя выше, чем в промежуточных слоях [Королева Е.С. 2022].

Характерный климат для района суровый, среднегодовая температура воздуха составляет $-9,3^{\circ}\text{C}$. Зимой характерны обильные снегопады, метели и оттепели, сменяющие периоды низких температур. Среднегодовое количество осадков составляет около 400 мм, причем большая часть (250-300 мм) выпадает в теплый период. Снежный покров формируется в первой декаде октября, а сход снега происходит в конце мая - начале июня. Согласно данным метеостанции Газовский за период наблюдений 2016-2018 гг., среднегодовая температура воздуха составила $-5,7^{\circ}\text{C}$ [Хомутов А.В, Бабкин Е.М и др. 2021].

За последние годы в Газ Сале высота снежного покрова значительно увеличилась. Это связано с ростом среднегодовых температур и увеличением количества осадков, которые способствуют образованию термокарста. Однако, несмотря на обильные осадки, термокарст все равно понижается и озера деградируют из-за этого процесса. Дно бывшего термокарстового озера становится плодородной почвой для новых видов растительности, включая деревья и кустарники.

Одной из главных причин деградации озер на урбанизированных территориях является интенсивное вытаивание термокарста в результате обильных летних осадков и повышения среднегодовых температур. Также на территории рядом с производствами и населенными пунктами наблюдается негативное воздействие, включая повышение температурной нагрузки на озера и торфяники.

Согласно климатическим источникам, за последние 30 лет зимы в Газ Сале потеплели на 10°C . Это существенно влияет на таяние многолетней мерзлоты, которое зависит не только от повышения среднегодовых температур, но и от количества летних осадков, которое каждый год колеблется (Рис. 21), [Е.М. Бабкин, А.В. Хомутов и др.2021].

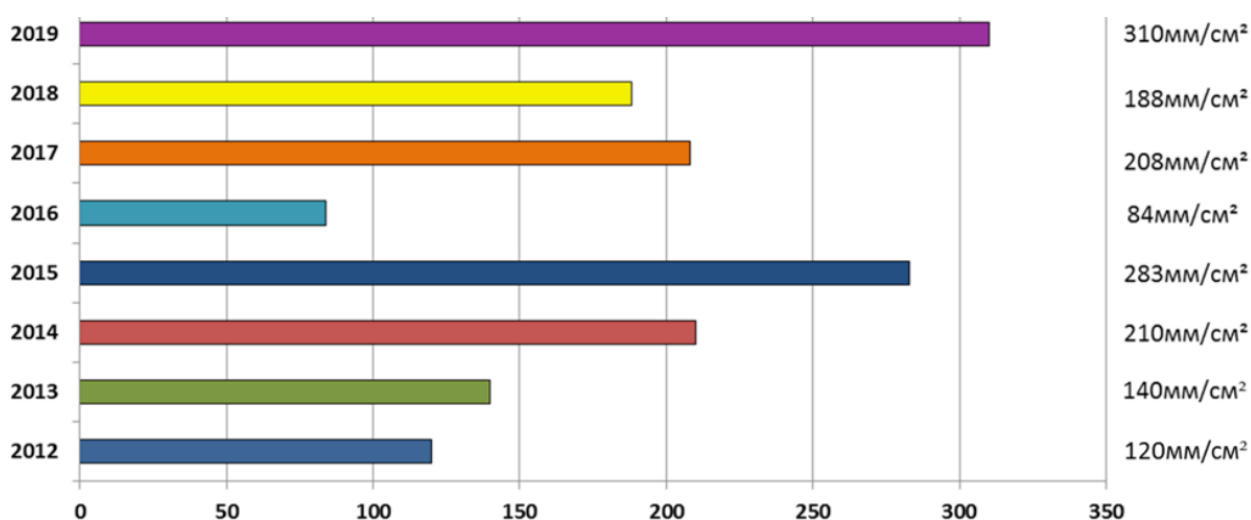


Рис. 21. Диаграмма количество выпавших летних осадков в урбанизированных территориях Тазовского района.

На диаграмме видно, что количество летних осадков в урбанизированных территориях Тазовского района колеблется из года в год и не предсказуемо. В 2016 году был зафиксирован самый низкий уровень осадков за последние 10 лет - всего 84мм на квадратный сантиметр. В 2019 году, напротив, наблюдался самый высокий показатель - более 300мм на квадратный сантиметр. При этом, даже при высоких летних температурах и небольшом количестве осадков, таяние многолетней мерзлоты в торфяниках происходит несущественно, что помогает уменьшить деградацию озер.

Однако, будущая динамика деградации озер на этих территориях будет зависеть от сочетания погодных факторов, таких как увеличение среднегодовых температур и количества осадков.

Увеличение глубины термокарстовых озер и их объема, вызванные увеличением глубины воды, приводят к значительному снижению температуры воды и замедлению вытаявания термокарста под озерами и в прибрежной зоне. Это, в свою очередь, может привести к таянию многолетней мерзлоты, загрязнению, испарению и перетеканию озер, а также проседанию земли. В результате на высушенных озерах может вырасти различная растительность [Кусаева А.А. 2015].

Термокарст - это процесс провала рыхлых горных пород, почв и грунтов, вызванный вытаяванием подземного льда при изменении температуры пород с отрицательной на положительную. Это явление возникает из-за изменений в условиях теплообмена на поверхности земли, что приводит к увеличению глубины оттаивания и просадке верхних слоев. Термокарст вызывает образование воронок, впадин и трещин разных размеров, а также термокарстовых озер. При спуске воды из этих озер образуются хасыреи - дренированные озерные котловины, на днищах которых часто возникают вторичные, еще более мелкие термокарстовые озера. Образовавшиеся впадины заполняются водой, что приводит к потеплению поверхности грунтового слоя. Если глубина образовавшегося водоема превышает критическую величину, процесс термокарста становится необратимым [Лапко А.Д. 2016].

Термокарсты, несмотря на свою красоту, оказывают отрицательное влияние на окружающую среду. Оттаивание вызывает частые оползни и выброс парниковых газов, таких как метан и диоксид углерода, что негативно сказывается на окружающей среде. В Тазовском районе термокарст широко распространен, особенно вблизи поселка Газ-Сале. Здесь много озер, которые теперь превратились в болота. Строительство автодорог оказывает значительное влияние на геосистемы полигональных болот и изменяет

залегание кровли многолетнемерзлых пород [Скрыльник Г.П. 2022], [Каверин Д. А., Судакова М. 2022].

4.2.2. Геодезические методы исследования с помощью геодезических приборов GPS, метод дистанционного исследования с помощью коптер и спутниковые снимки

При исследовании многолетней динамики криогенных процессов необходимо использовать коллекцию разновременных спутниковых снимков за период не менее 20 лет, чтобы выявить изменения различных масштабов. Анализ спутниковых снимков позволяют более точно определить пространственные изменения растительного покрова. Также из-за более низкого разрешения материалов спутниковой съёмки определение площадей пойдёт в обратном порядке: от площадей, определённых в поздние года, происходил переход к более ранним с постепенным добавлением разрушенных частей.

В случае отсутствия наблюдаемых разрушений межполигональных понижений и, как следствие, стабильности границы полигона, его площадь принималась за постоянную до текущего момента и переносилась в слои с прошлыми годами без изменений. Космические снимки в связи с непрерывностью съёмки обширных территорий дают возможность вести мониторинг и анализировать изменения в широком пространственном охвате. На локальном уровне при мониторинге конкретных природных объектов целесообразно дополнять данные космических съёмок и наземных исследований применением БПЛА. Используемые космоснимки, включающие в себя полноценный набор каналов RGB+NIR, являются наиболее подходящими из всех доступных материалов сверхвысокого разрешения и позволяют достаточно точно оценить изменения на изучаемом участке [Хайруллин Р.Р, Хомутов А. В. 2022], (Рис. 22.).



Рис. 22. Структура поверхности полигональных торфяников: красный цвет — граница участка съемки и мониторинга, желтый цвет — контуры полигонов и полигональных канав между ними, синий цвет — канавы без растительности, заполненные на дату съемки водой. Прямая белая полоса — насыпь автодороги

Совместное использование космических снимков сверхвысокого разрешения и ортофотопланов показало свою состоятельность для мониторинга изменения поверхности полигональных торфяников [Хайруллин Р.Р, Хомутов А. В 2022]. С помощью программы Google Земля проводилось выделение границу участка мониторинга, контуры полигонов и канавы без растительности и заполненной водой. На фото хорошо видно все территории, которые наиболее деградированы и из-за глубокой глубины заполнились водой. При наблюдении в данном участке, кроме спутниковых съемок, проводилось геодезические наблюдение.

Использование геодезических приборов и метод дистанционного исследования позволяет сделать топографическую карту местности и карта 3D модель местности. После строительства автодороги, участок начал свое

изменение и появились эрозионные трещины. Используя геодезические приборы, было проведено наблюдения за изменением высот этих трещин, были использованы геодезические приборы, такие как GPS Glonass Topcon Hyper L2 и использовали дистанционный метод исследования с помощью коптера.

План составляется в два этапа. Сначала наносится геодезическая основа, включающая пункты государственной геодезической сети, пункты геодезического сгущения и пункты съёмочного обоснования по их прямоугольным координатам. Затем наносится ситуация, то есть пикеты в местной системе полярных координат и контуры наземных объектов и горизонтали - рельеф.

План сначала составляется карандашом тонкими линиями без давления на бумагу [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**2009]. Результаты измерений записываются в журнал тахеометрической съёмки, а на каждой станции составляется абрис. Основными масштабами для производства тахеометрических съёмок являются 1:500, 1:1000 и 1:2000. Масштаб съёмки выбирается в зависимости от ее назначения, стадии проектирования, ожидаемых размеров проектируемого объекта в плане, а также от рельефа и особенностей местности.

На данном участке была произведена аэросъёмка с квадрокоптера. Данные были обработаны и получен ортофотоплан местности. На основе съёмок можно наблюдать значительное углубление оврагов на месте полигональных торфяников. Съёмка позволила определить абсолютные и относительные высоты на этом торфянике, чтобы понять, насколько протаивают жилы; и их мерить высоты полигонов относительно этих жил. (Рис. 23.)



Рис. 23. Участок исследования термокарстовых трещин с использованием геодезических приборов

С помощью GPS было зафиксированы все детали, которые были показаны при создании карты.

В процессе съемки фиксировались такие детали, как бровки полигонов торфяника, тальвеги оврагов на месте межполигональных понижений, их затопленные участки, рельеф полигонов, края плит автодороги, а также другие жестко зафиксированные техногенные объекты.

В случае если блок был уже оторван и лежал на склоне или дне оврага, он не считался принадлежащим полигону. В заполненных водой оврагах тальвеги закреплялись под водой.

Деградация ПЖЛ происходит как в сторону углубления оврагов за счет дальнейшего протаивания останцов жил, так и в увеличении общей длины сети протаявших жил.

На основе данных тахеометрических съемок в программной среде АгсМар построены цифровые модели рельефа (ЦМР). Для получения корректных ЦМР вносились не только отснятые тахеометром точки с высотами, но и предварительно созданные данные о направлениях потоков внутри оврагов, края полигонов и водные объекты, которые тоже должны учитываться при создании цифровых моделей рельефа. Итоговые изменения высот участка сравнивались посредством определения разности высот двух ЦМР через вычитание растров [Бабкин Е.М, Хомутов А.В. 2021].

Данная съемка может быть использована в дальнейшем при наблюдении в динамике за полигональными торфяниками. Данную проведенную съёмку можно посмотреть на рисунках которая показано внизу (Рис. 24.).



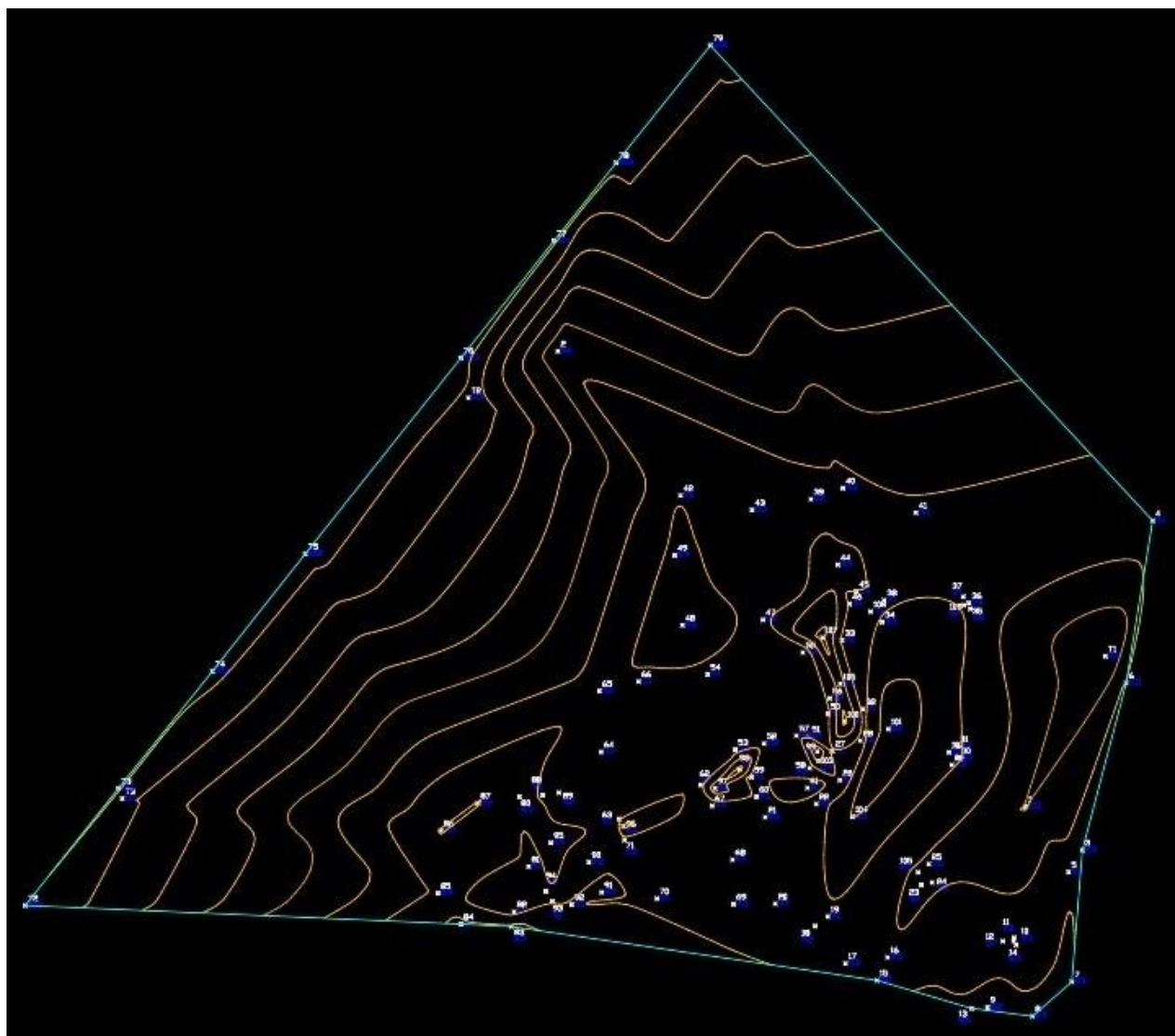
Рис. 24. Процесс съемки с использованием геодезический прибор GPS Glonass Topcon Hiper L2

В результате было получено координаты каждой точки и показано в виде таблицы. Количество точек составляет 87 штук. (Приложение 2) Эти координаты позволяют нам создать общий топографический план с точностью несколько миллиметров. Сами точки выполнены в прямоугольной системе

координат, которая отличается от привычной многим географической системе координат и в отличие от неё представлена не в градусах, а в метрах. Плоская прямоугольная система координат широко применяется в топографии, и инженерной или прикладной геодезии.

Топографическая съемка выполнялась с помощью геодезического прибора GPS Glonass Topcon Hyper L2, в результате которой получили план местности с изображением рельефа. Данные и координаты были обработаны с помощью программой AutoCad.

Используя данные, была построена топографический план место исследования (Рис. 25.).



Система координат – абсолютная 1:500 в 1 сантиметре 5 метров
Система высот абсолютная

Рис. 25. Топографический план участок исследования.

Топографическая карта данного место даёт возможности проводить дальнейший мониторинг данного место и наблюдать за изменением рельефа и уменьшение высот на данной территории.

Совместное использование космических снимков сверхвысокого разрешения и наземные геодезические наблюдение с помощью GPS показало свою состоятельность для наблюдения изменения поверхности полигональных торфяников. При обеспечении высокой точности наземной привязки также возрастает спрос на использования материалов БПЛА-съёмки [Р. Р. Хайруллин, А. В. Хомутов 2022] [Каверин Д.А., Судакова М.С. 2022].

Благодаря встроенной в БПЛА системе GPS и определению положения камеры по трём осям для каждого изображения Agisoft автоматически определяет положение и наклон снимка относительно земной поверхности. Ортогональное проецирование этой модели на плоскую поверхность позволило получить цифровую модель рельефа (ЦМР) и ортофотоплан (Agisoft). Однако для этого сначала было необходимо загустить облако точек, убрать некорректно включённые точки (на водной поверхности, антропогенных объектах и древесно-кустарниковой растительности) и построить сглаженную текстурированную модель.

Для полигональных торфяников опорных участков получены оптические данные дистанционного зондирования - съёмки с БПЛА. Материалы съёмок обработаны в программы DJI Terra и Agisoft Metashape Professional и представлены в виде ортофотопланов с разрешением ~ 0,02 м. Были выявлены новообразованные пятна-медальоны. Наличие пятен медальонов на сентябрьских данных с БПЛА и их отсутствие на более ранних июльских однозначно указывает на формирование органических пятен-медальонов именно в летний период между датами съёмки. На основании полученных материалов установлено, что органические пятна медальоны в изученных полигональных торфяниках были образованы и продолжают формироваться в теплые сезоны года [Королева Е.С. 2022].

Карта была создана с помощью беспилотника, координаты были обработаны с помощью программы ArcGIS, были посчитаны объемы всех эрозионных участков.

На карте очень хорошо видны все линии и контуры исследуемой участок. Показана территория исследования, обочина вдоль дороги кустарники, эрозионные трещины шириной до 2 метров, эрозионные трещины шириной более 2-х метров, выемки заполненной водой (Рис. 26.)

карта-схема эрозионных процессов на территории исследования

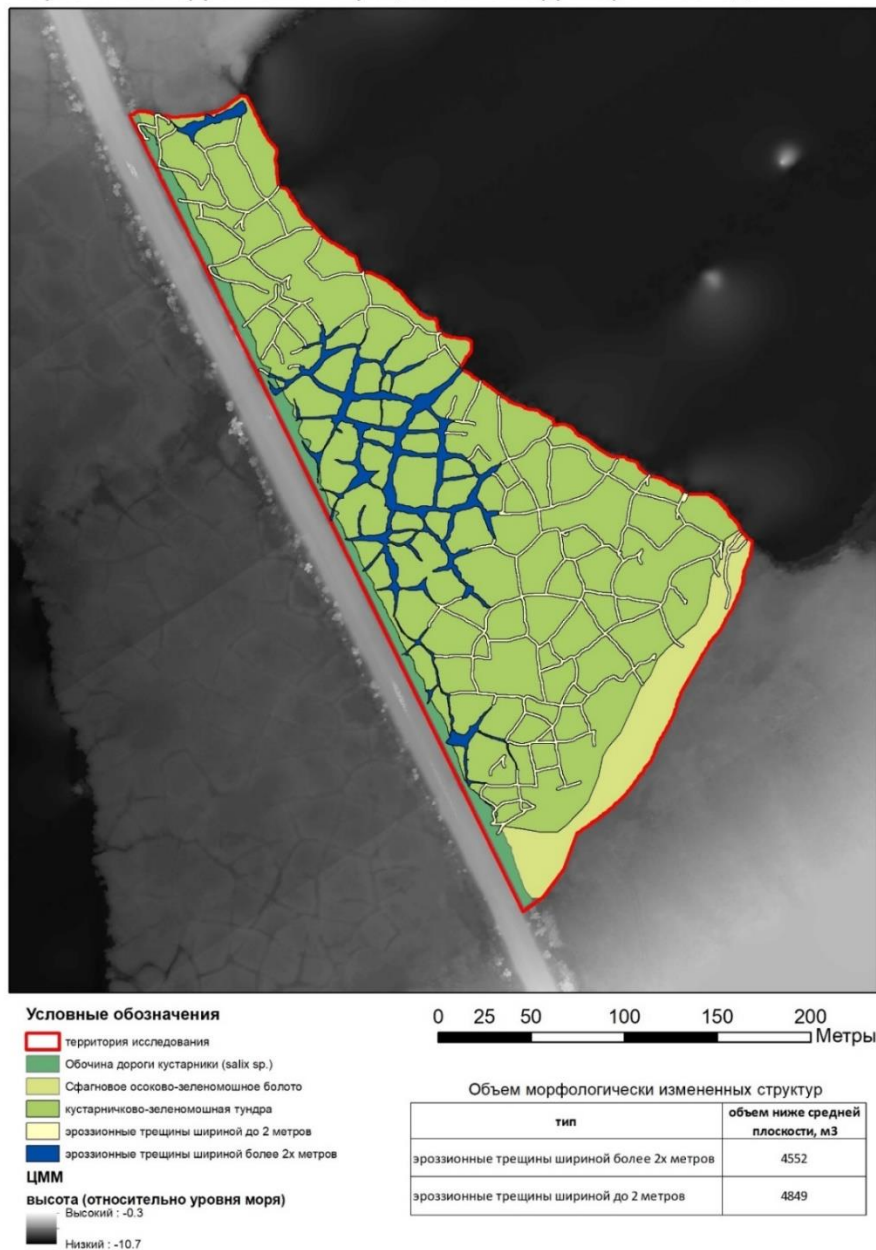


Рис. 26. Карта эрозионных полигональных торфяников на территории исследования.

Оцифровка площадей эрозионных процессов было сделано с помощью программой ArcGis. Для определения границ торфяных полигонов по имеющимся материалам в первую очередь использовалось визуальное дешифрирование, и эти границы проводились по контурам лишайниковой растительности, которая резко отличается от моховой растительности межполигональных понижений с ПЖЛ (повторно жильные льды) [Р. Р. Хайруллин, А. В. Хомутов, 2022].

При создании карта-схемой было проведено линии по разломам и просчитано объем данного место. На фото показано обработка и дешифрирование карта-схемой и проведение все линии по разломам (Рис. 27.).

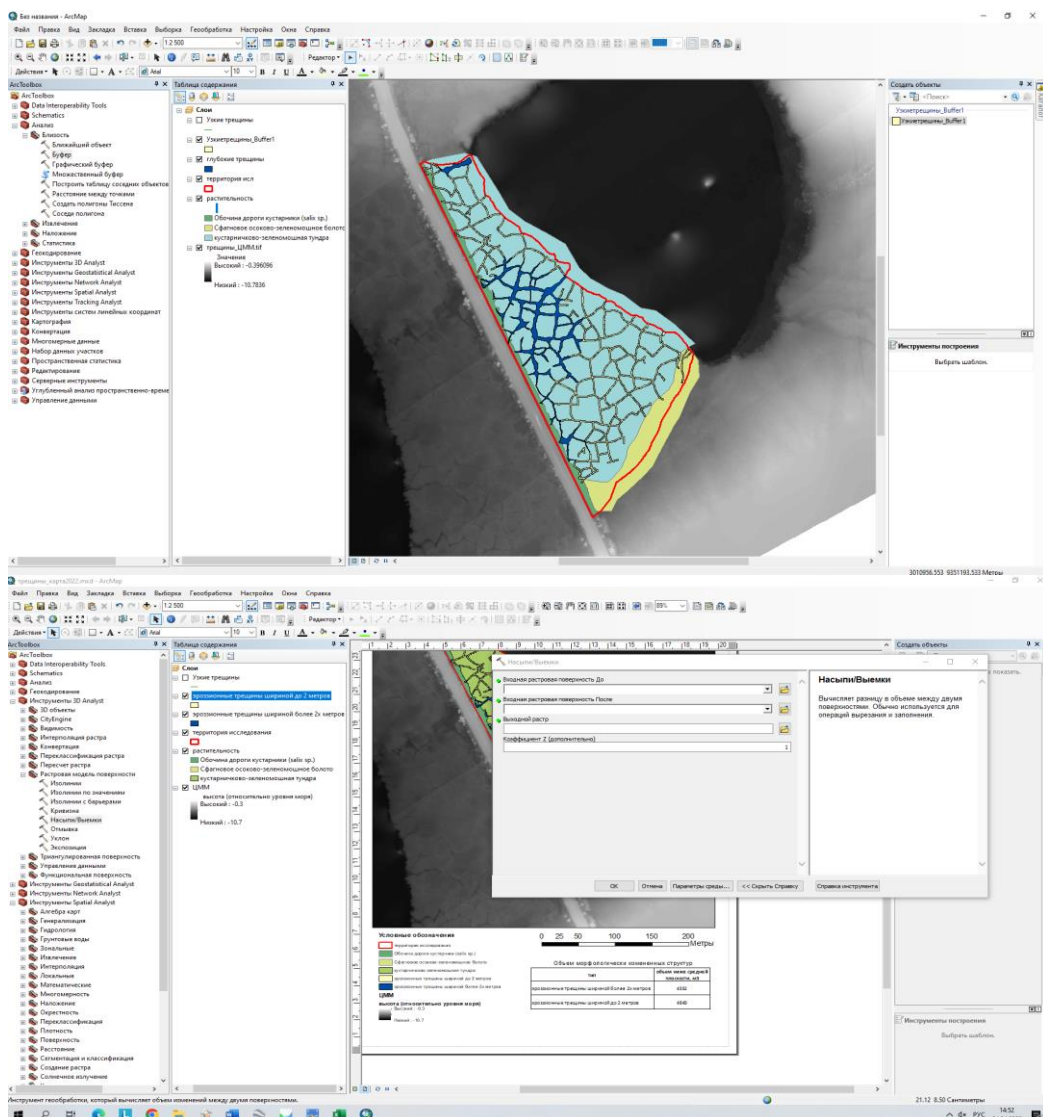


Рис. 27. Оцифровка площадей эрозионных процессов в программе ArcGis

Использование дистанционного метода позволяет провести оценку реакции криолитозоны и тундровых ландшафтов на изменения климата, используя индикаторы современных изменений.

В первую очередь идёт процесс обработки облака точек с помощью DJI Terra, после этого построение цифровая модель местности(ЦММ) (Рис. 28.).



Рис. 28. Первоначальная обработка в DJI Terra

Следующий этап создание ортофотоплан местности, 3D модель и карта высот в котором можно создать график изменение высота в разные точки исследуемого участка (Рис. 29.).

На ортофотоплан данной место исследования заснятой с помощью очень хорошо видны все превышение и снижение данного участка и можно посмотреть рельеф местности в линейном виде. Ортофотоплан местности даёт возможности предполагать дальнейшее будущее данного место.

Измерения проводились в системе координат WGS 84.

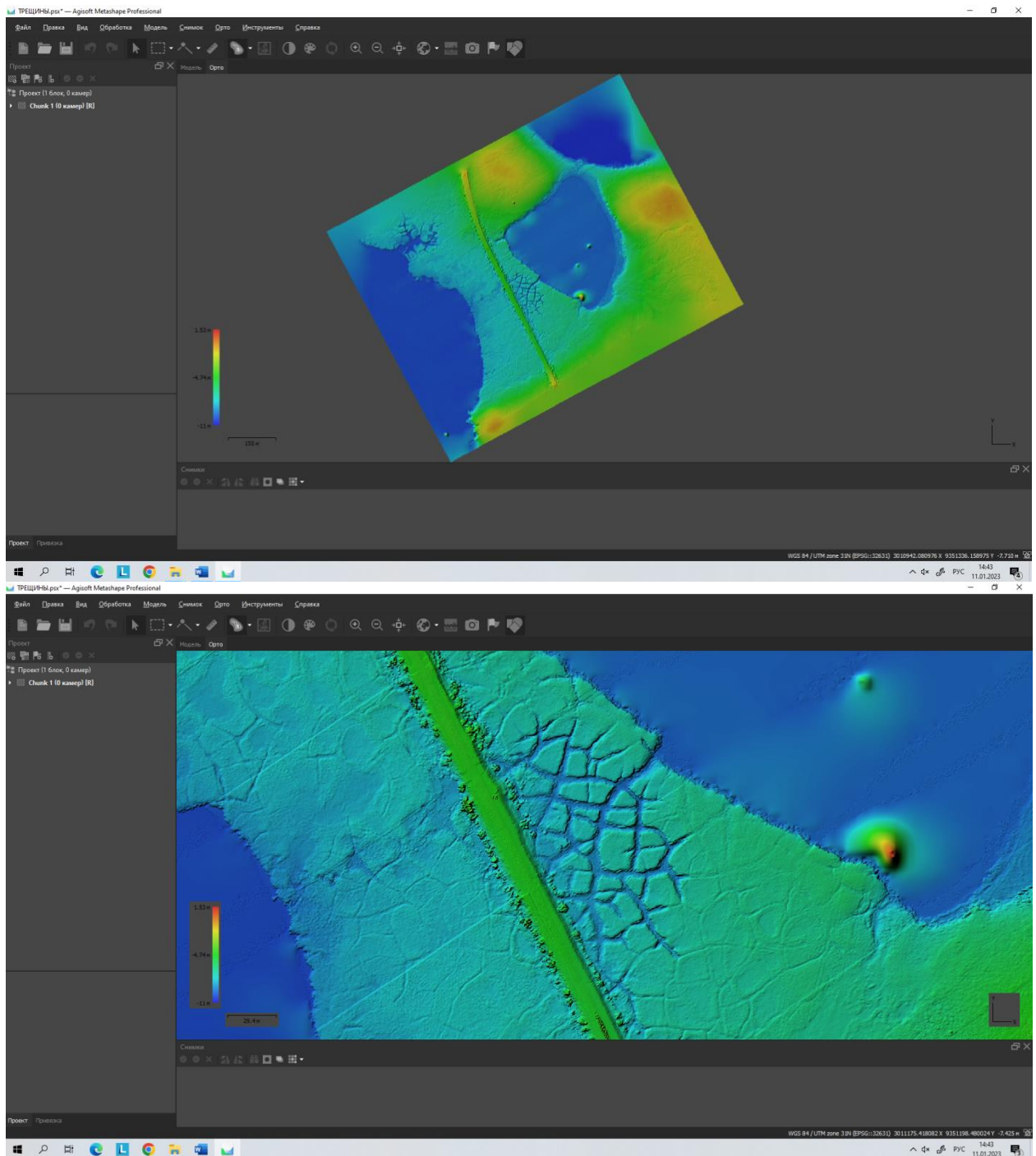


Рис. 29. Второй этап обработки в Agisoft Metashape

К сожалению, при съемках на исследуемых объектах приборы допускают ошибки. Беспилотник, который мы использовали, тоже без исключения. Так как прибор подключен к интернету, возможно, попадаетея помехи. Прибор в этот момент допускает ошибки. Эти ошибки можно вручную обрабатывать. С помощью параграммой Agisoft Metashape обработано ошибка и убрано лишние точки из ортофотоплана местности. На фото видно, что на середине озеро попались точки с очень высокими

высотами. Показано обработка данной ситуации на следующие фотки. Точки были убраны и на место этих точек было поставлено высота озера перпендикулярно (Рис. 30.).

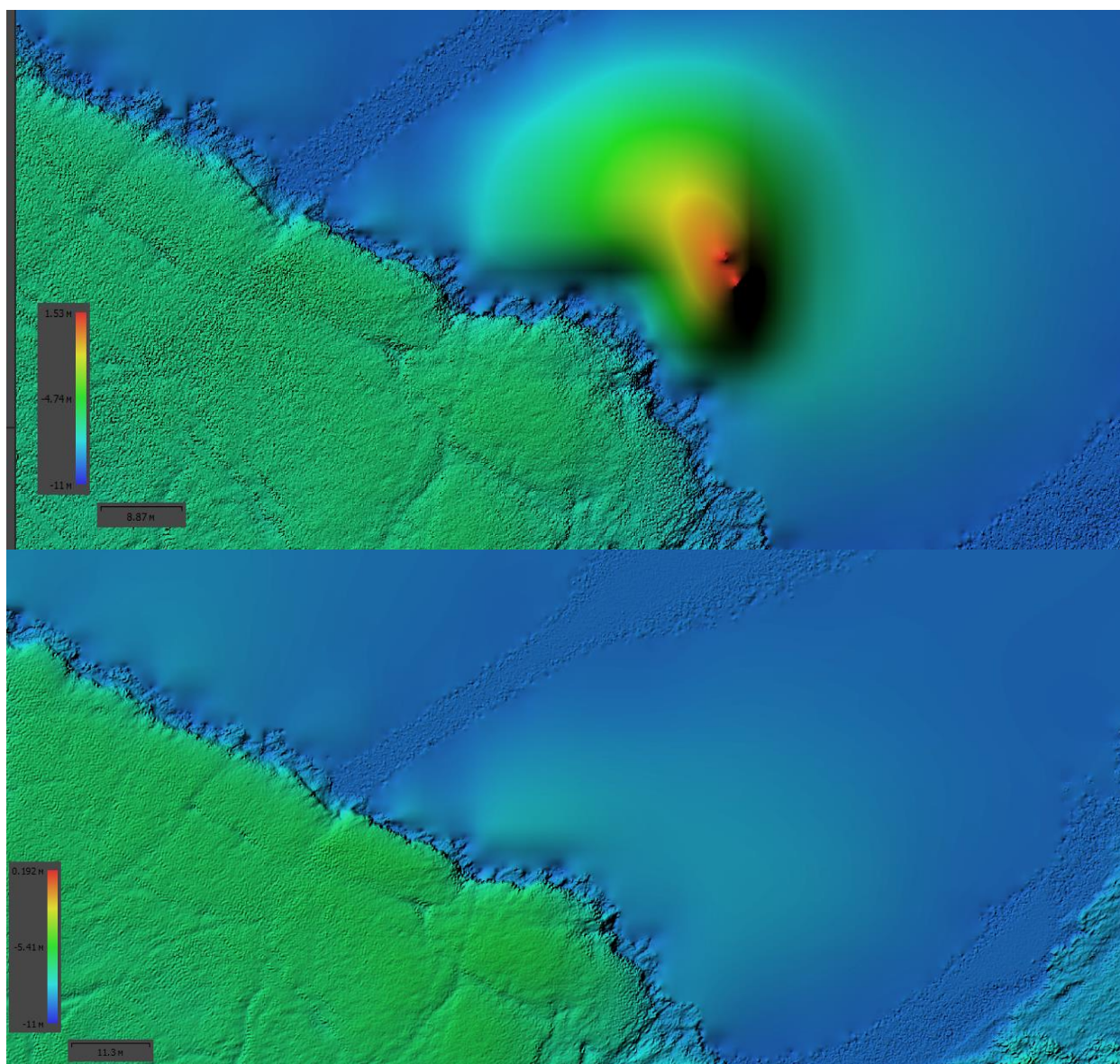


Рис. 30. Обработка и удаление лишних точек, которой допустил беспилотник.

Измерили профили трещин в нескольких местах, высшая точка профилей составляет -7.6 метра. Всё что ниже плоскости -7.6 метра, на данной территории относится к эрозионным структурам (Рис. 31.).

По результатам вычислений в программе Agisoft metashape, общий объем глубоких трещин составляет 4552 метра кубических.

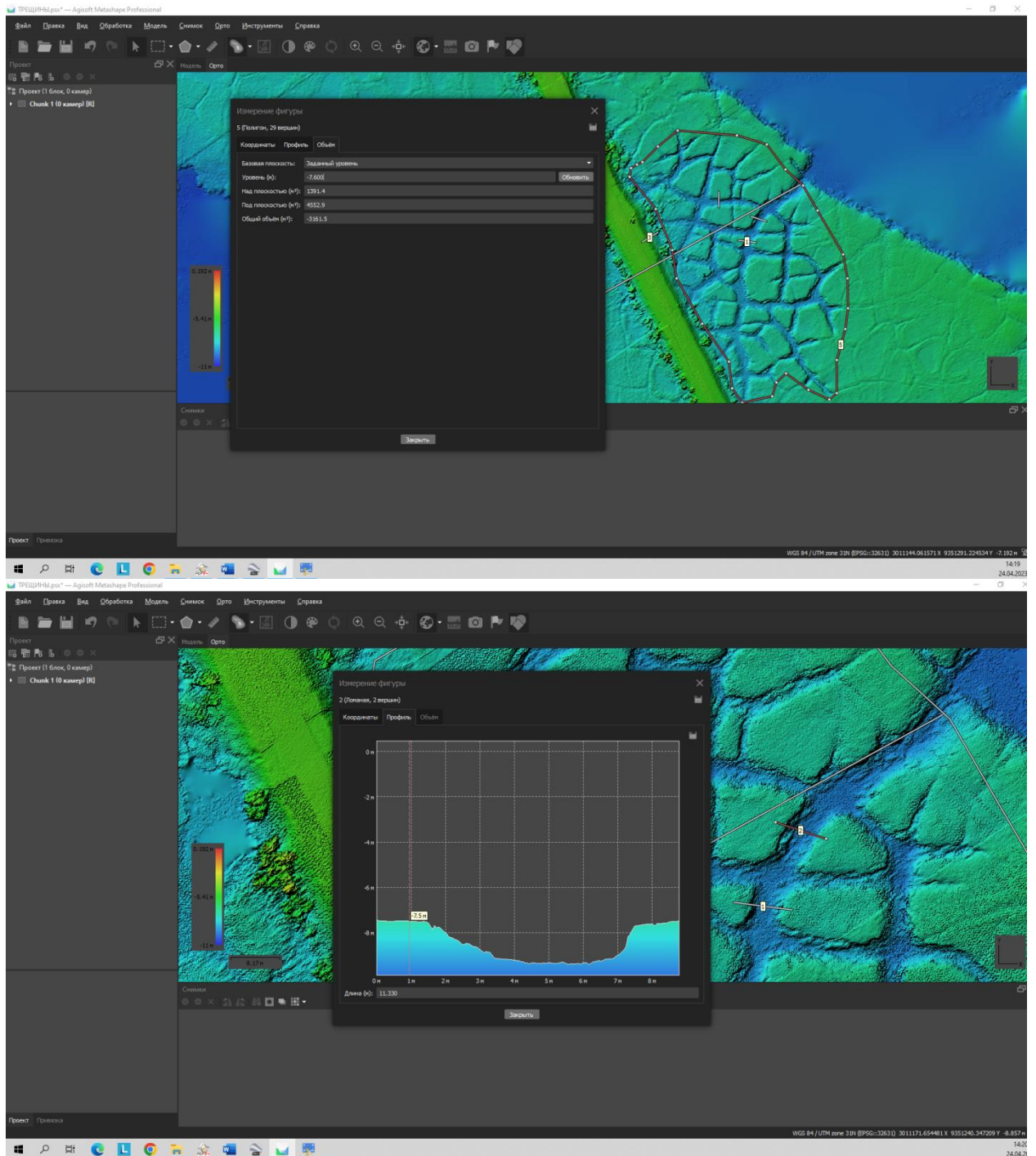


Рис. 31. Обработка и вычисление объем для глубоких трещин данного

После этого по такой-же методике провели вычисление для трещин меньшего размера. Высота плоскости была принята за - 7 метров, также по средней из нескольких измерений профиля.

Было посчитано объем данного участка исследования ниже 7 метров над уровнем море. 7 метров у нас средняя высота данного место исследования. В

дальнейшем изучении данного место исследования эти цифры помогут сравнит новые посчитанные данные со старимы и наблюдать за изменением данного участка. Результаты обработки данных показывает, что на данной проведенный место съемки, объем ниже 7 метров составляет 4849 кубических метров (Рис.32.).

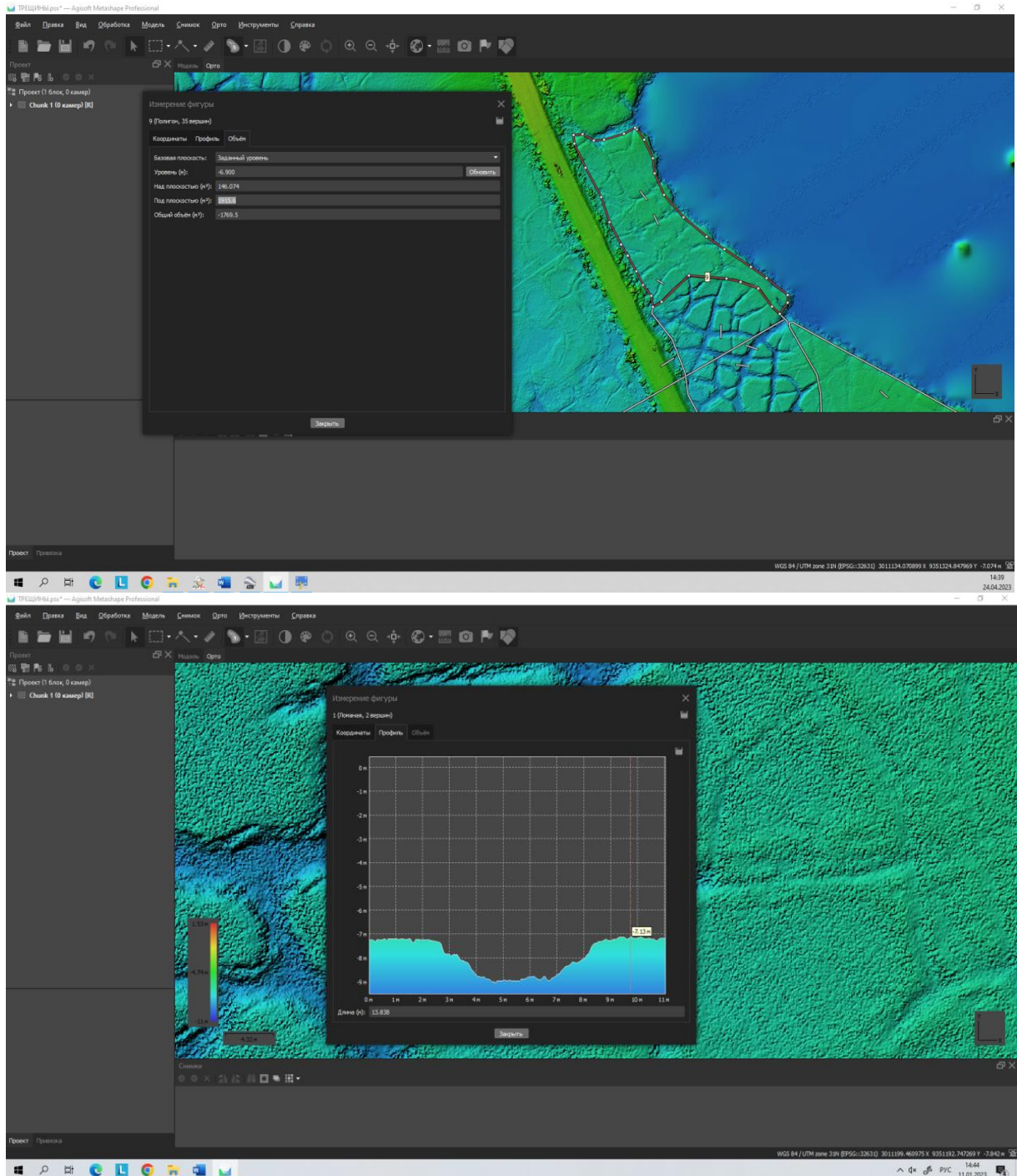


Рис. 32. Обработка и вычисление вычисление объем для трещин меньшего размера данного место исследование с помощью программы Agisoft metashape.

На ортофотоплане хорошо видны превышенные разные точки относительно друг от друга. Для более точной изучения рельефа, данного места, было проведено профилирование, только по полигональным торфяникам. На фото очень хорошо видны перепады рельефа полигональных торфяников относительно друг от друга (Рис. 33).

Для решения уменьшения деградации данного участка исследования можно предсказать несколько вариантов. Один из вариантов — это создание линии трубы между двумя озерами под землей (Рис. 33.). Трубопровод восстанавливает перемещение воды из одного озера к другому.

Трубопроводная линия, возможно, станет решением за прекращение деградации полигональных торфяников. Соединение двух озер с помощью трубы под землей становится решением для пересечения воды двух озер. Озёра становятся зависимыми друг от друга на дальних расстояниях. Расстояние между озерами составляет 220 метров. Рельеф данного места исследования колеблется друг от друга на 3-4 метров. При этом вечная мерзлота не должна вмешиваться на изменении данного места исследования.

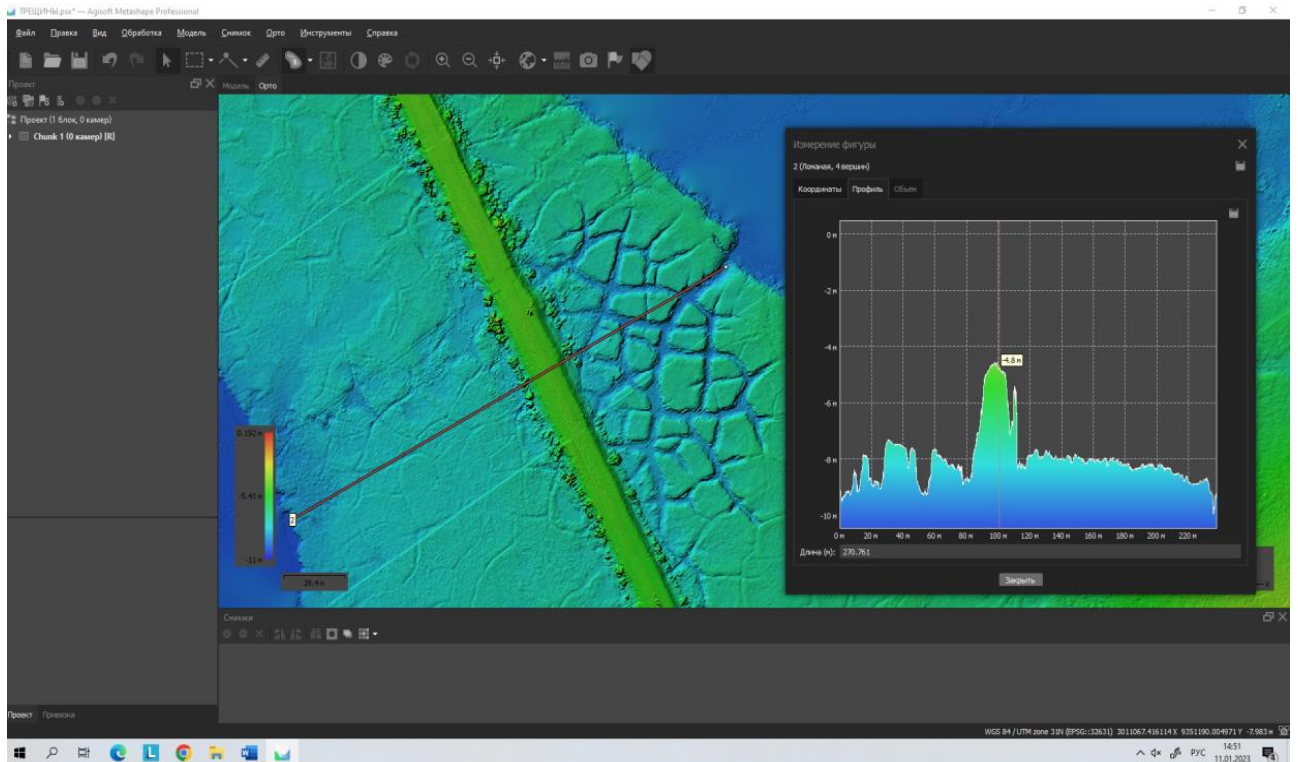


Рис. 33 . Проведение профиля между эрозийными полигональными торфяниками к ближайшему озеру и наблюдение за рельефом данной местности.

ВЫВОДЫ

Наблюдение за изменением поверхности полигональных торфяников даёт возможности прогнозировать дальнейшую его существования не только данного место исследуемого, но и весь северные регионы России, которые связаны с этой проблемой. Это проблема для сегодняшнего дня считается серьезным. Ведь эти торфяники в холодные периоды прошлого века обеспечивали устойчивое состояние верхней части мерзлых толщ. Данные, проведенные наблюдение за полигональными торфяниками вдоль дороги вблизи поселка Газ-Сале, позволили проследить за эрозионными трещинами и прогнозировать его дальнейшую существованию. Полигональные торфяники на этом участке постепенно разрушаются и присоединяются к озеру, которое находится очень близко. По словам ученых, торфяники очень хорошо придерживают теплоту по сравнению с обычным песок или другой вид грунта. Это говорит о том, что деградация полигональных торфяников продолжается очень медленно и возможно в ближайшие годы торфяники сохранятся и присоединение торфяников к ближайшему озеру произойдёт очень поздно. Можно предполагать, что деградация торфяников в какое-то время может вовсе остановиться. Это зависит от температуры и мощности многолетнемерзлых пород, которые находятся на разных глубинах почвенного слоя Земли и непосредственно от потепления климата.

При исследовании выяснилось, что данное место исследования каждый год меняет свой внешний вид в окружающую среду. При проведенные космических и геодезических наблюдение выяснилось, что полигональные торфяники вблизи поселка Газ Сале действительно сильно меняет свой внешний вид в окружающей среды, так как объем трещин год за годом становятся всё больше и больше. Использование космических снимков и геодезических приборов при изучении данный опасный экзогенный процесс, позволило более глубже изучать за изменение и деградации место исследования.

Проведенные геодезические исследования даёт возможность посчитать объем разломов и выемки эрозионных полигональных торфяников и наблюдать за понижением глубины протаивания. Проведенные исследование даёт возможности в дальнейшем его изучение провести мониторинг исследуемого участка и сравнить с нынешние результаты и наблюдать за изменением данного участка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данного исследования получены следующие выводы:

1. Район исследований находится в зоне спешного распространения многолетнемерзлых пород. Наличие вечной мерзлоты является одним из основных факторов трансформации современных рельефообразующих процессов под влиянием антропогенного воздействия.

2. В результате пожаров в тундре изменяется растительный покров, с преимущественно лишайникового, на травянисто-кустарниковый. В результате выгорания органического горизонта почвы и растительного покрова, а также изменения альбедо поверхности, происходит деградация вечной мерзлоты.

3. Строительство линейных сооружений, таких как автодороги, в зоне распространения ММП приводит к изменению гидротермического режима на прилегающей территории, активизирует термокарстовые процессы.

4. Пожар оказал значительное влияние на температуру почвы и глубину оттаивания вечной мерзлоты. На участке, подвергшемся пожару, наблюдалась более высокая температура почвы и глубина оттаивания вечной мерзлоты была больше, чем на фоновом участке. Кроме того, топографическая карта показало, что на сгоревшем участке изменилось рельеф местности. Пожар повлиял на состав растительности, что может негативно сказаться на экосистеме.

5. Строительство автодороги привело к нарушению гидрологического режима и деградации многолетнемерзлых пород, что проявилось в виде типичных полигональных трещин природно-антропогенного генезиса.

6. Созданы топокарты и ортофотопланы исследованных участков, что позволит в дальнейшем проводить мониторинговые исследования развития экзогенных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Книжные издания

1. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. Под. ред. С. М. Новикова — СПб. : ВВМ, 2009. — 536 с.
2. Губин В. Н. Дистанционные методы в геологии: Учеб. пособие для студентов спец. I 51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» /В. Н. Губин.—Мн.: БГУ, 2004.— 138 с.
3. Перцова А.В. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. СПбу: ВСЕГЕИ, 2000. – 316 с.
4. Растительность Западной Сибири и ее картографирование. Новосибирск: Наука, 1984.
5. Сальва А.М. Природные опасности на участке магистрального водовода в Центральной Якутии, вызванные техногенной термоэрозией и термокарстом. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 11. 19–25.
6. СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. 2016. 49 р.
7. Тахтаджян А. Л. Система магнолиофитов. Л.: Наука, 1987. 439 с..
8. ГОСТ Р 22.1.11–2002. Безопасность в чрезвычайных ситуациях мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования. 2002. 15 р.
9. ГОСТ 22.0.03–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. 2002. 11 р.
10. Barrett, K., Rocha, A. V., van de Weg, M. J., and Shaver, G.: Vegetation shifts observed in arctic tundra 17 years after fire, Remote Sens. Lett., 3, 729–736, 2012

11. Fortier, R.; LeBlanc, A.-M.; Yu, W. Impacts of permafrost degradation on a road embankment at Umiujaq in Nunavik (Quebec), Canada. *Can. Geotechn. J.* 2011, 48, 720–740.
12. Kaverin, D.A.; Khilko, A.V.; Pastukhov, A.V. Application of high-frequency ground penetrating radar to investigations of permafrost-affected soils of peat plateaus (European Northeast of Russia). *Earth's Cryosph.* 2018, 22, 75–83. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Narita, K., Harada, K., Saito, K., Sawada, Y., Fukuda, M., and Tsuyuzaki, S.: Vegetation and permafrost thaw depth 10 years after a tundra fire in 2002, Seward Peninsula, Alaska, *Arc. Antarct. Alp. Res.*, 47, 547–559, 2015.
14. Sitch, Stephen; McGuire, A. David; Kimball, John; Gedney, Nicola; Gamon, John; Engstrom, Ryan; Wolf, Annett; Zhuang, Qianlai; Clein, Joy; McDonald, Kyle C. (2007). Assessing the carbon balance of circumpolar arctic tundra using remote sensing and process modeling. *Ecological Applications*, 17(1), 213–234. doi:10.1890/1051-0761(2007)017
15. Talucci A. et al. Siberian taiga and tundra fire regimes from 2001–2020. 2022 *Environ. Res. Lett.* 17 025001. DOI 10.1088/1748-9326/ac3f07

Электронные издания

16. А.А.Виноградовна, Н.С.Смирнов, В.Н.Коротков, А.А. Романовская Лесные пожары в Сибири и Дальнем Востоке: эмиссии и атмосферный перенос черного углерода в Арктику.
17. Абакумов, Е. В. Состояние почвенного покрова ЯНАО: разнообразие, морфология, химизм и антропогенная трансформация / Е. В. Абакумов, И. И. Алексеев, Г. А. Шамилишвили // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2016. – № 4(93). – С. 4-7. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28783656>
18. Бессонов Е.А. – Научно-Техническое обоснование интенсификации гидромеханизированной добычи строительных песков из озерных месторождений Заполярья : диссертация ... доктора технических наук : 25.01.22
19. Валеева, Э. И. Зональные особенности растительного покрова Тазовского полуострова и его техногенная трансформация / Э. И. Валеева, Д. В.

- Московченко // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2009. – № 9. – С. 174-190. <https://elibrary.ru/item.asp?id=11846320>
20. Е.М. Бабкин, А.В. Хомутов, Ю.А. Дворников, Р.Р. Хайруллин, Изменение рельефа торфяника с вытаивающим полигонально-жильным льдом в северной части Пур-Тазовского междуречья 2021
21. Каверин Д.А., Судакова М.С., Хомутов А.В., Хайруллин Р.Р., Факащук Н.Ю., Пастухов А.В. — Применение георадиолокации для оценки влияния автодороги на глубину залегания многолетнемерзлых пород в полигональных болотах Севера Западной Сибири // Арктика и Антарктика. – 2022. – № 2. – С. 1 - 12. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49212991>
22. Качур А.Н., Скрыльник Г.П. Современная структура и устойчивость геосистем восточной Чукотки
23. Королева Е.С. - Развитие Многолетнемерзлых Полигональных Торфяников Под Воздействием Изменений Природных Условий Пур-Тазовского Междуречья Западной Сибири // Тюмень – 2022
24. Кунин С.А. Семенова О.С.. Влияние разработки песчаных грунтов на состояние деградирующих термокарстовых озер
25. Кусаева А.А. Сторожук Д.А. Влияние разработки песчаных грунтов на состояние термокарстовых озер.
26. Лаппо А.Д. - Пояснительная записка том Положения о территориальном планировании том Обоснование схемы территориального планирования
27. Лаппо А.Д. - Разработка Комплексной Системы Управления Развитием Территории Муниципального Образования Надымский Район Схема Территориального Планирования
28. Мельниченко Т. Н. - Криогенные процессы в структуре и динамике ландшафтов северо-запада Среднесибирского плоскогорья : Дис. ... канд. геогр. наук : 25.01.23 : Барнаул, 2004 243 с. РГБ ОД, 61:05-11/198
29. О. С. Сизов, П. Р. Цымбарович, Е. В. Ежова, А. В. Соромотин, Н. В. Приходько Оценка постпирогенной динамики тундровой растительности на

севере Западной Сибири за последние 50 лет (1968–2018) на основе данных ДЗЗ детального и высокого разрешения. 17.04.2020

30. Перков А.И. Клевцов Е.В. - Тахеометр, Геодезические Координаты, Полевые Работы, Камеральные Работы, Топографический План, Тахеометрическая Съёмка, Измерение Расстояний, Измерение Углов, Измерение Сторон, Журнал Тахеометрической Съёмки.

31. Пушкин А.А, Ковалевский С.В. - Инженерная Геодезия. Тахеометрическая Съёмка Методические рекомендации для студентов специальностей 1-75 01 01 «Лесное хозяйство», 1-75 02 01 «Садово-парковое строительство» Минск 2009

32. Р. Р. Хайруллин, А. В. Хомутов, Ю. А. Дворников, Е. М. Бабкин, Е. А. Бабкина, Д. Д. Сощенко. Анализ изменения торфяников северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья по дистанционным и наземным данным мониторинга. 2022

33. Свириденко С.П. Экологическая оценка компонентов окружающей среды в Приуральской лесотундре и тундре Ямало-Ненецкого автономного округа : диссертация ... кандидата биологических наук : 03.02.08

34. Скрыльник Г.П - Термокарст Как Фактор Разрушения И Созидания В Развитии Геосистем Юга Средней Сибири И Дальнего Востока (УДК 551.4:551.343(571.51/.52+571.6))

35. Скрыльников А.В. Природно-рекреационные ресурсы ЯНАО. 2012

36. Хомутов А.В, Бабкин Е.М, Тихонравова Я.В, Хайруллин Р.Р, Дворников Ю.А, Бабкина Е.А, Каверин Д.А, Губарьков А.А, Слагода Е.А, Садуртдинов М.Р, Судакова М.С, Королёва Е.С, Кузнецова А.О, Факашук Н.Ю, Сощенко Д.Д. Комплексные Исследования Криолитозоны Северо-Восточной Части Пур-Тазовского Междуречья

37. Шныт Л.Ф. - Особенности формирования рельефа ЯНАО. Уфа - 2018

38. Шныт Л.Ф. Геологическая история и строение недр территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Геолого-геоморфологическое строение.

- Поверхностные воды. Озера районов ЯНАО. Рельеф равнинной части округа. Рельеф, созданный морем, древними ледниками и человеком. 2016
39. D. V. Moskovchenko, S. P. Aref'ev, M. D. Moskovchenko, and A. A. Yurtaev. Spatiotemporal Analysis of Wildfires in the Forest Tundra of Western Siberia
40. Gibson, C.M., Chasmer, L.E., Thompson, D.K. et al. Wildfire as a major driver of recent permafrost thaw in boreal peatlands. *Nat Commun* 9, 3041 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05457-1>
41. IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015 International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO.
42. Kornienko, S.G., 2018. Cartography of pyrogenic violations of the vegetation cover on the Tazovsky peninsula with satellite data. *Actual Probl. oil gas* 1, 1–11 (in Russian). <https://cyberleninka.ru/article/n/kartografirovanie-pirogenyhnarusheniy-rastitelnogo-pokrova-na-tazovskom-p-ove-po-dannym-sputnikov-landsat/viewer>
43. Lasslop, G., Coppola, A.I., Voulgarakis, A. *et al.* Influence of Fire on the Carbon Cycle and Climate. *Curr Clim Change Rep* 5, 112–123 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00128-9>
44. Mollicone, D., et al., 2006. Ecology: human role in Russian wild fires. *Nature* 440, 436. <https://www.nature.com/articles/440436a>
45. Pastukhov, A.; Marchenko-Vagapova, T.; Loiko, S.; Kaverin, D. Vulnerability of the Ancient Peat Plateaus in Western Siberia. *Plants* 2021, 10, 2813. <https://doi.org/10.3390/plants10122813>
46. Ramona J. Heim a,*, Anna Bucharovaa, Leya Brodt b, Johannes Kamp a,c, Daniel Riekera,d, Andrey V. Soromotin b, Andrey Yurtaev e, Norbert Hölzel a Post-fire vegetation succession in the Siberian subarctic tundra over 45 years. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720369564?via%3Dihub>
47. Ramona J. Heim, Anna Bucharova, Leya Brodt, Johannes Kamp, Daniel Rieker, Andrey V. Soromotin, Andrey Yurtaev, Norbert Hölzel. Post-fire vegetation succession in the Siberian subarctic tundra over 45 years. *Science of the Total Environment*, Volume 760, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143425>

48. Sizov, O., Ezhova, E., Tsymbarovich, P., Soromotin, A., Prihod'ko, N., Petäjä, T., Zilitinkevich, S., Kulmala, M., Bäck, J., and Köster, K.: Fire and vegetation dynamics in northwest Siberia during the last 60 years based on high-resolution remote sensing, *Biogeosciences*, 18, 207–228, <https://doi.org/10.5194/bg-18-207-2021>, 2021.
49. Vilchek, G.E., Bykova, O.Y., 1992. The origin of regional ecological problems within the northern Tyumen oblast, Russia. *Arct. Alp. Res.* 24, 99–107. <https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=24032813>
50. Yu, Q., et al., 2015. Land cover and land use changes in the oil and gas regions of northwestern Siberia under changing climatic conditions. *Environ. Res. Lett.* 10, 124020

Картографические издания

51. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 1 атл. (303 с.).

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ФОН				ГАРЬ			
номер точки	x	y	z	номер точки	x	y	z
T1	7489283	926881	10,226	T1	7489519	926684	8,967
T2	7489309	926875	12,163	T2	7489548	926654	9,24
T3	7489307	926862	10,316	1	7489529	926646	9,156
1	7489294	926869	10,695	2	7489548	926654	9,24
T4	7489316	926866	10,719	3	7489528	926647	8,998
T5	7489314	926867	10,716	4	7489527	926656	9,081
T6	7489313	926865	10,798	5	7489526	926658	9,107
T7	7489311	926864	10,84	6	7489526	926660	9,133
T8	7489310	926863	10,731	7	7489525	926664	9,062
T9	7489308	926861	10,635	8	7489526	926662	9,091
T10	7489307	926863	10,819	9	7489529	926655	9,053
T11	7489308	926864	10,826	10	7489528	926657	9,092
T12	7489310	926865	10,805	11	7489528	926659	9,059
T13	7489311	926867	10,794	12	7489528	926661	9,057
T14	7489313	926868	10,791	13	7489528	926663	9,075
T15	7489314	926869	10,709	14	7489528	926665	9,124
T16	7489313	926871	10,731	15	7489531	926655	9,033
T17	7489312	926869	10,819	16	7489530	926657	9,042
T18	7489310	926868	10,801	17	7489530	926659	8,97
T19	7489309	926867	10,827	18	7489530	926661	9,026
T20	7489307	926865	10,875	19	7489530	926663	9,016
T21	7489306	926864	10,837	20	7489530	926665	8,97
T22	7489294	926869	10,695	21	7489533	926655	8,958
T23	7489307	926871	10,807	22	7489533	926657	8,975
T24	7489309	926870	10,855	23	7489532	926659	9,003
T25	7489310	926871	10,78	24	7489532	926661	9,035
T26	7489312	926872	10,781	25	7489532	926663	8,983
T27	7489310	926874	10,782	26	7489532	926665	9,066
T28	7489309	926872	10,765	27	7489528	926647	8,985

T29	7489307	926871	10,827	28	7489534	926663	8,896
T30	7489306	926870	10,915	29	7489534	926661	8,896
T31	7489304	926868	10,876	30	7489534	926659	8,908
T32	7489303	926867	10,777	31	7489534	926657	8,868
T33	7489301	926868	10,95	32	7489535	926655	8,873
T34	7489303	926870	10,911	33	7489537	926655	8,945
T35	7489304	926871	10,893	34	7489536	926657	8,942
T36	7489306	926872	10,876	35	7489536	926659	8,898
T37	7489307	926874	10,767	36	7489536	926661	8,957
T38	7489309	926875	10,811	37	7489536	926663	8,98
T39	7489308	926870	11,111	38	7489535	926665	8,956
T40	7489309	926869	10,772	39	7489549	926666	8,956
T41	7489312	926869	10,873	40	7489549	926669	8,9

КООРДИНАТЫ СЪЁМОЧНОЙ УЧАСТКИ

T1	7506255	925758	10,5	43	7506263	925728	9,004
T2	7506286	925681	11,874	44	7506261	925727	9,056
T3	7506238	925640	11,648	45	7506259	925717	9,175
1	7506237	925748	10,023	46	7506259	925707	8,633
2	7506292	925692	9,63	47	7506267	925706	8,879
3	7506231	925755	9,304	48	7506248	925724	9,082
4	7506271	925763	9,062	49	7506245	925722	9,112
5	7506229	925753	9,061	50	7506244	925717	9,326
6	7506252	925760	9,48	51	7506244	925713	9,27
7	7506216	925754	8,893	52	7506253	925710	9,12
8	7506211	925749	8,896	53	7506255	925721	9,337
9	7506213	925744	8,841	54	7506250	925725	9,216
10	7506221	925747	9,456	55	7506245	925721	9,29
11	7506221	925747	9,219	56	7506241	925722	9,272
12	7506221	925745	9,695	57	7506240	925715	9,131
13	7506212	925742	8,632	58	7506238	925716	9,124
14	7506220	925747	8,322	59	7506239	925722	8,749
15	7506216	925730	9,231	60	7506239	925709	9,183
16	7506219	925732	9,456	61	7506235	925699	9,115
17	7506218	925727	9,276	62	7506243	925697	9,084
18	7506222	925723	9,154	63	7506251	925697	9,244
19	7506223	925724	9,11	64	7506252	925702	9,127
20	7506225	925718	9,371	65	7506237	925711	9,375
21	7506235	925717	9,265	66	7506230	925713	9,37
22	7506237	925723	9,245	67	7506225	925713	9,34
23	7506227	925736	9,445	68	7506226	925704	9,148
24	7506228	925737	9,174	69	7506233	925700	9,202
25	7506230	925737	9,601	70	7506225	925628	11,964
26	7506240	925726	9,227	71	7506239	925639	12,101
27	7506243	925725	9,102	72	7506253	925650	12,165
28	7506245	925728	9,198	73	7506267	925662	12,226
29	7506242	925739	9,315	74	7506291	925680	12,287
30	7506243	925740	8,961	75	7506305	925691	12,086
31	7506244	925740	9,444	76	7506314	925699	12,181
32	7506248	925729	9,129	77	7506328	925710	12,227
33	7506257	925726	9,083	78	7506238	925687	8,893
34	7506259	925731	8,942	79	7506229	925688	9,107
35	7506261	925742	9,238	80	7506224	925687	9,145
36	7506261	925741	9,013	81	7506222	925686	8,437
37	7506262	925741	9,063	82	7506223	925680	8,373
38	7506262	925731	9,089	83	7506226	925678	8,914
39	7506274	925722	9,156	84	7506234	925678	8,478
40	7506275	925726	9,322	85	7506237	925682	8,482
41	7506272	925735	9,393	86	7506238	925690	9,031

