

**V Региональная открытая конференция
по научно-техническому творчеству школьников
«Лабиринты науки»**

Направление: Экология

**Тема: Особенности температурных режимов почв антропогенного и
естественных участков тундровых ландшафтов в окрестностях Анадыря
(Нижнеанадырской низменности).**

Авторы: Аванесова Карина Артуровна

Место выполнения работы: МБОУ «СОШ №1 г. Анадыря»

Руководитель: Ушанова И.Н., учитель биологии

**Консультант: Уяганский К.К., ведущий инженер мерзлотовед СВКНИИ
ДВО РАН.**

Оглавление

Введение	с. 3
1. Теоретическая часть	
1.1. География Нижнеанадырской низменности	с. 4
1.2. Растительный покров тундры. (Описание исследуемых участков).	с. 5
2. Практическая часть	с. 6
2.1. Результаты исследования	с. 6
2.2. Адаптации растений к жизни в суровых условиях и механизмы их выработки.	с. 13
3. Выводы	с. 16
4. Заключение	с. 16
5. Список используемой литературы	с. 17
Приложения	с. 18

Введение

Актуальность. Стабильность функционирования экосистем обуславливает сохранение стабильного слоя вечной мерзлоты. Нарушение теплообмена в почве под поврежденной растительностью приводит к опусканию уровня вечной мерзлоты, увеличению мощности сезонного оттаивания, что способствует термоэрозии и другим процессам.

Антропогенные нагрузки приводят к возникновению катастрофических изменений природной среды: уничтожению почвенного и растительного покрова на больших площадях, появлению оползней, просадочных озер, пучению почвы и т. д.

Цель: сравнить температурные условия между техногенным ландшафтным участком и сохранившимся естественно-тундровым и как эти условия влияют на растительные сообщества.

Задачи:

- Обработать полученные данные (высчитать среднесуточные температуры за каждые сутки, выявить самые низкие и самые высокие температуры за каждый месяц и за зиму, лето);
- Построить графики зимний сезон и летне-осенний каждого участка;
- Создать физико-географическую карту окрестностей Анадыря с указанием местонахождения участков с датчиками

Методы исследования: полевые по сбору данных (маршруты, измерения), лабораторно-аналитические.

Оборудование: датчики температур, щуп, фото - и видеоаппаратура, ноутбук.

Гипотеза: Нарушение естественного покрова тундры приводит к изменению теплофизических свойств почв и грунтов, что усиливает эрозию и развитию овражной сети, оттайке больших площадей мерзлых грунтов, уничтожает тундровый ландшафт и угрожает инфраструктуре человека.

1. Теоретическая часть.

1.1. География Нижнеанадырской низменности.

Нижне-Анадырская низменность (Приложение 1. Рис. 1-3.) располагается в бассейне нижнего течения р. Анадырь и ее притоков - рек Майи, Танюер, Белая и Канчалан. Кроме Анадыря, низменность дренируется р. Великой и системой небольших безымянных рек, впадающих непосредственно в Анадырский залив. С трех сторон она окружена горными хребтами и открыта к морю.

Территория Нижнеанадырской низменности — это ландшафт Нижнеанадырского района зоны тундры, подзоны типичных тундр и южных кустарниковых тундр, называемых гипоарктическими. Характерными особенностями ее климата являются холодная продолжительная зима, короткое пасмурное лето, значительные колебания температур в зимний период, сильные ветры. Так, в г. Анадырь среднегодовая температура воздуха составляет $-7,7^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля составляет $+10,7^{\circ}\text{C}$, января $-22,8^{\circ}\text{C}$. В особо морозные дни температура опускается до -35°C и ниже, жёсткость погоды усиливают ветра. Лето прохладное, короткое с частыми дождями, туманами, большим количеством пасмурных дней. Среднегодовое количество осадков -312 мм, из них 60% приходится на тёплый период года. Такой тип климата влияет на формирование особенных тундровых ландшафтов, которые достаточно разнообразны.

Рельеф тундровых ландшафтов холмисто-увалистый с отдельными горными кряжами и останцами, большие площади покрывают кочкарно-пушицевые тундры, низины заняты сырыми мохово-осоковыми болотами. Выделяются равнинные участки ледникового, озерно-аллювиального и морского происхождения. В горной местности и возвышенностях распространены каменисто-лишайниковые с зарослями кустарниковой ольхи, пятнисто-лишайниковые, по увалам — лишайниково-кочарные, кочарниково-кустарничковые, в низинах и равнинах — мохово-кустарничково-кочарные тундры, сфагновые болота, бугристо-западинные тундры.

1.2. Растительный покров тундры. (Описание исследуемых участков).

Нижнеанадырская низменность – это зона сплошного распространения мощных грунтов вечной мерзлоты, высокольдистых пород, поэтому развитие на этой территории получили растения, исторически адаптированные к суровым условиям. (Приложение 2. Фото 1.). В основном это мхи, лишайники, кустарники и низкорослые деревья. Последние из-за сильных ветров клонятся к земле, переплетаются и создают подобие цельной подушки. Чаще всего заросли из полярной ивы, карликовой березы растут по берегам рек, где почва лучше оттаивает. В тундре много видов ягодных кустарников (клюква, голубика, морошка, брусника). В основном это виды, приспособленные к сильным морозам и ветрам. (Приложение 2. Фото 2.)

Тундровые экосистемы, известные своей ранимостью, страдают от неразумной хозяйственной деятельности человека. Особенно уязвимы тундровые ландшафты, где разрушение почвенного покрова и гибель естественной растительности, вызывает катастрофическое вытаиванию многолетнемерзлых грунтов, подземных льдов., а это приводит в свою очередь заболачиванию, развитию сети овражной эрозии. Гибель естественных тундровых ландшафтов отрицательно сказывается на экосистемах в целом, обедняется видовой состав аборигенной фауны и флоры, сокращаются пастбищные кормовые угодья для северных оленей.

И чтобы выяснить, какую роль играет растительность, в данном случае, мхи, осока в сохранении естественного ландшафта, поддерживая температурный режим, сохраняющий мерзлоту и к каким последствиям приводит ее уничтожение, нами было проведено исследование. Осенью 2023 года в рамках научного проекта по изучению температурных режимов почвенных грунтов в тундре, в окрестностях города Анадырь были выбраны две площадки для проведения полевого исследования.

Первый участок (естественный ландшафт) – неповрежденный растительный покров. Данная площадка расположена на северном склоне небольшого пологого увала с фрагментарно сохранившимися участками осоково-пушицево-кочкарниковой тундры. Растительный покров состоит из пушицы, формирующей кочки, зеленого мха (роды *Sphagnum* и *Polytrichum*), осоки, голубики, брусники, шикши и лишайников. (Приложение 2. Фото.2.)

Второй участок (антропогенный ландшафт) – поврежденный растительный покров. На данном участке многолетний период деградации растительного покрова сформировалось сообщество осоково-травянистой растительности и кустарниковой ивы. (Приложение 2. Фото 3.)

2. Практическая часть.

Анализ температурных условий между техногенным ландшафтным участком и сохранившимся естественно-тундровым.

Материал и методы исследования.

20 сентября 2023 года на глубине 15 и 30 см были установлены датчики регистраторов температур U 23-003 с интервалом измерений данных через 4 часа. Через год 27 сентября 2024 г данные с регистраторов были скачаны. Лето 2024 года выдалось холодным, соответственно и оттайка сезонно-талого слоя (СТС) на конец сентября имела меньшие глубины - 50 см на антропогенном участке и 55 см на кочкарнике против 58 и 60 см в прошлом году. (Приложение 2. Фото 3.)

2.1. Результаты исследования.

Сравнительный анализ температурных данных двух площадок выявил следующие различия.

**Холодный период с отрицательными температурами в почвах
ниже нуля с октября по июнь.**



Температуры в почвах осоково-пушицево-кочкарниковой участка гораздо ниже, чем на нарушенном участке тундры. Средняя за весь холодный период на кочкарнике составила $-7,77$ на 15 см и $-7,2$ на 30 см, а на антропогенном участке $-5,5$ и $-4,65$ градусов. В самый холодный месяц февраль среднемесячная температура на кочкарном участке была $-14,78$ на 15 см и $-14,18$ на 30 см, а на антропогенном $-11,6$ на 15 см и $-10,6$ на 30 см.

**Анализ температур на исследуемых участках за холодный период
2023-2024 гг.**

Участок	Начало периода	Окончание периода	Количество суток с низкими t ⁰	Средняя отриц. t ⁰	Самая низкая t ⁰ за период
Антропогенный (осоково-травянистый)					
15 см	12.10.23	27.06.24	260	-5,5	- 14,08 (01.02.24)
30 см	10.10.23	17.07.24	280	-4,65	-11,97 (01.02.24)
Естественный (кочкарно-пушицевый мохово-кустарниковый)					
15 см	09.10.23	06.07.24	272	-7,77	-18,07 (01.02.24)
30 см	01.12.23	27.07.24	240	-7,2	-16,4 (01.02.24)

Анализ среднемесячных температур холодного периода

Участок	Среднемесячные температуры							
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
Антропогенный (осоково-травянистый)								
15 см	-0,06	-6	-8,5	-11,6	-10	-8,64	-2	-0,23
30 см	-0,04	-3,5	-7,4	-10,6	-9,5	-8,45	-2,7	-0,72
Естественный (кочкарно-пушицевый мохово-кустарниковый)								
15 см	-0,4	-8,19	-11,78	-14,78	- 13,95	-11,66	-3,7	-0,38
30 см	0,025	-6,27	-10,98	-14,78	- 13,49	-11,55	-4,24	-0,76

С одной стороны более низкие температуры на осоково-пушицевом кочкарнике можно объяснить разницей по высоте над уровнем моря: кочкарник на увале (45 м н.ур.м), расположенный выше антропогенного

участка (35 м н.ур.м) зимой охлаждается сильнее. Снег, как известно, обладает утепляющим эффектом: толщина снежного покрова за зиму составила на антропогенном участке порядка 45 см и в пределах 20 см на кочкарнике, где он сдувается зимними ветрами.

Однако, несмотря на более низкие температуры, почвогрунты в кочкарнике на глубине 30 см охлаждались очень медленно, имея положительные температуры выше нуля $+ 0,025^{\circ}\text{C}$ в ноябре, тогда как на антропогенном было $- 0,04^{\circ}\text{C}$, перейдя в стабильный отрицательный минус уже 10 октября. Надо отметить, что переход на температуры ниже нуля не означает мгновенное промерзание почвенных горизонтов, скорее они переходят в охлаждено-талое состояние, в котором находятся длительное время. Это связано с более низкой точкой замерзания почвенной влаги, представляющая собой раствор из минеральных солей, органических веществ, растворенных газов. К тому же влага в почвах находится в пленочной, капиллярной, свободной, гравитационной и других формах, которые имеют разные стадии замерзания.

Объяснить это явление, то есть разное по времени и длительности промерзание грунтов на данных участках, можно следующими причинами. Важную роль в этом термодинамическом процессе играет растительный покров, его свойства. Дело в том, что мхи и лишайники составляют значительную долю в фитоценозе кочкарных тундр. Они обладают высокой адаптивностью к суровым арктическим условиям, и селятся на холодных грунтах, где другие растения не выживают.

На площадке кочкарной тундры растет преимущественно зеленый мох, который обладает, хоть и меньшей чем у сфагнума, но всё же значительной гигроскопичностью, то есть способен держать в себе много воды. Осенью оторфованные тундровые почвы насыщены водой, которая, как известно, обладает большой теплоёмкостью, таким образом, моховой покров - это своеобразный накопитель тепла, и на его промерзание уходит много времени и энергии. При промерзании сверху в верхних слоях почвы образуется

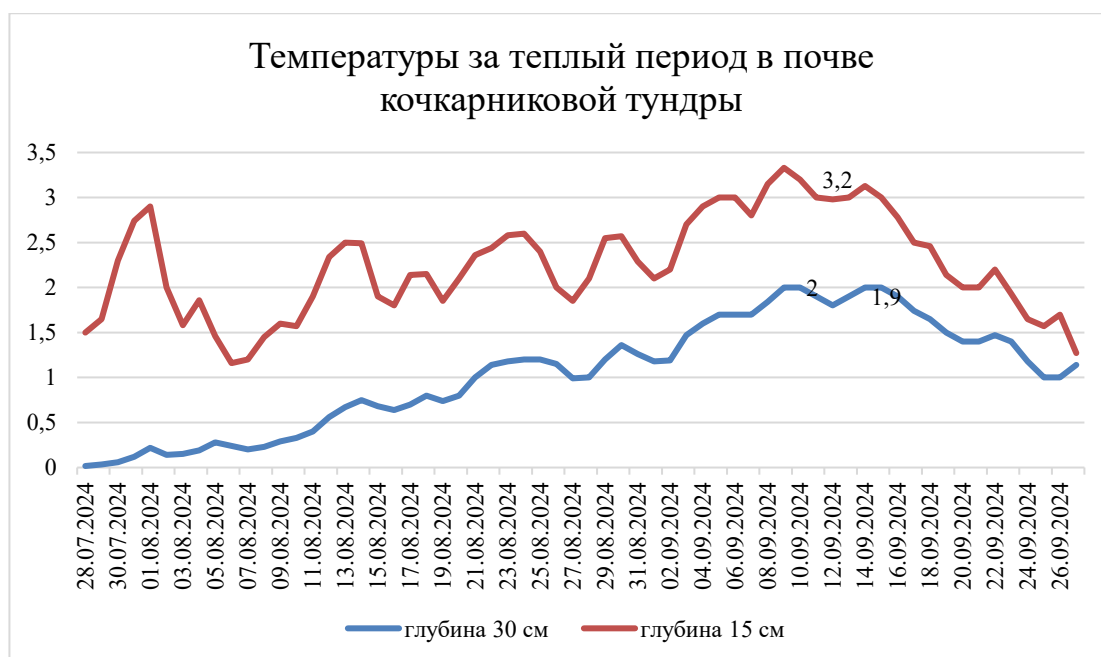
мерзлая корочка, к которой мигрирует вода из нижних слоев и в ходе фазового перехода у фронта промерзания кристаллизуется, формируя льдистый слой. Так происходит постепенное промерзание и нарастание льдистого слоя.

Однако лёд содержит большое количество пузырьков воздуха, как и сам мох, то есть формируется своеобразная прослойка, которая затрудняет теплоотдачу воды. Поэтому талый слой на глубине 30 см и ниже сохраняется до конца ноября, в отличие от антропогенного участка, где естественный мохово-торфяной слой был разрушен, вследствие чего промерзание в глубину шло практически беспрепятственно.

Таким образом, почвы кочкарника на глубине 30 см дольше сохраняют талое состояние, по сравнению с антропогенным участком, но имеют значительно ниже зимние температуры, что можно связать с более сильным охлаждением по высоте над уровнем моря и небольшим снежным покровом.

Теплый период с положительными температурами с июля по сентябрь





При сравнении двух участков за летне-осенний период хорошо видно, что антропогенный участок намного теплее, чем мохово-пушицевый кочкарник. Средняя положительная температура за сезон на глубине 15 см на антропогенном участке +3,3, а на кочкарнике +2,02 градусов, накопленная сумма положительных среднесуточных температур на тех же 15 см составляет 303,64 °С против 168,26 на кочкарнике. По количеству суток с положительными температурами у антропогенного участка на 10 суток больше. Особенно бросается в глаза даты начала наступления положительных температур. На антропогенном участке на 15 см - 28 июня, на 30 см - 18 июля, в грунтах кочкарниковой тундры тепло на соответствующих глубинах появляется 7 и 28 июля, (на глубине 10 см и выше тепло становится в первой декаде июня).

Анализ температур на исследуемых участках за теплый период 2024 г.

Участок	Начало периода	Окончание периода	Количество суток с положит. t°	Средняя положит ⁰	Самая высокая t° за период
Антропогенный (осоково-травянистый)					

15 см	28.06.24	27.09.24	92	3,3	5 (20.07.24)
30 см	18.07.24	27.09.24	72	1,85	2,61 (10.09.24)
Естественный (кочкарно-пушицевый мохово-кустарниковый)					
15 см	07.07.24	27.09.24	83	2,02	3,51 (08.09.24)
30 см	28.07.24	27.09.24	62	1,04	2,07 (15.09.24)

Такое значительное различие теплового баланса можно объяснить опять же существенной ролью мохово-торфяного покрова, благодаря которому в почвах кочкарника за осень и зиму образуется значительный объем льда в виде крупных слоев, прослоек, шлиров, гнезд. И на таяние этого льда и на прогрев, испарение талой воды затрачивается огромное количество тепла, которого, как известно на Крайнем Севере дефицит. Отсюда и такой длительный период отрицательных температур на глубине 30 см, длящийся до конца июля. Самым теплым месяцем для почв мохово-пушицевого кочкарника стал сентябрь (+3,5°C 8 сентября на 15 см), в отличие от антропогенных почв, где самая высокая температура зафиксирована 20 июля (+5°C).

В свою очередь именно разрушение естественного для тундровых ландшафтов Нижнеанадырской низменности мохово-лишайникового покрова не позволило осенью и зимой образовать в почвах антропогенного участка значительный объем льда, а это значит, что с началом наступления теплого сезона грунты прогревались больше и глубже, интенсивнее шло испарение воды. Более ясное представление о динамике температур в летний период на испытываемых площадках дают среднемесячные температуры с июля по сентябрь.

Анализ среднемесячных температур теплого периода

Участок	Среднемесячные температуры			Сумма среднесуточных температур выше 0 ⁰ С			Итого
	июль	август	сентябрь	июль	август	сентябрь	
Антропогенный (осоково-травянистый)							
15 см	2,9	3,8	3,5	90,7	118,28	94,66	303,64
30 см	0,3	1,9	2,1	14,5	60,27	58,8	133,57
Естественный (кочкарно-пушицевый мохово-кустарниковый)							
15 см	1,07	2,07	2,5	36,88	63,69	67,69	168,26
30 см	-0,17	0,7	1,6	0,23	21,69	42,76	64,68

За июль месяц на 30 см в кочкарнике среднемесячная $-0,17^{\circ}\text{C}$, в то время как на антропогенном участке $+0,3^{\circ}\text{C}$. А самый теплый месяц для антропогенного участка — это август $+3,8^{\circ}\text{C}$ (на 15 см), тогда как почвы мохово-пушицевого кочкарника на аналогичной глубине нагреваются только в сентябре ($+2,5^{\circ}\text{C}$).

Таким образом, проведённый анализ полученных температурных данных подтверждает, что тепловой баланс в почвах приморских тундровых ландшафтов, где размещены площадки, формируется под влиянием холодного влажного климата Нижнеанадырской низменности. И с учётом местных климатообразующих факторов тундровые растительные сообщества в ходе эволюции выработали адаптационные механизмы выживания на этой суровой земле.

2.2. Адаптации растений к жизни в суровых условиях и механизмы их выработки.

Какие растения заселили естественный мохово-пушицевый кочкарниковый участок тундры на увале?

Растительный покров состоит из пушицы, сфагнума, зеленого мха, осоки, голубики, брусники, лишайников. (Приложение 2. Фото 1,2). Как видно из анализа температур почвенный грунт на кочкарнике отличается низким температурным фоном, то есть является неблагоприятным для

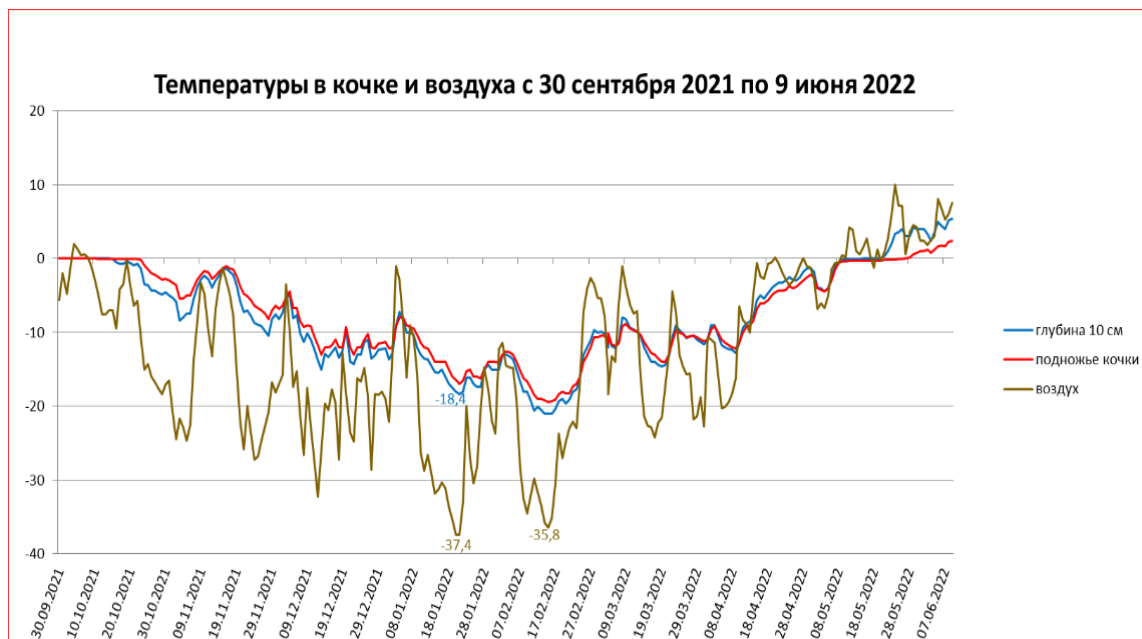
большинства растений, за исключением холодоустойчивых к которым относятся мхи и лишайники.

На участке, который располагается на северном склоне увала, преобладают зеленые мхи и ягель лишайник, у которых отсутствует настоящая корневая система, что позволяет им заселять ландшафты с холодными грунтами. В условиях дефицита тепла лишайники и мхи формируют подушковидные формы, внутри которых температура значительно выше, чем снаружи. Интенсивность фотосинтеза мхов, лишайников и других арктических растений высока не только при слабом освещении, но и при низких температурах. Например, у кукушкина льна альпийского (*Polytrichum alpinum*) при 0°C она составляет 55% от максимального уровня. Кроме зелёных мхов на участке фрагментарно встречаются подушки сфагнома, но мало, в основном он селится в низинах, полигональных трещинах, где больше влажности.

Пушица является доминирующим растением на исследуемом участке. В тундрах Нижнеанадырской низменности встречается несколько видов (*влагалищная, узколистная, Шейхцера*). Один из кочкообразователей. Формирование кочек – это адаптация пушицы к проживанию на холодных грунтах, с дефицитом тепла. Растение выносит свои фото ассимилирующие и репродуктивные органы из зоны застойного переувлажнения и поднимает их над слоем многолетней мерзлоты, что позволяет накапливать и удерживать тепло. Ранней весной, когда поверхность земли ещё в мерзлом состоянии именно на кочках, которые активно прогреваются на солнце, появляется первая зелень пушицы. Её жадно поедают северные олени, исхудавшие за зиму, длиннохвостые суслики, зайцы и другие обитатели тундры.

Мы проанализировали результаты исследований ребят, исследовавших температуры в кочках за период 2021-2022 гг. Эти данные подтвердили, что в кочках температура выше, чем на глубине 10 см.

График температуры кочки весной в окрестностях Анадыря



На графике температур кочки весной в окрестностях Анадыря, видно, что в конце мая в подножие кочки ещё отрицательная температура, в то время как сама кочка уже прогревается днём до $+5^{\circ}\text{C}$.

На кочках охотно поселяются другие растения, особенно кустарничковые, как голубика, брусника, багульник, кассиопея, карликовая березка, арктические ивы. Кустарнички очень медленно растут, у них замедлена скорость прохождения возрастных стадий, в частности, увеличивается длительность девственного периода. Голубика начинает приносить зрелые плоды только в 60-80-летнем возрасте, карликовая берёзка начинает плодоносить в 30-35 лет. Внешней приспособленностью к холоду в период роста и развития у пушицы и арктических ив является формирование опушения для защиты семян. Известно, например, что температура серёжек у ивы арктической (*Salix arctica*) в солнечный день на 6°C выше температуры окружающего воздуха. Карликовость растений тоже является адаптацией к арктическому климату. Ива, произрастающая на кочкарнике, имеет низкий рост и прижимается к земле, это помогает избегать в зимнее время губительных ледяных ветров и укрыться в снегу. Листья, которые у чукотских ив не опадают осенью, помогают задерживать снег, формируя защитный сугроб и защищая от ветра.

3. Выводы.

Таким образом, участок мохово-пушицевой кочкарниковой тундры представляет собой сбалансированную хорошо адаптированную и устойчивую экосистему. Однако на другом участке тундрового ландшафта после уничтожения естественного мохово-лишайникового пушицевого растительного покрова его развитие приобрело иной характер.

Как уже отмечалось, в грунтах уже не скапливалась вода, а частично испарялась и мигрировала вниз по склону, а значит в осенне-зимний сезон здесь уже не формировался мощный объем льда, на таяние которого в летний период затрачивается значительное тепло. Почвы стали получать больше тепла, менее застойный режим. В результате на этом участке стала активно заселяться вторичной злако-осоковой растительностью, в основном это вейники, а также осоки разных видов. Развитие получили ивы, обычно произрастающие в оврагах, ручьях, по берегам рек, то есть более высокие и имеющие глубокую корневую систему, нежели арктические виды. Сама местность участка изобилует овражной системой, ручьями, так как из-за гибели защитного мохового слоя усилилось таяние льдистых грунтов, ледяных жил.

4. Заключение.

Антропогенное воздействие приводит к следующим изменениям растительного покрова тундр:

1. Снижается разнообразие. Ряд видов, в первую очередь лишайники, выпадает из состава естественных сообществ.
2. Происходит «озлаковение» тундр. В антропогенных сообществах главную роль играют виды с широким географическим ареалом.
3. Обогащается состав травянистой растительности. В частности, увеличивается обилие злаковых и осоковых видов, а также ив.
4. Разрушение растительного покрова провоцирует эрозионные процессы.

5. Для полного восстановления тундровых сообществ требуется длительное время.

Кроме того, техногенные нарушения поверхности территории в области многолетней мерзлоты порождают или усиливают криогенные и другие геологические процессы.

Практическое применение данной работы заключается в привлечении внимания к данной проблеме антропогенного влияния на растительный покров тундр, в целях восстановления естественного облика тундрового ландшафта.

Список используемой литературы:

1. Чукотка - мир без границ, выпуск №3, 2022. Альманах Отделения РГО в Чукотском АО и АНО Чукотский арктический научный центр «Результаты криологических исследований, проведенных школьниками на Чукотке», Уяганский К.К.;
2. <https://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/02-52/05.html>
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%8B%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C
4. file:///C:/Users/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C/Downloads/almanah_mir_bez_granic_n3.pdf
5. Ю.П. Баранова. К истории развития рельефа Нижнеанадырской низменности и окружающих ее гор в четвертичном периоде. Акад.наук СССР. СО. Геология и геофизика.
6. <https://ecoportal.info/rasteniya-tundry/>
7. Ю.Е. Алексеев, С.А. Баландин, М.Г. Вахрамеева Растения тундры. Москва. Классикс Стилль, 2003.

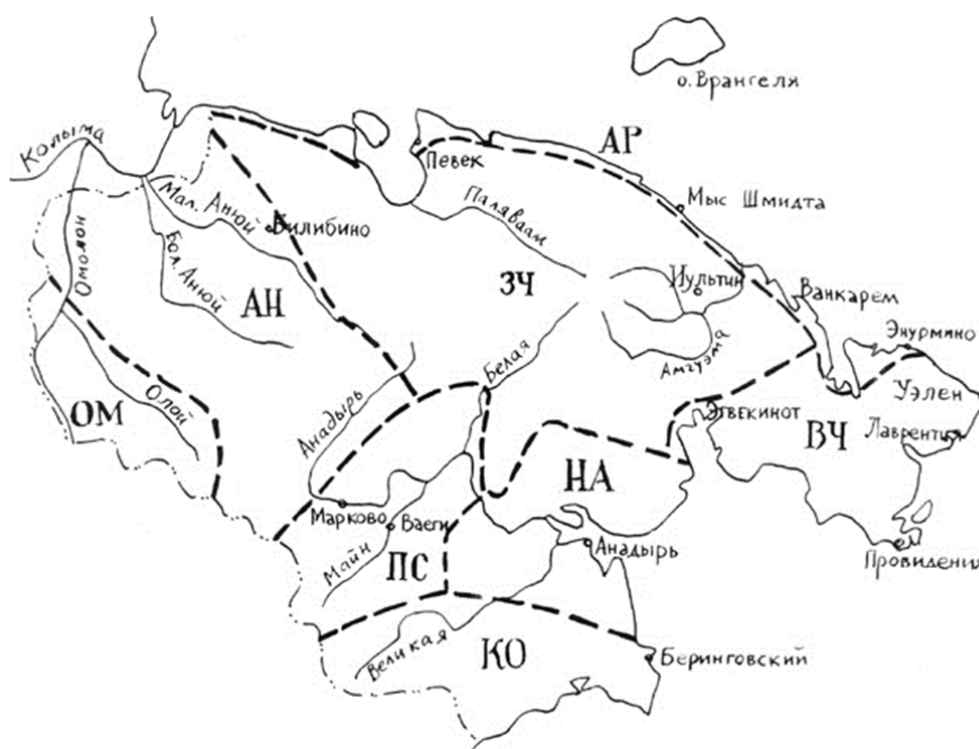


Рис. 1. Ландшафтное районирование Чукотки. Ландшафтные районы: АР – Арктический; ЗЧ – Западно-Чукотский; ВЧ – Восточно-Чукотский; АН – Анюйский; ОМ – Омолонский; ПС – Пенжинско-Среднеанадырский; **НА** – Нижнеанадырский; КО – Корякский

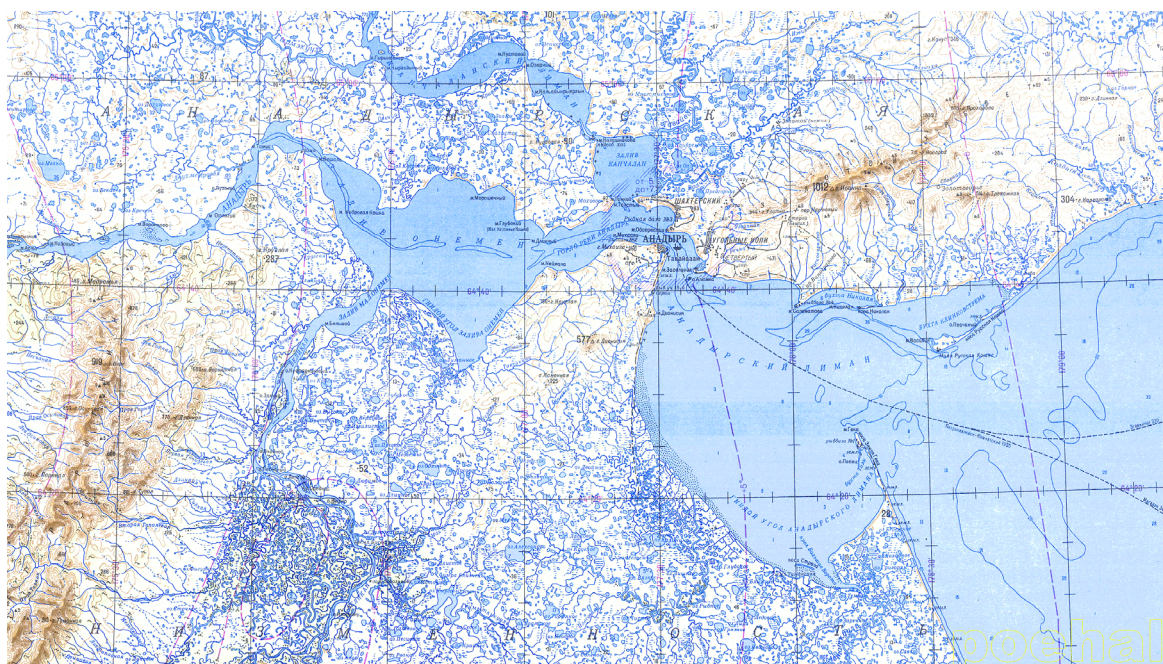


Рис 2. Нижнеанадырская низменность (карта)

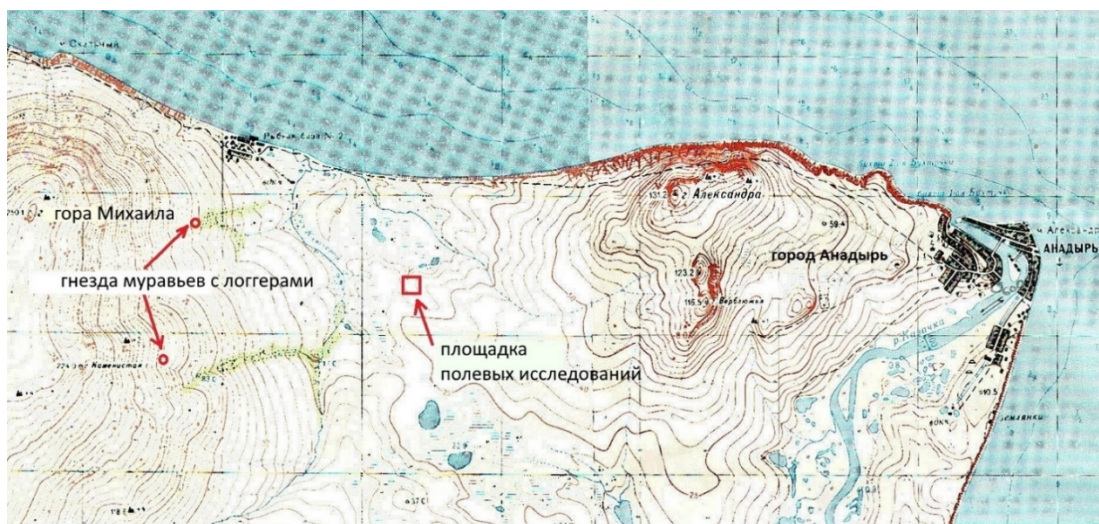


Рис.3 Карта полевых исследований

Приложение 2



Фото 1. Общий вид исследуемых участков



Фото 2. Растительность Нижнеанадырской низменности (естественный участок)



Фото 3. Антропогенный участок



Фото 4. Естественный участок



Фото 5. Сбор температурных данных.



Фото 6. Измерение глубины оттайки.