

РЕЦЕНЗИЯ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ (МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ)

ШТАБРОВСКОЙ Ирины Михайловны

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) на тему

**«Летняя динамика температуры в горных почвах Хибин
на примере горы Вудъяврчорр»**

Выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с заданием в полном объеме и подтверждает способность студента к самостоятельному решению поставленных задач.

Магистерская диссертация состоит из 5 глав (глава 1. Природные особенности Хибинского горного массива; глава 2. Климатические особенности Хибин; глава 3. Почвы Хибинского горного массива; глава 4. Объекты и методы исследования; глава 5. Характеристика температуры горно-лесных и горно-тундровых подстилок горы Вудъяврчорр в сезоны 2016-2017 годов) и 5 приложений. Список использованных источников включает 60 наименований. Исследование было частью темы НИР Лаборатории наземных экосистем и многолетнего комплексного почвенно-зоологического проекта Института проблем промышленной экологии Севера.

Во введении сформулированы цели и задачи исследования, которые Ирина Михайловна полностью выполнила. Идея исследований – изучение летней динамики температуры почв – оригинальна и, без сомнения, чрезвычайно актуальна, т.к. именно этот экологический фактор оказывает влияние на многие процессы в экосистемах (вегетацию растений, сезонную и многолетнюю динамику зоо- и микробоценоза). Обзор литературы включает большое количество печатных и интернет-изданий. Выполнен обзор природных условий района исследований (геологического строения, геоморфологии, гидрологии, растительности), особое внимание уделено характеристике климата, физико-химических свойств почв и почвенного зооценоза.

Полностью и исчерпывающе изложена методика выполнения эксперимента по измерению температуры подстилки, схема эксперимента (заложение термометров на склонах противоположной экспозиции в нескольких поясах и горных районах) обоснована и не вызывает сомнений. Ирина Михайловна самостоятельно и под научным руководством выполнила измерения температуры за несколько сезонов и провела статистическую обработку результатов. Отчет иллюстрирован рисунками, схемами и диаграммами, которые полностью отражают полученные результаты. Выводы полностью соответствуют поставленным задачам.

К тексту работы есть некоторые замечания. В дальнейшем нужно с осторожностью подходить к выбору интернет-источников. К сожалению, не всем можно доверять (например, точно не заслуживает доверия электронный ресурс, сайт <http://hibiny-land.ru>, который утверждает, что

«ущелье Рамзая имеет перевал для туристов Юкспорлак, а ущелье Географов - перевал Северный Чоргорр», с. 10 текста работы).

В целом, работа И.М. Штабровской «Летняя динамика температуры в горных почвах Хибин на примере горы Вудъяврчорр» представляет собой вполне добротное исследование, выполненное на корректной методологической основе и полевых материалах. Выводы обоснованы и ясно изложены. По теме исследования опубликованы 2 печатные работы, и результаты доложены на научных конференциях. Полученные данные имеют несомненную ценность для науки, и их необходимо опубликовать в открытой печати.

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) заслуживает отличной оценки.

а студентка _____ Штабровская Ирина Михайловна _____ (прописью)
(фамилия, имя, отчество)

присвоения степени (квалификации) магистра по направлению 05.04.06 Экология и природопользование.

Рецензент _____
(подпись)

Королева Н.Е.
(фамилия, имя, отчество)

с.н.с. лаб. флоры и растительных ресурсов

ПАБСИ КНЦ РАН

М. П.

(занимаемая должность)

Подпись _____
Насалонис _____



ОТЗЫВ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ (МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ) Штабровской Ирины Михайловны

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) на тему «Летняя динамика температуры в горных почвах Хибин на примере горы Вудъяврчорр»

Магистерская диссертационная работа Ирины Михайловны Штабровской выполнена на протяжении двух лет, включая экспедиционные работы в полевые сезоны 2016 и 2017 г.г., и является продолжением ее бакалаврской диссертации, защищенной в 2016 году. Это позволило Ирине Михайловне в магистерской диссертации обобщить данные по показателям и динамике температуры в подстилках разных горно-растительных поясов и склонов разной экспозиции нескольких хибинских гор, а также приступить к наполнению базы данных по температуре почв заполярных горных систем (на примере Хибин и заповедника «Пасвик»).

Ирина Михайловна участвовала во всех этапах работы от настройки программируемых термодатчиков на компьютере и их установки в горных экосистемах до обсчета и статистического сравнения полученных показаний, их графической визуализации, анализа и интерпретации. Уровень практической подготовки магистранта позволяет ей выполнять все этапы исследования температурного режима почв полностью самостоятельно. Этому способствуют и личные качества Ирины Михайловны: организованность, аккуратность в работе, инициативность, исследовательский интерес.

Результаты, полученные при подготовке магистерской диссертации, озвучены Ириной Михайловной на нескольких тематических конференциях и опубликованы в двух печатных работах, ведется работа по подготовке научной статьи для рецензируемого журнала из списка ВАК.

В качестве замечания отмечаю необходимость большей работы с литературой – как с классическими трудами по географии и почвоведению, так и с научными статьями, освещающими современные методы изучения температурного режима почв.

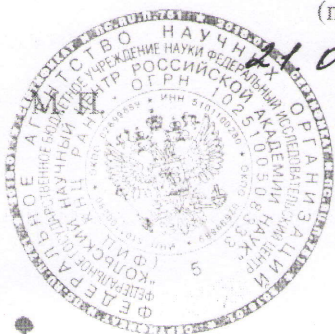
Подтверждаю, что выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) Ирины Михайловны Штабровской выполнена в соответствии с заданием, в полном объеме, характеризует магистранта как исследователя, способного к самостоятельному решению поставленных задач, и заслуживает оценки отлично,

а магистрант Штабровская Ирина Михайловна
присвоения степени (квалификации) магистра по направлению 05.04.06 Экология и природопользование.

Рекомендую Ирине Михайловне продолжить исследования по теме магистерской диссертации и разработке базы данных по температурному режиму почв заполярных горных экосистем в рамках обучения в аспирантуре и подготовки кандидатской диссертации.

Руководитель ВКР
(научный руководитель) Мешков
(подпись)

Зенкова Ирина Викторовна
(фамилия, имя, отчество)
К.б.н., доцент, в.н.с. ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН
(занимаемая должность)



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Мурманский государственный технический университет»
Апатитский филиал

кафедра геоэкологии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

по образовательной программе высшего образования –
программе магистратуры по направлению подготовки
05.04.06 «Прикладная геоэкология»

**на тему: «Летняя динамика температуры в горных почвах Хибин
на примере горы Вудъяврчорр»**

Выполнила: студентка 2 курса
очной формы обучения
И. М. Штабровская

Руководитель: ведущий научный сотрудник
ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН,
кандидат биологических наук, доцент
И. В. Зенкова

Рецензент: старший научный сотрудник
лаборатории флоры и растительных
ресурсов ПАБСИ КНЦ РАН,
кандидат биологических наук
Н. Е. Королева

Допущен к защите

«_____» _____ 2018 г.

Заведующий кафедрой геоэкологии,
чл.-корр. РАН, докт. биол. наук, профессор В. К. Жиров

Апатиты
2018

Содержание

Введение	4
Глава 1. Природные особенности Хибинского горного массива	7
1.1. Географическое положение	7
1.2. Рельеф	9
1.3. Геология	10
1.4. Гидрология	12
1.5. Растительность и флора	15
1.6. Фауна	21
Глава 2. Климатические особенности Хибин	24
2.1. Роль циркуляции атмосферы в климате Хибин	24
2.2. Влажность и осадки	30
Глава 3. Почвы Хибинского горного массива	34
3.1. Общие сведения о почвах	34
3.2. Тепловые свойства почвы	37
3.3. Водоудерживающая способность и влагоемкость почвы	40
3.4. Температурный режим горных почв и степень его изученности в Хибинах	41
3.5. Метод термохронов и их техническая характеристика	44
Глава 4. Объекты и методы исследования	47
4.1. Характеристика исследованной территории	47
4.2. Методы исследования	49
4.2.1. Полевые методы	49
4.2.2. Лабораторные методы	50
4.2.3. Математическая обработка и ГИС-картографирование данных	51
4.2.4. Привлеченные данные	53
Глава 5. Характеристика температуры горно-лесных и горно-тундровых подстилок горы Вудъяврчорр в сезоны 2016-2017 годов	55
5.1. Исследование температуры горно-тундровых подстилок на площадке Ботанического цирка	55
5.1.1. Среднемесячные и среднелетние температуры подстилок	55
5.1.2. Суммы положительных и эффективных температур	60
5.2. Исследование температуры горно-лесных и горно-тундровых подстилок в ущелье Скальное	65

5.2.1 Среднемесячные и среднелетние температуры горно-лесных подстилок на склонах встречной экспозиции	65
5.2.2 Суммы положительных и эффективных температур в горно-лесных подстилках	72
5.2.3 Среднемесячные и среднелетние температуры подстилок в высотных поясах.....	76
5.2.4 Суммы положительных и эффективных температур в подстилках высотных поясов	83
5.3. Сравнение исследованных участков горно-тундрового и горно-лесного поясов горы Вудъяврчорр.....	86
Выводы	93
Список литературы.....	95
Приложение 1.....	100
Приложение 2.....	101
Приложение 3.....	102
Приложение 4.....	103
Приложение 5.....	104
Приложение 6.....	105

Введение

Температура почвы и амплитуда ее суточного хода являются важными показателями, воздействующими на процессы, протекающие в почве (Дюкарев, 2012). Температура является характеристикой интенсивности энергетических процессов, например, таких как распределение поступающей солнечной радиации, транспирации и конденсации влаги и потока тепла в почву.

Характер распределения температуры в верхнем слое является важным показателем, так как температура оказывает влияние на скорость протекания биологических, физико-химических, биохимических процессов в почвах, обуславливает рост и развитие живых организмов и темпы их жизнедеятельности, и, в конечном итоге, определяет распространение и разнообразие почвенной биоты, т.е. биоразнообразие почв. Наибольшие колебания температуры и влажности наблюдаются в поверхностном слое почвы - органогенном горизонте или подстилке, наиболее населенной биотой.

Актуальность исследования температурного режима горных почв объясняется:

1. Специфическими особенностями горного микроклимата, который отличается от климата предгорных ландшафтов и определяет не только особенности развития и функционирования горных почв и своеобразие их растительных, животных и микробных сообществ, но и оказывает влияние на окружающие предгорные ландшафты.
2. Выраженной в горах вертикальной зональностью (высотной поясностью) в виде смены от подножия к вершинам состава почвообразующих пород, типов почв и растительного покрова, разнообразия и распределения фауны.
3. Индикаторной ролью температурного режима в комплексном мониторинге глобальных климатических процессов.

В Мурманской области вертикальная зональность почв и растительности хорошо изучена на примере Хибин (Мазыро, 1936; Иванова, Колосов, 1937; Перов, 1965; Манаков, Никонов, 1979; Манаков, Ушакова, 1991; Ушакова, 1999; Переверзев, 2010).

На высокогорных плато встречаются участки лишайниковых тундр с примитивными почвами. В верхних частях склонов сформировались горно-тундровые иллювиально-гумусовые почвы. Для пояса тундровых кустарников и кустарничков характерны горно-тундровые оподзоленные почвы. В лесной зоне почвы представлены горно-подзолистыми иллювиально-гумусовыми, карликовыми подзолами и подбурами.

Изучение температуры почв Мурманской области проводилось ранее как в зональных (Крючков, 1958; Яковлев, 1961), так горных экосистемах, в том числе в горных почвах заповедника «Пасвик» (Карпова, 2013; Зенкова, 2013) и почвах разных высотных

поясов Хибинского горного массива (Шмакова и др., 2008; Зенкова, 2015). Этими авторами было показано, что в горных условиях температурная динамика подстилок сопряжена с изменением температуры более прогретого атмосферного воздуха и зависит от факторов высотной поясности и экспозиции горных склонов. Подобные исследования температуры органических горизонтов в высотном градиенте гор ведутся на Приполярном Урале сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Старцев, Жангуров, Дымов, 2017). Как и в наших исследованиях, в работе почвоведов из Коми НЦ используются измерительные приборы нового поколения - автономные программируемые термодатчики – логгеры или термохроны.

В настоящую работу вошли результаты исследований, полученные автором в полевые сезоны 2016 и 2017 годов на разных участках хибинской горы Вудъяврчорр. Также для обобщения и выявления закономерностей температурной динамики горных почв были привлечены данные исследований предыдущих лет (2013-2016), в том числе полученные автором при подготовке выпускной квалификационной работы (Штабровская, 2016). В частности, было выявлено, что летняя динамика температуры подстилок всех горно-растительных поясов достоверно определялась динамикой температуры более прогретого атмосферного воздуха, и высотные различия по большинству исследованных показателей подстилок были резче выражены на склоне западной экспозиции, чем на склоне южной экспозиции. Для данной работы были выбраны участки со встречной экспозицией склонов при одинаковой высоте положения над уровнем моря.

Цель работы состояла в исследовании температурных показателей наиболее биологически активного органического горизонта (подстилки) горных почв Хибин с учетом факторов высотной поясности почвенно-растительного покрова и экспозиции горных склонов.

Решались следующие задачи:

1. Сравнительное исследование летней динамики температуры подстилок в высотно-поясном градиенте природных факторов (высотная смена типов растительности, почв и микроклимата) в пределах основных горно-растительных поясов Хибин – горнолесного и горно-тундрового.

2. Сравнение температурных показателей в подстилках горных экосистем с разной экспозицией.

3. Сопоставление полученных данных по летней динамике температуры горных почв с метеоданными.

4. Обобщение результатов исследования температурных показателей в горных почвах Хибин, полученных в предыдущие годы (с построением ГИС-карт).

Работа выполнена на базе Лаборатории наземных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера – Обособленного структурного подразделения ФИЦ «Кольский НЦ РАН» в рамках темы НИР «Пространственно-временные закономерности функционирования северотаежных лесов: природные и техногенные аспекты» (рег/номер ЦИТИС 01201350346; рук. – зав. лаб., к.с.-х.н. Л. Г. Исаева) и является частью многолетнего комплексного почвенно-зоологического проекта (рук. – к.б.н., доцент И. В. Зенкова), нацеленного на оценку влияния абиотических факторов и температурного режима на биологическое разнообразие и распределение почвенной фауны в заполярных горных массивах.

Автор выражает благодарность научному руководителю – к.б.н., доценту И. В. Зенковой за полезные советы и помощь в выполнении работы.

Глава 1 Природные особенности Хибинского горного массива

1.1. Географическое положение

Хибинский массив расположен на северо-западе европейской части России - в Мурманской области, которая географически охватывает территорию Кольского п-ова и часть материка. На западе область граничит с северными провинциями Норвегии (фюльке Финнмарк) и Финляндии (ляни Лапи), на юге - по суше и через Кандалакшский залив Белого моря - с Республикой Карелия, на востоке - через Горло Белого моря - с Архангельской областью и по восточной части Белого моря - с Ненецким автономным административным округом Архангельской области, а с севера и северо-востока омывается незамерзающим Баренцевым морем (Кольская энциклопедия, 2008).

Рельеф области в целом отличается значительной пересеченностью, представляя собой систему впадин и возвышенностей, образованных движением ледника. Наиболее высокие горы, обычно называемые тундрами, расположены в центральной и западной частях Мурманской области. Это средне- и низкогорные массивы: Хибинские, Ловозерские, Кандалакшские, Колвицкие, Иолга- и Панские тундры. В материковой части наиболее значительными по высоте являются Чуна- и Мончетундра, Волчья, Сальные, Печенгские тундры (рис. 1.1). Многочисленны в Мурманской области и более низкие и мелкие возвышенности и катены. Тундры обычно рассечены глубокими ущельями, имеют сглаженные вершины и крутые, иногда обрывистые склоны (Кольская энциклопедия, 2008).



Рис. 1.1 Физическая карта Мурманской области с обозначением горных систем.

Хибинский массив расположен в центральной части Мурманской области, между двумя крупнейшими в регионе, вытянутыми в меридиональном направлении, озерами Имандра и Умбозеро (табл. 1.1). Площадь Хибин оценивается в 1300 км², что составляет 0.89% от общей площади Мурманской области, равной 144.9 тыс. км² (Атлас Мурманской области, 1971).

Таблица 1.1 Крайние точки Хибинского горного массива

Горы	Северный Лявчорр	Коашкар	Айкуайвенчорр	Юмьечорр
Координаты	67°52'57''с.ш. 33°48'33''в.д.	67°42'37''с.ш. 34°12'23''в.д.	67°36'04''с.ш. 33°45'01''в.д.	67°44'18''с.ш. 33°20'26''в.д.
Высота над ур. м, м	787	575	1075	1097

Это заполярный массив, лежащий на 150 км севернее полярного круга, и в этом расположении – его особенность. Другие горные массивы России крупнее и сформированы в основном в восточных и южных районах. На востоке крупнейшими являются: горный массив Камчатки с несколькими действующими вулканами вдоль Тихоокеанского побережья, 1200-1400 м над ур. м.; горная цепь Алтая на юге Сибири, 4509 м; Саяны, 3491 м; на юге - Кавказ с высочайшими вершинами Главного хребта - Эльбрусом (5642 м) и Казбеком (5033 м). Сходным с Хибинами по заполярному расположению и высотным отметкам является Уральский хребет - естественная граница европейской и азиатской части России. Он вытянут в широтном направлении более чем на 2000 км и географически подразделяется на Полярный (до 1472 м. над ур. м.), Приполярный (1894 м), Северный (1569 м), Средний (1119 м) и Южный Урал (1640 м). Важным отличием Хибинского горного массива от Уральского является его кольцевая форма радиусом около 30 км с образованием внешнего кольца и внутреннего «ядра», что определяет специфику движения воздушных масс, перераспределение холодных и теплых воздушных потоков, особенности прогрева склонов разной экспозиции, а также различия температурного режима на склонах сходной экспозиции гор наружного и внутреннего кольца.

Среднегорность также является особенностью Хибин на фоне остальных более высокогорных массивов РФ, так как определяет относительно «простую» высотную поясность: до высоты 400-500 м над уровнем моря поднимается горно-лесной пояс; от 450 до 600 м – горно-лесотундровый или пояс березовых криволесий; от 600 до 900 м - горно-тундровый пояс; свыше 900 м над уровнем моря пояс высокогорных гольцовых пустынь (Кольская энциклопедия, 2008).

В общих чертах высотная поясность Хибин соответствует широтной ландшафтной зональности Мурманской области, территория которой расположена в тундровой, лесотундровой и северотаежной зонах и подзонах. Тундра тянется неширокой полосой по берегу Баренцева моря и вдоль Горла Белого моря и занимает 20% территории области. Лесная зона представлена подзонами лесотундры и северной тайги. Леса Мурманской области произрастают на северном пределе распространения, который сформирован березняками. На равнинной территории господствуют хвойные еловые и сосновые леса.

1.2. Рельеф Хибин

Хибины — это цепь приподнятых плато, которые расчленяются глубокими ущельями и перевалами с многочисленными обрывами и цирками, поэтому рельеф Хибин разделяется на два типа - среднегорный, с высотами до 1050 м, и равнинный (Эколого-экономическое обоснование, 1999). Массив включает 41 гору (Лысая, Ловчорр, Коашва, Расвумчорр, Айкуайвенчорр, Вудъяврчорр, Тахтарвумчорр, Хибины, Кукисвумчорр, Юкспорр, Суолайв, Апатитовая, Эвеслогчорр, Шобнюн, Ньюрпахк, Коашкар, Чиврнюн, Рыпнецк, Восточный Партомчорр, Намуайв, Северный Суолуайв, Валлепахк, Северный Лявочорр, Партомчорр, Лявочорр, Рисчорр, Касканюнчорр, Петрелиуса, Алявумчорр, Юдычвумчорр, Юмьечорр, Куэльпорр, Палгасвуйчорр, Часначорр, Индивичвумчорр, Путеличорр, Якимпахчорр, Манепакх, Хибинпахкчорр, Кудрявцева, Рабо), 3 хребта (Китчепакх, Тахтарпорр, Поачвумчорр), 2 отрога (Рестинюн, Тверестинюн) и пик Марченко (Атлас Мурманской области, 1971). Наряду с горой Юдычвумчорр максимальные высотные отметки имеют вершины гор Часначорр - 1189 м над уровнем моря и Путеличорр – 1111 м.

Склоны Хибин рассечены глубокими речными долинами U-образной формы, которые образовались благодаря движению ледника. На платообразный вид вершин повлияло поднятие определенной области земной коры в течение многофазного периода. Их формирование продолжается и на сегодняшний день.

Характерными формами рельефа Хибин являются горные цирки и кары. Цирки - это впадины, окруженные с трех сторон крутыми склонами, образовавшиеся в результате разрушительной деятельности ледника. Кары – это естественные чашеобразные углубления в привершинной части склонов гор, которые также были образованы многолетней деятельностью ледника.

В Хибинском массиве существует простые и сложные типы ледниковых цирков. Первый тип представлен цирками, которые располагаются практически во всех верховьях

рек. Сложный тип - это объединение простых горных цирков в общую систему. Например, цирк в речной долине Юкспорийок, который носит название Подъемный. Также сложные цирки расположены в верховьях рек Малая Белая, Расвумийок, Вуоннемийок, Тулийок и Петрилиуса.

Еще одной интересной разновидностью рельефной формы в Хибинском массиве являются открытые трещины – ущелья, именуемые перевалами. Эти горные образования тянутся вдоль водоразделов на сотни метров, пересекая плато гор и отроги. Ущелье Рамзая имеет перевал для туристов Юкспорлак, а ущелье Географов - перевал Северный Чоргорр (Электронный ресурс: <http://hibiny-land.ru>).

1.3. Геология

Хибинский щелочной массив представляет собой одну из сложных многофазных интрузий центрального типа. Он расположен на контакте протерозойских пород свиты Варзуга-Имандра и архейского гнейсового комплекса, а также в зоне главного поперечного разлома Кольского полуострова, проходящего по линии река Кола – река Нива (Лаврова, 1960). Возраст Хибинской интрузии по данным гелиево-свинцового метода определен как карбоновый и составляет 290 ± 10 миллионов лет (Комлев др., 1961) (рис. 1.2).

По выражению академика А. Е. Ферсмана, Хибинские тундры – это природный минералогический музей, здесь найдены 500 видов минералов, десятки которых имеют практическую ценность. Своеобразие геохимии Хибинского массива ведет к накоплению редких минералов и создает месторождения совершенно новых полезных ископаемых (апатит, саамит, нефелин, лопарит, ловчоррит, сфен, эвдиалит, эгирин и другие). Полезные ископаемые массива, будучи генетически связанными с породами определенных интрузивных форм, своим специфическим минеральным составом подчеркивают ряд геохимических и геологических закономерностей. А. Е. Ферсман в своих многочисленных работах неоднократно отмечал дуговое концентрическое строение Хибинского массива, считая это одной из интереснейших закономерностей его геологического строения. Помимо смены петрографических особенностей горных пород, он указывал на сохранение той же закономерности в концентрации и рассеянии химических элементов (Ферсман, 1941).

Геологическая карта Хибино-Ловозерского горного массива

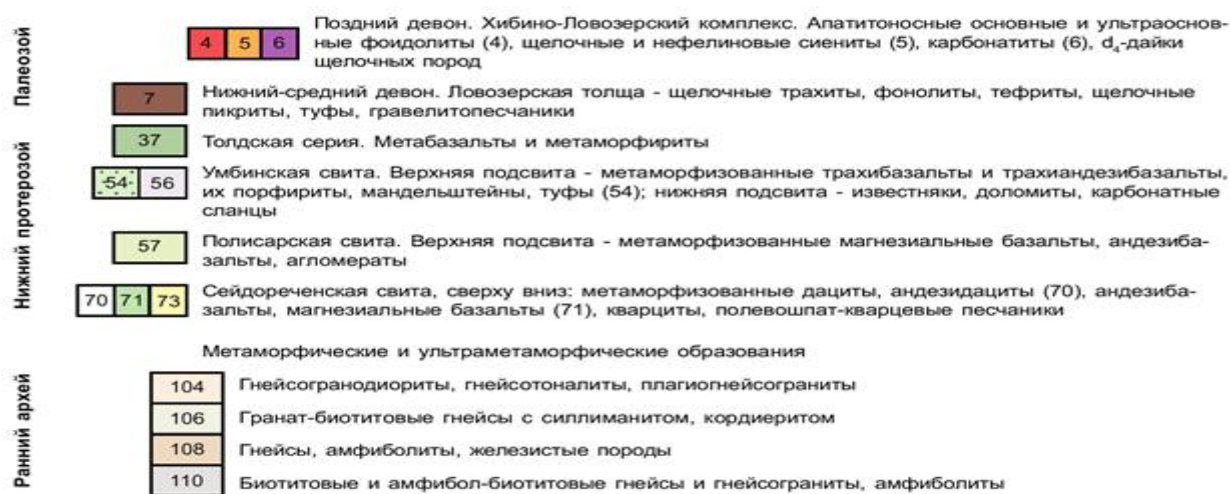
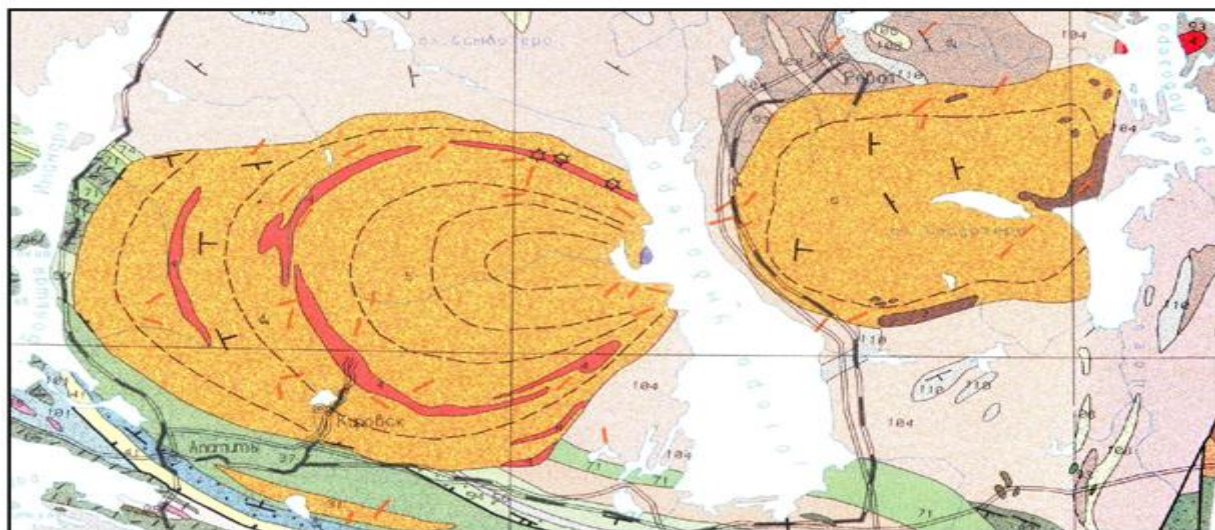


Рис. 1.2 Геологическое строение Хибинского и Ловозерского массивов
(Эколого-экономическое обоснование, 1999).

На территории Хибинского массива расположены крупнейшие месторождения апатит-нефелиновых руд. В настоящее время функционируют следующие осваиваемые эти месторождения рудники: Объединённый Кировский (месторождения Кукисвумчорр и Юкспор), Расвумчоррский (месторождения Апатитовый цирк и плато Расвумчорр, Восточный (месторождения Коашва и Ньоркпахк) и недавно открытый - Олений ручей (месторождение Коашва). Добыча полезных ископаемых ведется как подземным, так и открытым способом.

Неоднородность почвообразующих пород Хибинского горного массива является важным фактором дифференциации почвенного покрова. Проведенные ранее исследования (Иванова, 1937; Никонов, 1987; Владыченский, 2004) выявили особенности почвообразования на породах разного происхождения. Отмечено наличие в Хибинах почв без осветленного горизонта, сформировавшихся на элюво-делювии нефелиновых

сиенитов и диагностированных как скрытоподзолистые иллювиально-гумусовые почвы. В то же время, описаны иллювиально-гумусовые подзолы на моренных отложениях с четко выраженным подзолистым горизонтом, характерные для лесного пояса Хибин (Переверзев, 2010).

1.4. Гидрология

Высокая сумма осадков при сравнительно малом испарении и наличии скальных или образованных мореной водоупоров обуславливают существование в Хибинах большого количества рек, ручьев, озер и болот. Притоки главных рек – малые реки – зарождаются на высотах 500-700 метров и представляют собой стремительные потоки, течение которых часто прерывается водопадами высотой до 3-5 метров. По режиму стока речную сеть Хибин можно разделить на постоянную и сезонную. Все главные реки являются постоянными, их притоки - сезонными, зимний сток в них отсутствует.

По классификации Б.Д. Зайкова реки Хибин относятся к Восточно-Европейскому типу: наибольшая часть их стока (70-80%) приходится на весенний снеговой сток, а доли дождевого стока и грунтового питания составляют по 10-15% (Мягков, 1986).

Сезонные реки по длине составляют больше половины речной сети района. Это такие реки, как Подъемная, Гакмана, Поачвумйок, Тахтарвумйок и большинство мелких рек. Для них характерны резкое изменение режима и большая зависимость от атмосферных осадков. Эти реки живут с момента таяния снегов, а при интенсивном таянии превращаются в грохочущие горные потоки, сносящие на своем пути мосты и другие сооружения. К концу лета небольшие реки иногда совсем высыхают.

Температурный режим рек непостоянный и зависит в основном от температуры воздуха: весной и осенью близок к 0°C, редко превышает +2°C. Особенности химического состава вод Хибинского массива определены химическим составом нефелиносиенитовых пород, слагающих массив. Это в основном воды гидрокарбонатно-натриевые с повышенным содержанием кремния.

Термический режим озер тесно связан с температурой воды во впадающих реках. Поскольку основным источником их питания служит снеготаяние, сезонные изменения температуры в больших озерах невелики. Например, на Умбозере в некоторые годы температура воды не поднимается выше +10 °C. На мелководьях и в слабо проточных озерах прогрев воды солнцем поднимает ее температуру иногда до 15-20 °C. Уже в августе озера начинают быстро терять тепло, а через 5-7 дней после перехода средней суточной температуры через 0 °C, обычно в начале октября, на них начинается

образовываться лед. Продолжительность ледостава составляет 200-250 дней, толщина льда к концу зимы - 50-100 см (Эколого-экономическое обоснование, 1999).

С двух сторон Хибины окружены большими озерами - Умбозеро и Имандра; внутри же гор свыше 30 более мелких озер. Имандра и Умбозеро занимают котловины тектонического происхождения. Самым глубоким является Умбозеро - 115 м, глубина Имандры - до 67 м. Другие озера по своим размерам меньше. Например, Большой Вудъявр имеет площадь 3,24 км², объем воды 64 млн. м³, максимальную глубину 38,6 м.

Наиболее значительные озера Хибинского горного массива - Большой Вудъявр и Малый Вудъявр. Озеро Большой Вудъявр образовано в южной окраине Хибин; на его берегу расположен город Кировск. В озеро впадают две большие реки: Вудъявриок и Юкспориок, а вытекает река Белая. Площадь бассейна озера составляет 120 км², площадь поверхности - 3,25 км². Озеро, как и все другие озера Хибин, неглубокое – в среднем 10,5 м, максимальная глубина 37 м (<https://eco-apatity.jimdo.com>).

Режим Хибинских озер определяется режимом питающих их рек. Весенний подъем уровня на озерах начинается через несколько дней после пика талого стока на малых реках, обычно - в середине июня. Интенсивность подъема и годовая амплитуда изменений уровня зависят от степени проточности озера. В среднем высота подъема уровня постоянных озер в период половодья составляет 0,4-0,7 м. Летом их уровень медленно понижается; на фоне снижения часто возникают нечеткие и небольшие подъемы, вызванные дождевыми паводками. В зимний период наблюдается понижение уровня озер, когда сток из них продолжается, а приток падает в результате истощения запасов воды в питающих их бассейнах. Уровень некоторых озер может снизиться за зиму на несколько метров; в такую пору из них происходит только подрусловой сток. Мелкие озера, например, оз. Сентисъявр, иссякают полностью; покрывший их в начале зимы лед садится на дно.

Хибинский горный массив относится к Балтийскому гидрологическому массиву, который характеризуется широким развитием поровых грунтовых вод в четвертичных отложениях, трещинных грунтовых вод в зоне выветривания кристаллических пород и трещинно-жильных напорных вод тектонических трещин на глубине. Для всех типов вод характерны низкая температура и минерализация.

Основными факторами, определяющими гидрогеологические условия, являются:

- 1) обособленное, резко возвышающееся над окружающей равниной, положение массива;
- 2) сильно расчлененный рельеф и глубоко врезанная речная сеть в пределах массива;
- 3) близкое взаимоположение областей питания и разгрузки подземных вод;

- 4) влажный климат с высоким количеством атмосферных осадков и малым испарением;
- 5) хорошая обнаженность кристаллических пород и развитая трещинная тектоника;
- 6) большая мощность четвертичных отложений в депрессиях кристаллического фундамента.

Сведения о подземных водах приводятся по данным наблюдений Г.Я. Корякова (1965) и сотрудников географического факультета МГУ. Питание подземных вод происходит в основном за счет осадков и конденсации влаги на каменистых поверхностях во время туманов. Выделяются следующие гидрогеологические области:

- область возвышенностей и плато, где коренные породы сильно разбиты трещинами и покрыты тонким слоем рыхлого обломочного материала; это основная область питания подземных вод;

- область коренных горных склонов, где также происходит инфильтрация поверхностных вод, но по крайней мере временами - при обильном снеготаянии, осадках - могут возникать источники трещинных вод; в зимнее время эти источники проявляются наледями, порой причудливо расположенными чуть ли не на вертикальных скальных стенах;

- область нижних участков склонов и дна долин, покрытых толстым, часто водонепроницаемым слоем рыхлых отложений; в толще этих отложений скапливается основной объем подземных вод, проявляющихся в виде постоянных источников у подножья склонов, а на дне долин - в виде непрерывного фонтанирования некоторых буровых скважин (высота фонтанов - до 4-5 м).

Подземные воды Хибинского массива принадлежат к зоне свободного водообмена, формирующегося под влиянием дренирующего воздействия речной сети и климатических факторов. К этой зоне относятся как порово-пластовые воды, приуроченные к четвертичным отложениям, так и трещинные (пластово-трещинные и трещинно-жильные) воды кристаллических пород.

По условиям питания площадь массива можно разделить на три части:

- 1) области горно-вершинного яруса рельефа, являющиеся пограничными для района работ и характеризующиеся благоприятными условиями питания трещинных и трещинно-жильных вод за счет инфильтрации вод атмосферных осадков, или области основного питания подземных вод;

- 2) области подчиненного питания трещинных и трещинно-жильных вод, приуроченные к крутым, зачастую обрывистым склонам горно-склонового яруса рельефа,

где атмосферные осадки, не успевая просачиваться в трещины, быстро стекают в долины в виде поверхностного стока;

3) области интенсивного питания вод четвертичных отложений долин и приозерных низменностей за счет атмосферных осадков, выпадающих непосредственно на площади развития четвертичных отложений, поверхностного стока со склонов гор и подтока трещинных вод со стороны бортов и ложа кристаллических пород долин (Мазухина, 2012).

1.5. Растительность и флора

«Растительность горного массива активно изучается с начала освоения Кольского полуострова, но до сих пор нет единого мнения о структуре и составе наиболее крупных единиц - растительных поясов. Б. А. Мишкин (1953) и Р. Н. Шляков (1961) выделяли в Хибинах три горно-растительных пояса: лесной, берёзовых криволесий и тундровый. Мишкин называл пояс выше границы древесной растительности альпийским, а в пределах горно-тундрового пояса выделял подпояса - нижний (кустарниковых и кустарничковых тундр), средний (приснеговых лугов и лишайниковых тундр) и верхний (разреженных кустарничково-лишайниковых тундр). У Шлякова (1961) пояс выше границы древесной растительности носит название гольцового, что более соответствует структуре и составу растительного покрова. М. Л. Раменская (1983) выше границы древесной растительности (от 350–400 м н.у.м.) выделяла в Хибинах горно-тундровый пояс, а на самых высоких вершинах и плато – пояс горных арктических пустынь» - пишут Алексеенко Н.А., Королева Н.Е. и Волкова А.А. (с. 2). На высоких плато и склонах на высотах 850-1100 м н.у.м. некоторые авторы выделяют пояс холодных гольцовых пустынь (Аврорин и др., 1935).

По исследованиям Алексеенко Н.А., Королева Н.Е. и Волковой А.А. (2017) в Хибинском горном массиве 27% площади приходится на берёзовые редколесья и криволесья, 20% на гольцовые пустыни, 19% на тундру, 13% на сосновые леса, 8% на мелколиственно-хвойные и 7% на еловые леса; 1% занимают водные объекты, 5% - антропогенно преобразованные территории (Алексеенко и др., 2017).

Горнолесной пояс (пояс горно-таежных лесов и березовых криволесий) располагается в нижних частях горных склонов, на моренных грядах, в речных и озерных долинах. Верхняя граница лесного пояса неодинакова для склонов разной экспозиции, наиболее высоко она поднимается на южных, защищенных от ветра, склонах (до 480 м н.у.м.). На этих же склонах, но наветренных, граница проходит ниже - на высоте 350-400

м н.у.м., а на северных склонах она не поднимается выше 300-320 м н.у.м. Исследованиями Алексеенко Н.А., Королева Н.Е. и Волковой А.А. (2017) выявлено, что в субширотных долинах рек (например, в долине р. Малая Белая, ориентированной на запад, и в долине р. Тульйок с общей экспозицией долины на восток) проявляется «отепляющее» воздействие западного переноса воздушных масс, в результате которого на склонах западной экспозиции граница леса поднимается выше, чем на восточных (Алексеенко и др., 2017).

Горно-лесной пояс Хибин

Понижения в долинах рек и озер в горнолесном поясе заняты болотами, преимущественно мезоэвтрофного питания. При определенных микроклиматических условиях в межгорных долинах в пределах горнотундрового пояса развиваются долинныи кустарничковые сообщества.

Пояс хвойных лесов занимает днища долин, подножья склонов гор; граница хвойных лесов в Хибинских тундрах не поднимается выше 480 м над уровнем моря. На внешних склонах западной, северной, восточной экспозиции в нем преобладают сосновые леса с примесью березы, иногда, ели, а на внутренних склонах и внешних склонах южной и северо-восточной экспозиции - еловые и березово-еловые леса (Эколого-экономическое обоснование, 1999).

По данным Королевой Н.Е. (2001) основная часть еловых и елово-березовых лесов горнолесного пояса принадлежит к ассоциации *Eu-Piceetum abietis*, объединяющей североευропейские бореальные леса на минеральных почвах. Иногда они составляют верхнюю границу леса в районах распространения сосны. Древостой различной сомкнутости - от 0.8 до 0.2-0.3, помимо *Picea obovata* (ель сибирская) обычны *Betula pubescens* (берёза пушистая), *B. subarctica* (берёза плосколистная), которые иногда количественно преобладают, а также *Sorbus gorodkovii* (рябина Городкова) и *Alnus kolaensis* (ольха Кольская).

В подлеске обычен *Juniperus sibirica* (можжевельник сибирский), реже встречаются *Lonicera caerulea* (жимолость голубая), *Ribes acidum* (смородина красная). В травяно-кустарничковом ярусе обычны: *Vaccinium myrtillus* (черника обыкновенная), *Empetrum hermaphroditum* (водяника гермафродитная), *Phyllodoce caerulea* (филлодоце голубая), *Chamaepericlymenum suecicum* (дёрен шведский), *Linnaea borealis* (линнея северная) и *Trientalis europaea* (седмичник европейский). *Geranium sylvaticum* (герань лесная), *Gymnocarpium linneanum* (голокучник обыкновенный) более характерны для ельников на

нижних горных террасах, где местами доминируют в травяном ярусе (Эколого-экономическое обоснование, 2014).

Моховой покров хорошо развит, в нем преобладают плевроциевые и дикрановые (*Dicranum scoparium*, *D. majus*) мхи, обычны *Polytrichum commune* (кукушкин лён обыкновенный) и печеночники: *Barbilophozia lycopodioides* (барбилофозия плауновидная), *Obtusifolium obtusum* (обтузифолиум тупой). Обычны, но не имеют большого покрытия листоватые лишайники *Peltigera aphthosa* (пельтигера пупырчатая), *P. canina* (пельтигера собачья), *P. polydactyla* (пельтигера многопальчатая), *Nephroma arcticum* (нефрома арктическая).

Сосновые леса встречаются в северных предгорьях Хибин, по долине р. Тулийок. Они образованы в основном *Pinus friesiana* (сосна Фриза) с примесью *Betula pubescens* (береза пушистая) и *Picea obovate* (ель сибирская). Они могут быть отнесены к союзу *Phyllodoco-Vaccinion myrtilli* Nordh. 1936, который объединяет лесные и тундровые сообщества на олиготрофных местообитаниях в холодно-гумидных и горных районах Северной Европы с преобладанием эрикоидных кустарничков *Empetrum hermaphroditum* (водяника гермафродитная), *Vaccinium uliginosum* (голубика болотная), *Phyllodoce caerulea* (филлодоце голубая) в травяно-кустарничковом ярусе (Эколого-экономическое обоснование, 2014).

Травяно-кустарничковый ярус хорошо развит, в нем преобладают *Vaccinium myrtillus* (черника обыкновенная), *Empetrum nigrum* (водяника черная), *Vaccinium vitis-idaea* (брусника), обычны *Avenella flexuosa* (луговик извилистый), *Pyrola rotundifolia* (грушанка круглолистная), *Trientalis europaea* (седмичник европейский), *Lycopodium annotinum* (плаун годичный). Для мохово-лишайникового яруса характерна высокая мозаичность, обычны *Pleurozium schreberi* (плевроциум), *Polytrichum juniperinum* (политрихум можжевельниковидный), *P. piliferum* (политрихум волосоносный), реже встречаются *Hylocomium splendens* (гилокомиум блестящий), *Dicranum congestum* (дикранум скученный), *D. scoparium* (дикранум метловидный), *Barbilophozia lycopodioides* (барбилофозия плауновидная). Лишайники распространены пятнами, формируя мозаичный аспект, это, в основном, представители рода *Cladina* - *Cladina stellaris* (кладония звездчатая), *C. rangiferina* (кладония рангеферина), *C. mitis* (кладония мягкая), *C. uncialis* (кладония дюймовая), реже - *Peltigera aphthosa* (пельтигера пупырчатая).

На высоте 260 до 350 м н.у.м. еловые и березово-еловые леса сменяются березовыми криволесьями. Пояс березовых криволесий имеет извилистые границы, часто

распадается на отдельные пятна, чередующиеся с горно-тундровой растительностью. В его пределах встречаются ивняки в долинах рек и ручьев и горно-луговые участки.

Вверх по склону возрастает участие *Betula czerepanovii* (береза Черепанова), формируются сообщества *Betula czerepanovii*-var. варианта данной ассоциации. Характерным для них является высокая роль лишайников р. *Cladonia* (кладония) и *Cladina* (кладина), а также *Flavocetraria* (флавоцетрария) - *F. nivalis* (цетрария снежная), *F. cucullata* (флавоцетрария клубочковая). В кустарничковом ярусе наиболее обычны *Empetrum hermaphroditum* (водяника гермафродитная), *Arctous alpina* (толокнянка альпийская), *Arctostaphylos uva-ursi* (толокнянка обыкновенная).

Горнолесные березняки с развитым травяно-кустарничковым и моховым ярусом относятся к *Betula czerepanovii*-var (береза Черепанова). В подлеске обычны: *Juniperus communis* (можжевельник обыкновенный), *Betula nana* (береза карликовая), *Salix caprea* (ива козья), реже встречается *Cotoneaster cinnabarinus* (кизильник киноварно-красный). В травяно-кустарничковом ярусе представлены те же виды, что и в расположенных ниже елово-березовых лесах: преобладают *Empetrum hermaphroditum* (водяника гермафродитная), *Vaccinium uliginosum* (голубика обыкновенная), *Phyllodoce caerulea* (филлодоце голубая), появляется из расположенных выше горнотундровых сообществ *Arctous alpina* (толокнянка альпийская). В мохово-лишайниковом ярусе обычны плеврочиевые и дикрановые мхи, постоянно встречаются листоватые лишайники *Peltigera aphthosa* (пельтигера пупырчатая), *P. scabrosa* (пельтигера шероховатая), *Nephroma arcticum* (нефрома арктическая), а также лишайники родов *Cladina* (кладина) и *Cladonia* (кладония) (Эколого-экономическое обоснование, 2014).

Горно-тундровый пояс

По данным Королевой Н.Е. (2001) начиная с 350-450 м н.у.м. и до 600-850 (900) м н.у.м. на склонах и вершинах гор располагается горнотундровый пояс. Нижняя граница тундрового пояса начинается неширокой полосой кустарничковых тундр, в которых господствует карликовая береза. К участкам с устойчивым режимом увлажнения и к подножиям крутых склонов приурочены травяно-кустарничковые зеленомошные ерниковые тундры. Значительная часть пространства занята кустарничково-лишайниковыми тундрами. К типичным тундровым группировкам близки тундровые ивняки, луговины и сообщества мест с поздно тающим снегом. Часто встречаются обширные слабо задернованные и незадернованные каменистые пространства. На платообразных вершинах гор разреженность растительного покрова достигает наивысшей степени.

Наиболее обширные площади в нижнем и среднем подпоясах горнотундрового пояса занимают сообщества союза *Phyllodoce-Vaccinion myrtilli* с ассоциациями *Arctostaphylo alpini-Empetretum hermaphroditi* (Zinserling 1935), *Phyllodoce-Vaccinietum myrtilli Nordh.* 1943, *Empetro-Betuletum nanae Nordh.* 1943 (Королева, 2001).

Кустарничковый ярус составляют: *Empetrum hermaphroditum* (водяника гермафродитная), *Arctous alpina* (толокнянка альпийская), *Vaccinium uliginosum* (голубика болотная), *V. myrtillus* (черника обыкновенная), *V. vitis-idaea* (брусника), *Betula nana* (береза карликовая) (если не образует выраженного кустарничкового яруса), также обычны *Bartsia alpina* (бартсия альпийская), *Pedicularis lapponica* (мытник лапландский), *Festuca ovina* (овсяница овечья), *Carex bigelowii* (осока Бигелоу).

Особенность сообществ ассоциации, по мнению, Королевой Н.Е. - хорошо развитый мохово-лишайниковый покров, в основном, из *Pleurzium schreberi* (плевроциум Шребера), *Dicranum majus* (дикранум большой), *D. spadiceum* (дикранум каштановый), *D. congestum* (дикранум скученный), *D. scoparium* (дикранум метловидый), *Rhytidium rugosum* (ритидий морщинистый), *Aulacomnium turgidum* (аулакомниум вздутый), печеночников *Ptilidium ciliare* (птилидиум реснитчатый), *Barbilophozia lycopodioides* (барбилофозия плауновидная), из лишайников наиболее часты *Cetraria islandica* (цетрария исландская), *Nephroma arcticum* (неформа арктическая), а также виды рода *Peltigera* (пельтигера) и *Cladonia* (кладония).

В травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Vaccinium myrtillus* (черника обыкновенная), *V. uliginosum* (голубика болотная), *V. vitis-idaea* (брусника), *Phyllodoce caerulea* (филлодце голубая), *Empetrum hermaphroditum* (водяника гермафродитная), *Solidago lapponica* (золотарник обыкновенный), *Avenella flexuosa* (луговик извилистый), в мохово-лишайниковом ярусе преобладают *Kiaeria starkei*, *Pleurozium schreberi* (плевроциум Шребера), *Hylocomium splendens* (гилокомиум блестящий), *Dicranum brevifolium* (дикранум коротколистный), *Cetraria islandica* (цетрария исландская). Постоянно встречаются лишайники рода *Cladina* - *C. rangiferina* (кладония рангеферина), *C. stellaris* (кладония звездчатая), *C. uncialis* (кладония дюймовая), *C. mitis* (кладония мягкая) (Королева, 2001).

Мхи немногочисленны, в основном, это *Polytrichum piliferum* (политрихум волосоносный), *Racomitrium spp.* (ракомитриум). Сосудистые растения также не играют большой роли, в основном, это *Carex bigelowii* (осока Бигелоу), *Festuca ovina* (овсяница овечья), *Empetrum hermaphroditum* (водяника гермафродитная), *Vaccinium uliginosum*

(голубика болотная), *V. vitis-idaea* (брусника), *Loiseleuria procumbens* (кальмия лежачая), *Silene acaulis* (смолёвка бесстебельная) (Королева, 2001).

Исследованиями Алексеенко Н.А., Королева Н.Е. и Волковой А.А. (2017) выявлено, что пояса каменистых (гольцовых) пустынь и горных тундр по площади превышают и березовые криволесья, и горные леса. Границы между поясами, нерезкие, например, фрагменты, березовых криволесий, встречаются в благоприятных местообитаниях в горно-тундровом поясе. Хвойные и хвойно-мелколиственные леса распространены на склонах со средней крутизной около 8°, березовые редколесья и криволесья встречаются и при более значительной крутизне в 15-35° (Алексеенко и др., 2017).

В настоящее время растительность Хибин сильно изменена и местами полностью уничтожена деятельностью человека в результате горной добычи, пожаров, вырубки лесов, рекреационной активности. Техногенно- и антропогенно-нарушенные территории преобладают в горнолесном поясе, и их доля составляет 5%, что сопоставимо, например, с долей еловых лесов в Хибинах.

1.6. Фауна.

Первые научные данные по фауне насекомых Хибинского горного массива были получены с 1861 по 1913 финскими и шведскими энтомологами: К. Е. Inberg, J. Sahlberg, R. Envald, К. Edgren, J. Palmén, В. Poppius, R. Fray и W. Hellen (Rantala, 2010; Shabalina, 2011). Эти сведения были обобщены в монографиях Б. Поппиуса и К. Линдрота (Poppius, 1905; Lindroth, 1992).

Фауна наземных беспозвоночных Хибинского горного массива была детально исследована в 30-е годы еще прошлого века участниками зоогеографического отряда комплексной научной экспедиции Академии наук, которую возглавлял В. Ю. Фридолин. В его монографии «Животно-растительное сообщество горной страны Хибин» (1936) содержатся упоминания дождевых червях, моллюсках и многих видах насекомых из разных отрядов: стрекозы, двукрылые (комары, слепни, оводы, мухи), саранчовые, равнокрылые (цикадки, листоблошки, червецы), перепончаткрылые (шмели, пилильщики, муравьи), клопы, чешуекрылые, жесткокрылые (листоеды, долгоносики, усачи, пилюльщики, шелкоуны, стафилиниды, жуужелицы и др.).

В дальнейшем в Хибинах были выполнены работы по жесткокрылым (Новиков, 1958; Россолимо, 1989, 1994) и дождевым червям (Перель, 1979; Рыбалов, 2006).

Было обнаружено четыре вида дождевых червей при доминировании *Lumbricus rubellus* Hoffm., численность которого в отдельных горных местообитаниях достигала нетипичных для зональных почв показателей – 130 экз./м². Было описано 17 видов жуужелиц (Carabidae), 15 видов стафилинид (Staphylinidae), 1 вид мягкотелок (Cantharidae), по 2 вида щелкунов (Elateridae) и долгоносиков (Curculionidae). Для массовых видов жесткокрылых была проанализирована связь пространственного распределения и предпочитаемых температур и установлена корреляция распределения большинства видов с высотным градиентом температуры. Показано, что к наиболее высокогорным поясам Хибин приурочены типично северные виды – жуужелица *Curtonotus alpinus* Paykull (Carabidae) и стафилин *Lathrobium poljarnis* Coiffait (Staphylinidae).

С 2008 года проводятся регулярные исследования почвенной фауны беспозвоночных животных Хибинского горного массива сотрудниками Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «Кольский Научный Центр РАН» совместно со специалистами из других НИИ РАН (Зенкова и др., 2009, 2011б, в; Пожарская, 2012; Zenkova, Rapoport, 2014). За этот период идентифицировано более 400 видов беспозвоночных, в том числе 6 видов дождевых червей, 5 видов моллюсков, 2 вида многоножек, более 140 видов пауков, в числе последних – 1 аркто-альпийский и 3 аркто-бореальных вида, среди которых паук *Arctobius agelenoidesa*, чрезвычайно редкий для Фенноскандии. паукообразных.

Выявлены беспозвоночные 21 таксономической группы (семейства, отряды): от 13 до 17 в разных горно-растительных поясах. Показано, что представители 10 таксонов: энхитреиды, пауки, многоножки, двукрылые, мягкотелки, жуужелицы, стафилины, щелкуны, долгоносики, червецы – населяют почвы всех поясов Хибин. Еще пять групп: нематоды, дождевые черви, моллюски, чешуекрылые и муравьи – встречаются во всех поясах, кроме пояса гольцовых пустынь. Фауна беспозвоночных в подстилках зональных ельников и сосняков Мурманской области насчитывает не менее 30 таксонов. Горные леса (ЕР и БК) уступают зональным по разнообразию насекомых разных трофических групп (табл. 1.2) (Зенкова и др., 2011).

Таблица 1.2 Численность (экз./м²) и обилие (%) крупных таксономических категорий беспозвоночных в горных и зональных почвах Мурманской области (по Зенковой и др., 2011)

Таксон		Горные биоценозы				Зональные биоценозы
		ЕР	БК	ТК	ТЛК	Е1–Е5, С1–С5
экз./м ²	Насекомые	207	386	276	127	196–605
	Черви	204	189	31	15	0–85
	Паукообразные	8	11	44	20	21–88
	Многоножки	2	7	12	15	3–32
	Моллюски	10	3	5	0	1–7
	Итого	431	596	368	177	244–708
%	Насекомые	48	65	75	72	73–91
	Черви	47	31	8	8	0–16
	Паукообразные	2	2	12	11	4–15
	Многоножки	1	1	3	9	1–6
	Моллюски	2	1	2	0	1–2
	Итого	100	100	100	100	100

Примечание: ЕР – горный ельник, БК – горное березовое криволесье, ТК – горная тундра кустарничковая, ТЛК – высокогорная тундра лишайниковая кустарничковая, Е1- Е5 – зональные ельники Мурманской области, С1 – С5 – зональные сосняки

От зональной тундры Мурманской области горные тундры Хибин, напротив, отличаются более высокими показателями численности и разнообразия почвенной фауны, сопоставимыми с зональной тайгой. Это объясняется положением массива в подзоне северной тайги, расположением самих горных тундр на относительно небольших высотах и более мягкими климатическими условиями в высокогорных поясах Хибин по сравнению с зональной тундрой. О мягкости горного климата свидетельствует «таежный облик» фауны жесткокрылых и пауков, и массовое проникновение лесных видов в пояса горной лесотундры и тундры. Именно к поясам горной лесотундры и тундры приурочено наибольшее разнообразие жесткокрылых – жужелиц и шелконов (рис. 1.3) (Зенкова и др., 2011).

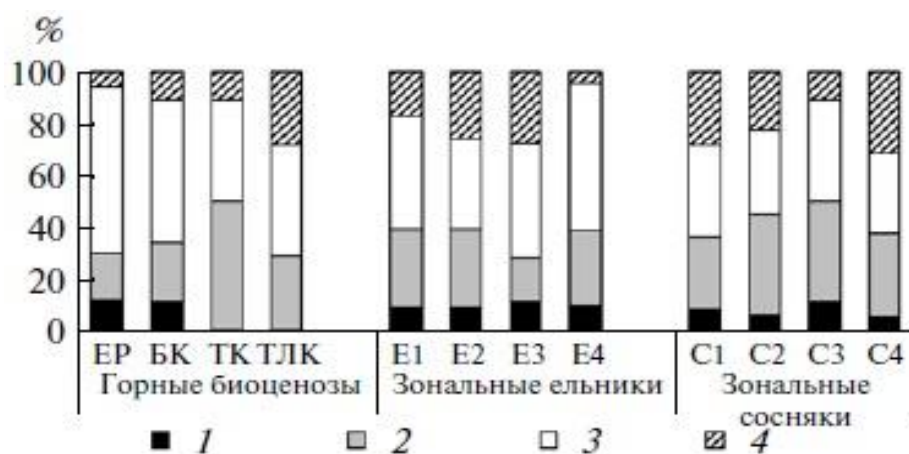


Рис. 1.3 Соотношение таксонов по уровню численности беспозвоночных (%) в горных (EP–ТЛК) и зональных (E1–E4, C1–C4) биоценозах северотаежной подзоны Мурманской обл. Уровень численности, экз./м²: 1 – более 100, 2 – 10–100, 3 – 1–10, 4 – менее 1.

В фауне Хибин представлено 30 видов млекопитающих, 138 видов птиц, 2 вида пресмыкающихся, 1 вид земноводных. Специфика фауны наземных позвоночных рассматриваемой территории обусловлена как естественными, так и антропогенными причинами и в основном, носит мозаичный и очаговый характер распространения (Эколого-экономическое обоснование, 2014).

Глава 2 Климатические особенности Хибин

2.1 Роль циркуляции атмосферы в климате Хибин и температурные особенности

Роль циркуляции атмосферы в климате Хибин проявляется в значительном обогревающем воздействии Атлантики. В зимний сезон движение циклонов направлено в основном к востоку, их траектории проходят над Норвежским и Баренцевым морями. Благодаря приносу теплого воздуха зимой в Мурманской области преобладает сравнительно слабозимняя погода. Однако часто теплые воздушные массы сменяются холодными, которые могут поступать из Сибири по южной периферии антициклонов и северо-западной периферии циклонов. Если при этом воздух проходит над Баренцевым морем, он успевает прогреться и не приносит значительного понижения температуры в регион.

В июне-августе интенсивность циклонической деятельности над Северной Атлантикой снижается; приходящие отсюда циклоны отклоняются к югу, следовательно, на область могут поступать сравнительно теплые и сухие воздушные массы континентального происхождения или морские воздушные течения, испытавшие температурную трансформацию над ее континентальной частью (Мягков, 1986).

Прохладную погоду приносят частые вторжения воздуха с Баренцева моря, еще более прохладную – мощные вторжения воздушных масс из Арктики. Экстремальные погодные условия в Хибинах отмечаются при определенных нарушениях атмосферной циркуляции. Летом наиболее теплые условия возникают при усилении выноса на полуостров континентальных воздушных масс с юга, а наиболее холодные – при устойчивой адвекции с севера, когда атлантические циклоны, проходя чередой южнее полуострова, препятствуют проникновению сюда теплых континентальных воздушных масс. В переходные сезоны атмосферная циркуляция над полуостровом менее устойчива: осенью преобладают воздушные массы атлантического, весной – арктического происхождения (Мягков, 1986).

Климатические условия района в значительной степени связаны с рельефом и, в особенности, с высотой местности над уровнем моря. Хибинский горный массив с высотами до 1000 и более м над уровнем моря характеризуется специфическим высокогорным климатом, существенно отличающимся от соседних низменных районов и долин. На фоне Мурманской области климат Хибин считается аномальным (Мазухина, 2012). Его характерными чертами являются: длительная (7-8 месяцев), но мягкая зима; короткое прохладное лето; своеобразный световой режим (полярные ночь и день);

высокая облачность, которая резко снижает и без того незначительную радиацию; высокая влажность воздуха и значительные скорости ветра (Рябцева, 1975).

По климатическому районированию территории Мурманской области, предложенному Б. А. Яковлевым (1961), Хибинны выделяются в самостоятельный (один из пяти) климатический район (рис. 2.1).

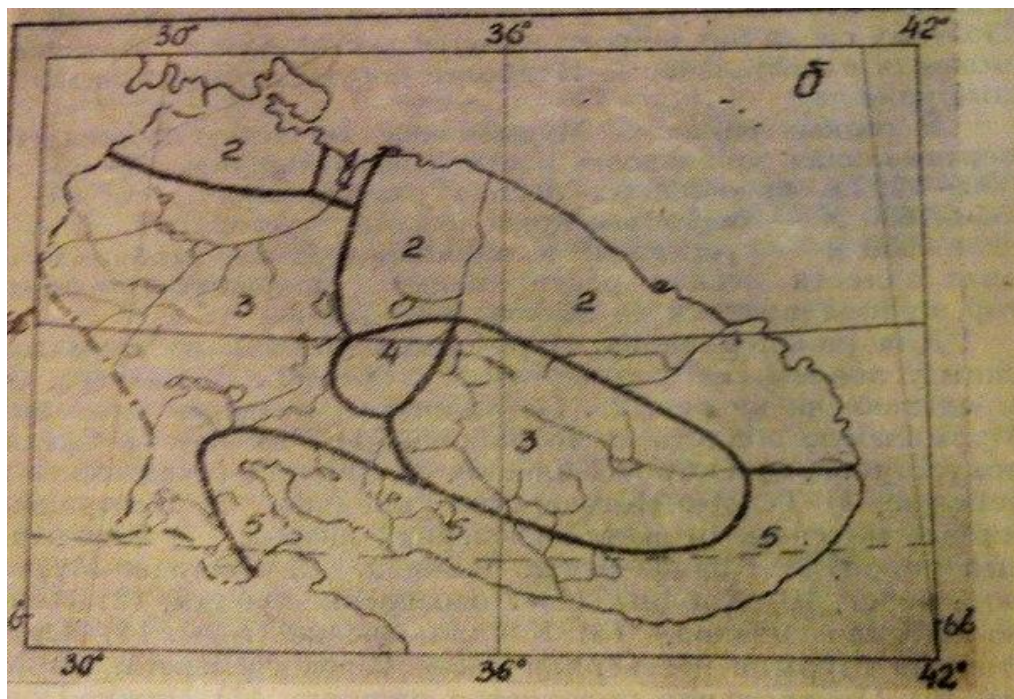


Рис. 2.1 Схема климатического районирования Мурманской области (по Б.А. Яковлеву, 1961). Районы: 1 – Кольский залив; 2 - Мурманское побережье; 3 – Центральный; 4 – Хибинский и Ловозерский горные массивы; 5 – Терское побережье Белого моря и побережье Кандалакшского залива.

Хибинский массив является естественным препятствием на пути воздушных масс, идущих от Атлантики, а также мощным конденсатором атмосферных осадков. Вынужденное поднятие воздушных масс при обтекании массива резко изменяет климатическую обстановку: с высотой понижается температура воздуха, удлиняется зима, усиливается ветры, увеличивается облачность и количество атмосферных осадков.

Воздух в тропосфере нагревается от подстилающей поверхности. Температура воздуха изменяется с высотой и в зависимости от атмосферного давления. Когда это происходит без обмена тепла с окружающей средой, то такой процесс называется адиабатическим. Поднимающийся воздух производит работу за счет внутренней энергии, которая расходуется на преодоление внешнего сопротивления. Поэтому при поднятии воздух охлаждается, а при опускании нагревается.

Адиабатические изменения температуры происходят по сухоадиабатическому и влажно-адиабатическому законам. Соответственно различают и вертикальные градиенты изменения температуры с высотой. Сухоадиабатический градиент - это изменение температуры сухого или влажного ненасыщенного воздуха на каждые 100 метров поднятия и опускания его на 1 °С, а влажно-адиабатический градиент - это понижение температуры влажного насыщенного воздуха на каждые 100 м поднятия меньше чем на 1 °С.

По величине вертикального градиента температуры воздуха можно судить о характере равновесия атмосферы - устойчивое или неустойчивое. При устойчивом равновесии атмосферы массы воздуха не проявляют тенденции к вертикальным перемещениям. В этом случае, если некоторый объем воздуха сместить вверх, то он возвратится в первоначальное положение. Происходит это потому, что поднятый объем воздуха, затратив внутреннюю энергию на свое расширение, при подъеме охладился на 1 °С на каждые 100 м (по сухоадиабатическому закону). Но так как вертикальный градиент температуры окружающего воздуха меньше сухоадиабатического, то поднятый объем воздуха на данной высоте имеет более низкую температуру, чем окружающий воздух. Обладая большей плотностью в сравнении с плотностью окружающего воздуха, он должен опускаться, пока не достигнет первоначального состояния (Электронный ресурс: <http://big-archive.ru>).

Температурный режим горных почв зависит от высотного положения гор, экспозиции, крутизны и конфигурации склона, свойств почвы и растительности.

Главной особенностью светового режима Хибин является непрерывный полуторамесячный полярный день, который начинается 10 мая. В течение весенне-летнего сезона максимум солнечной радиации наблюдается в июне-июле, а к сентябрю снижается в 2-3 раза (табл. 2.1).

В высокогорных районах, в отличие от окружающих низин, климат формируется под воздействием циркуляционных и, в меньшей степени, радиационных условий. Он тесно связан с режимом верхних слоев атмосферы, расположенных на уровне горного района и с вертикальными воздушными потоками вдоль склонов гор и в свободной атмосфере (табл. 2.2).

Сильно расчленённый рельеф Хибин обуславливает наличие в отдельных участках специфического микроклимата. Наблюдается, например, разница температур в зависимости от экспозиции склонов (табл. 2.3). Менее всего тепла и света получают северные склоны гор Юкспорр, Вудъяврчорр, Расвумчорр.

Таблица 2.1 Продолжительность светлого времени в г. Кировск (по Шмаковой, 2008)

Дата	Начало сумерек	Восход солнца	Заход солнца	Конец сумерек	Продолжительность дня	Длительность светлого времени
30.04	1.46	3.56	21.34	23.36	17.38	21.50
10.05	СВН	3.09	22.19	СВН	19.10	24.00
20.05	СВН	2.18	23.12	СВН	20.54	24.00
30.05	СВН	1.34	24.00	СВН	22.27	24.00
10.06	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-
20.06	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-
30.06	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-
10.07	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-
20.07	СВН	1.58	23.36	СВН	21.38	24.00
30.07	СВН	2.56	22.45	СВН	19.49	24.00
10.08	1.31	3.46	21.52	24.11	18.06	22.40
20.08	2.49	4.26	21.09	22.48	16.43	19.59
30.08	3.43	5.04	20.26	21.46	15.22	18.03
10.09	4.33	5.43	19.41	20.52	13.58	16.19
20.09	5.12	6.18	18.59	20.05	12.41	14.53
30.09	5.48	6.52	18.18	19.24	11.26	13.36
10.10	6.22	7.27	17.37	18.43	10.10	12.21

*Примечание: НГ – солнце над горизонтом;
СВН – сумерки в ночь; прочерк – полярный день.*

Таблица 2.2 Среднемесячная температура воздуха, °С (по Шмаковой, 2008)

Место наблюдений	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Центральная метеостанция	- 2.9	3.6	7.4	5.2	0.3	-5.2
г. Юкспорр	-1.9	4.8	9.0	7.2	1.5	- 4.1
Апатитовая гора	2.2	9.1	13.2	11.3	5.2	- 0.6
Кировск	2.6	9.8	13.2	10.5	5.8	- 0.3

Таблица 2.3 Приход суммарной радиации на открытую горизонтальную поверхность и открытые склоны Хибин, ккал/см² (по Шмаковой, 2008)

Поверхность	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Горизонтальная	10.9	12.9	12.2	8.2	4.1	1.8
Южный склон, 30°	12.1	13.4	12.9	9.9	5.4	2.8
Северный склон, 30°	7.3	10.2	9.0	5.2	2.4	1.2
Западный и восточный склоны, 30°	9.6	11.6	11.8	7.8	3.7	1.7

Наряду с высотой, большую роль в распределении температур играет положение в рельефе, с которым связано явление температурных инверсий. Инверсии наблюдаются и в ясные ночи, когда температура на горных склонах значительно выше, чем в нижележащих депрессиях, что объясняется большим нагреванием крутых каменистых склонов. Большое значение имеет скатывание холодных масс воздуха с вершин в долины. В ночные часы солнце не освещает долины, но освещает и нагревает северные склоны гор. В результате наблюдается необычное явление, когда северные склоны ночью оказываются более нагретыми, чем понижения рельефа.

Зимой, в период преобладающего радиационного выхолаживания приземного слоя воздуха, над окружающими предгорьями образуются инверсии. За счет высокой повторяемости зимних приземных радиационных инверсий средняя температура зимних месяцев в высокогорных районах мало отличается от той же температуры в долинах и низинах. В наиболее холодные месяцы зимы, в январе и феврале, средняя температура в высокогорных районах даже выше, чем в окружающих низменных районах (рис. 2.2) (Яковлев, 1961).

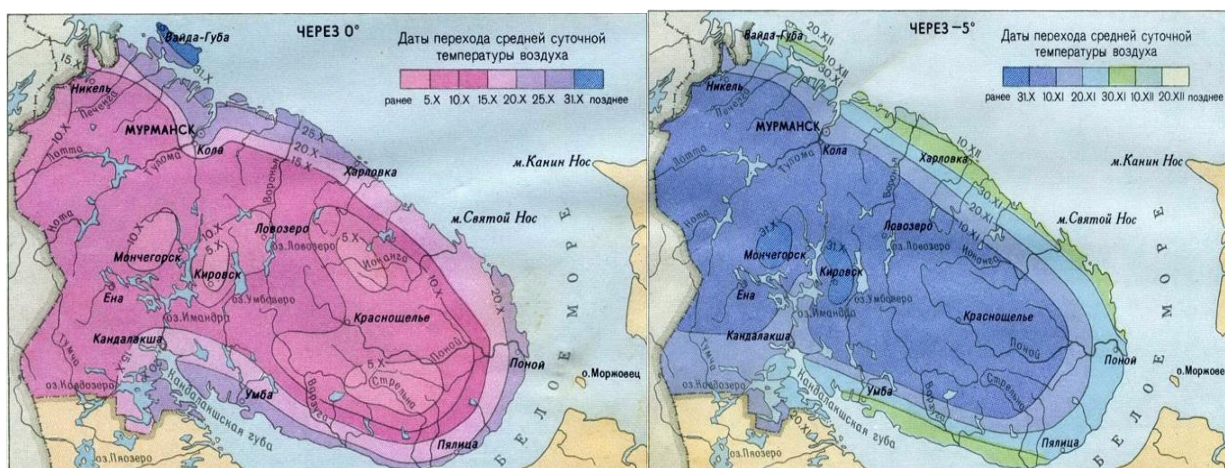


Рис. 2.2 Даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С (слева) и через -5°С (справа) (по Атласу Мурманской области, 1971).

Летом и в переходные сезоны, т.е. в период прогревания воздушных масс в слое до 1000 м, формируются значительные вертикальные градиенты температуры. Поэтому лето, весна и осень в горных районах значительно холоднее, чем в соседних предгорьях (рис. 2.3) (Яковлев, 1961).

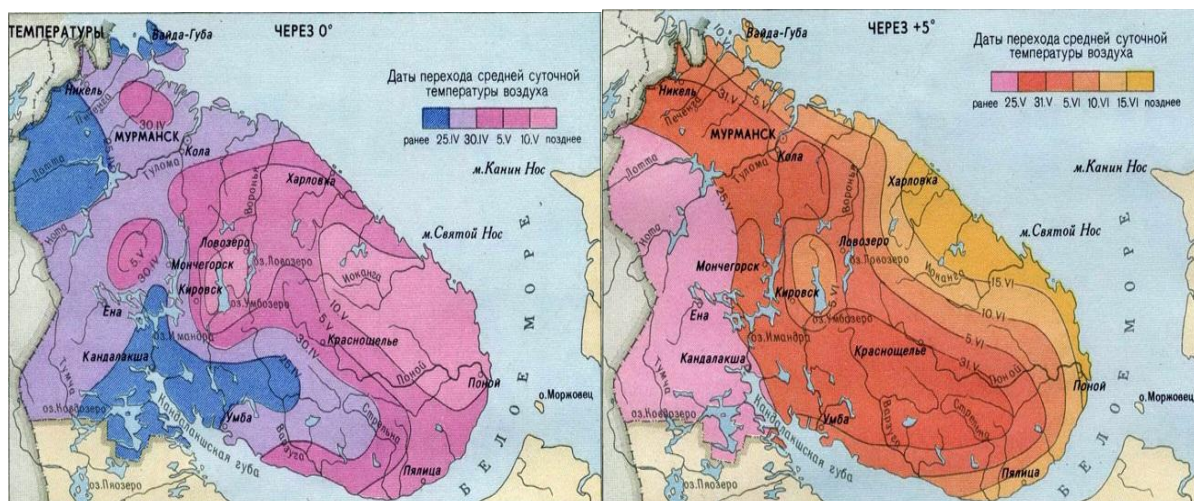


Рис. 2.3 Даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C (слева) и через $+5^{\circ}\text{C}$ (справа) (по Атласу Мурманской области, 1971)

В период наиболее интенсивного выхолаживания - в январе и феврале - в горных районах теплее, чем в низине, а в период наиболее интенсивного прогревания, в мае-июле, на высотах значительно холоднее. Так, годовая амплитуда на Юкспорре на 6.7°C меньше, чем в Апатитах. Уменьшение годовой температуры на станции Юкспорр объясняется холодным летом и относительно теплой зимой (табл. 2.4).

Таблица 2.4 Среднемесячная температура на метеостанциях «Апатиты» (136 м) и «Юкспорр» (902 м) и их разность за 1936 – 1955 гг. (по Яковлеву, 1971).

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
«Апатиты»	-13.0	-13.9	-10.3	-2.8	+3.3	+10.7	+13.9	+12.3	+6.6	+0.4	-4.4	-9.0
«Юкспорр»	-12.6	-12.3	-11.6	-6.4	-2.2	+5.0	+8.8	+7.5	+2.2	-3.7	-7.3	-10.0
Разность	-0.4	1.6	-1.3	-3.6	+5.5	+5.7	+5.1	+4.8	+4.6	+4.1	+2.9	+1.0

Летом соотношение аномалий температуры в горах и низинах становится обратным. Отрицательные аномалии температуры формируются за счет адвекции холодных масс воздуха на фоне циклонической погоды. Положительные аномалии температуры в том же сезоне вызываются адвекцией теплых масс воздуха на фоне преобладания антициклональной погоды. В первом случае среднее понижение температуры с высотой увеличивается за счет преобладания циклонических процессов, а во втором случае уменьшается за счет преобладания антициклональных ситуаций. Поэтому в летнее время аномалия температуры того и другого знака увеличивается с

высотой. Изменчивость средней месячной температуры в горных районах значительно меньше зимой, а летом, и особенно в переходные сезоны, больше, чем в соседних долинах. При этом в долинах абсолютная величина изменчивости средней месячной температуры испытывает в течение года большие колебания, чем в высокогорных районах.

Не менее значительно сказывается влияние высоты горного района на величину абсолютного максимума и минимума температуры. Зимой абсолютные минимумы температуры в горах значительно ниже, чем в межгорных долинах. В горах абсолютные минимумы связаны зимой только с адвекцией холодных масс арктического воздуха, а в окружающих долинах также и с дополнительным радиационным выхолаживанием, во время которых образуются инверсии температуры. В переходные сезоны величины абсолютных минимумов внизу и наверху выравниваются. В июне и июле, т.е. в период наиболее интенсивного прогревания воздуха, когда адвекция холода внизу несколько смягчается радиационным прогревом и притоком тепла от почвы, абсолютные минимумы в долинах становятся ниже, чем в горных районах. Абсолютные же максимумы температуры с апреля по август заметно больше в низинах, чем в горных районах, так как в низинах на повышение температуры воздуха сказывается дополнительный радиационный прогрев.

Разность абсолютных максимумов и минимумов температуры на станции Апатиты характеризуется значительными колебаниями: от 28° в августе до 52° в феврале (Эколого-экономическое обоснование, 2014).

Таким образом, температурный режим Хибинского горного массива характеризуется относительно более теплой и ровной зимой и относительно холодным, но менее устойчивым летом.

2.2 Влажность и осадки

Относительная влажность в горном районе в течение всего года выше, чем в окружающих равнинах (рис. 2.4).

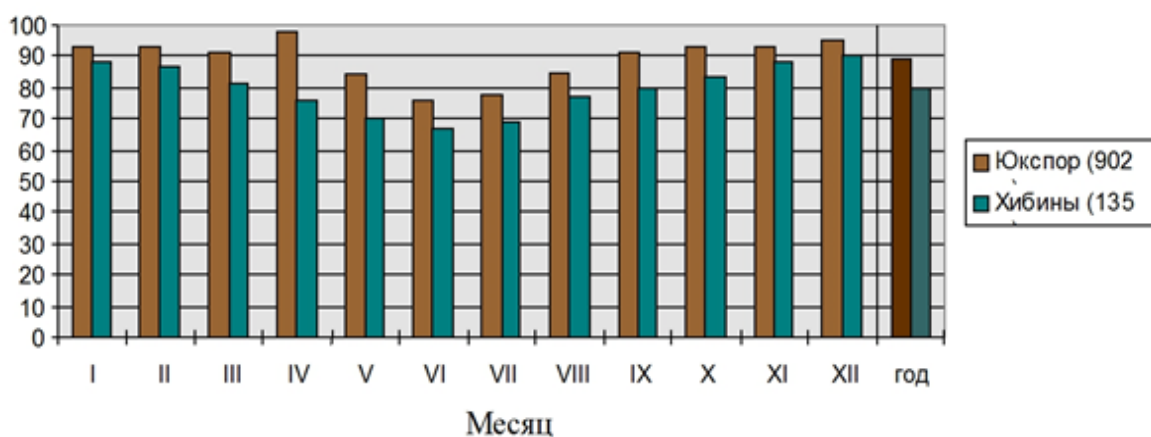


Рис. 2.4 Средняя месячная относительная влажность в Хибинах (%) (Эколого-экономическое обоснование, 2014).

Повышение относительной влажности связано в горах с вынужденным подъемом воздуха вдоль склонов гор. При этом в процессе подъема относительная влажность повышается за счет охлаждения воздуха. Высокая годовая относительная влажность, схожая с Хибинами, возможна в Мурманской области только на побережье Белого моря. Но летом, в период преобладания антициклональной погоды, влажность воздуха в горах ниже, чем на побережье.

Высокогорные районы Мурманской области, расположенные выше среднего уровня конденсации, большую часть года закрыты облаками, в которых относительная влажность близка к 100%. Дни с относительной влажностью 50%, хотя бы в один из сроков в горных районах бывают значительно реже, чем на около горных равнинах (рис. 2.5). Однако, зимой, в период с наиболее высокой относительной влажностью, число сухих дней в горах больше. Значительное повышение числа дней с относительной влажностью <50%, наблюдаемое зимой в горных районах (Юкспор), объясняется оседанием вышележащих слоев воздуха при антициклональной погоде, т.е. динамическими причинами (Эколого-экономическое обоснование, 2014).

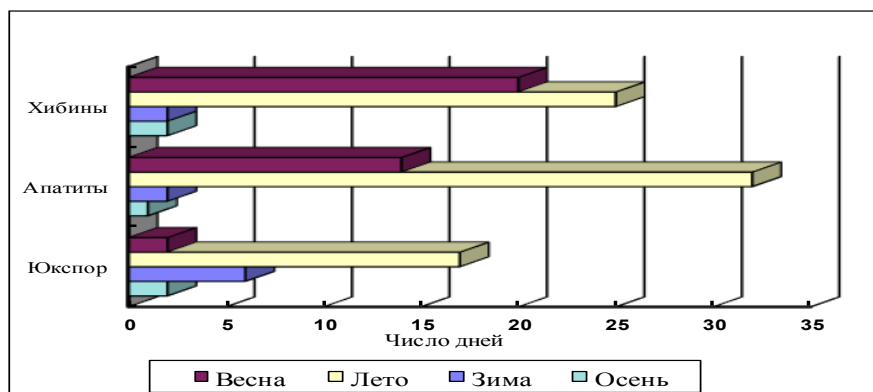


Рис. 2.5 Среднее сезонное число дней с относительной влажностью воздуха < 50 %

При антициклональной погоде высокогорные районы оказываются выше слоя инверсии, под которым в низинах и долинах наблюдается высокая относительная влажность. Выше слоя инверсии относительная влажность может сильно понижаться за счет оседания вышележащих слоев воздуха, динамического сжатия и, вызванного этим, повышения температуры. Летом же и весной значительное понижение относительной влажности обусловлено радиационным прогревом, более значительным в низинах, чем в горных районах. Поэтому, в низинах число дней с относительной влажностью < 50 % летом и весной значительно больше, чем в горах.

Вследствие вынужденного подъема влажного воздуха на наветренных склонах гор, в горных и предгорных районах выпадают более значительные осадки, чем на равнинах и низинах (рис. 2.6).

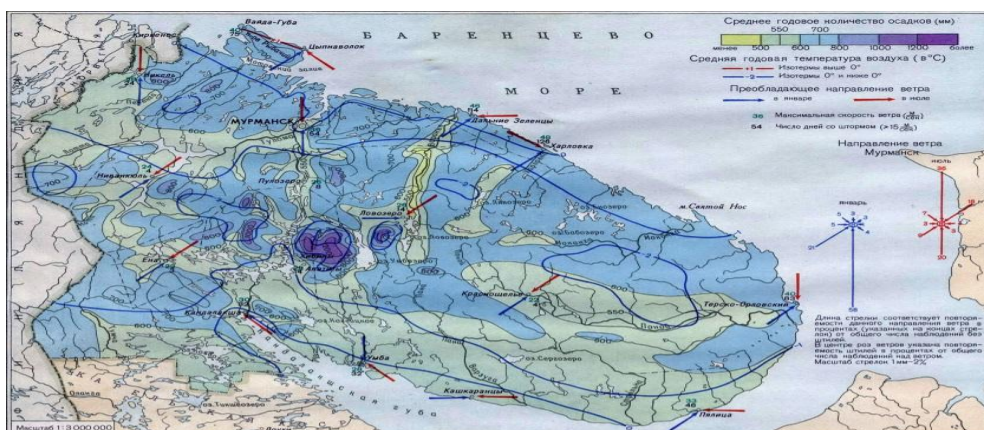


Рис. 2.6 Осадки, температура воздуха, направление и скорость ветра на территории Мурманской области (по Атласу Мурманской области, 1971).

Годовые суммы осадков в горных районах, по данным метеостанции «Юкспор», превышают 900 мм, т.е. более чем в два раза в предгорьях и на равнинах (табл. 2.5).

Таблица 2.5 Среднее количество осадков в мм на станции «Юкспорр» (по Яковлеву, 1971).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
59	50	50	66	63	85	73	113	130	96	95	74	1954

Средняя скорость ветра и повторяемость штормов в горных районах выше, чем в низинах и долинах, и сильно зависит от структуры рельефа. По данным метеостанции «Хибины-горная», средняя скорость ветра и повторяемость штормов в горах обычно того же порядка, что и на Мурманском побережье. На станции «Юкспорр» повторяемость штормов несколько меньше, чем на Мурманском побережье, но значительно больше, чем в предгорьях. Максимальная скорость ветра достигает здесь 60 м/сек.

Глава 3 Почвы Хибинского горного массива

3.1 Общие сведения о почвах

Формирование почв на горных породах происходит под влиянием природных условий. Основатель учения о почве – генетического почвоведения В. В. Докучаев выделил следующие факторы почвообразования: почвообразующая (материнская) порода, климат, рельеф, возраст территории и экосистемы, биологический фактор – деятельность растений, животных и микроорганизмов. Все перечисленные факторы почвообразования равнозначны. Это означает, что без любого из них почва не может образоваться. На многообразии почв влияют факторы, которые по отдельности действуют неравномерно и имеют разную интенсивность.

Первым этапом почвообразовательного процесса выступает заселение горных пород микроорганизмами, низшими растениями и потребляющими их животными – микробо- и микрофитофагами. Со временем под влиянием биологического и физических факторов порода преобразуется в почву. Самая значительная роль в процессе почвообразования принадлежит растениям. В тундровой зоне образование почвы происходит при существенном участии мхов и лишайников. Метаболиты растений участвуют в разрушении горных пород, в круговороте минеральных элементов, обогащают почву органическим веществом. Они имеют огромное влияние на воздушную систему почвы, теплообмен и уровень влаги.

Почвообразующие факторы и их распространение находятся в большой зависимости от рельефа территории. При этом сильное влияние имеют экспозиция и крутизна склонов, а также высота местности. Эти факторы оказывают влияние на температурный режим почвы, выпадение на ее поверхность осадков и их распределение.

Почвообразование занимает длительное время, поэтому возраст территории значительно влияет на формирование почвенного покрова. Особенно это касается областей, предварительно подвергшихся процессам оледенения. К их числу относится и территория Кольского полуострова, разные части которого в разное время освобождались от отступавшего ледника, следовательно, возраст их почв также может быть неодинаковым.

Согласно почвенно-географическому районированию СССР (Иванова и др., 1960), территория Мурманской области относится к двум почвенно-климатическим поясам. Северная часть в пределах тундровой зоны и подзоны лесотундры входит в Полярный (холодный) пояс, представляя собой Кольскую почвенную провинцию субарктической зоны тундровых почв Евро-Азиатской полярной области. Центральная и южная части

территории относятся к Бореальному (умеренно-холодному) поясу и входят в Кольско-Карельскую провинцию иллювиально-гумусовых подзолов северотаежной подзоны Центральной таежно-лесной области. Подобное районирование справедливо и для территории Северной Норвегии как части единого физико-географического пространства в пределах Северной Фенноскандии.

Все многообразие типов и подтипов почв, сформировавшихся на территории Северной Фенноскандии, может быть представлено в следующем виде (табл. 3.1). На рыхлых и кристаллических породах сформировались альфегумусовые почвы на песчаных породах разной степени гидроморфности, которые, наряду с торфяными почвами, являются основой почвенного покрова региона (рис. 3.1). Другие типы почв занимают ограниченные ареалы или входят в состав комбинации с основными типами почв (Переверзев, 2013).

Таблица 3.1 Классификация почв Северной Фенноскандии на рыхлых и кристаллических породах (Переверзев, 2013)

Отдел	Тип	Подтип
Альфегумусовые	Подбуры	Иллювиально-гумусовые
		Оподзоленные
	Подзолы	Иллювиально-железистые
		Иллювиально-гумусовые
	Торфяно-подзолы	То же
		Оруденелые
Глеевые почвы	Глееземы	Типичные
		Оподзоленные
		Торфянно-глееземы
Органно-аккумулятивные	Серогумусовые (дерновые)	Типичные (на речном аллювии)
Литоземы	Литоземы перегнойные	Типичные
	Торфяно-литоземы	То же
	Сухоторфяно-литоземы	«
Криотурбированные почвы пятен	Криоземы	«

Характер почв Хибин определяется их положением у северной границы таежной зоны, свойствами материнских горных пород (изверженных, щелочного химического состава) и продуктов их выветривания. Принадлежность к таежной зоне с ее достаточным, а местами избыточным увлажнением, и грубый механический состав рыхлых отложений

обеспечивают формирование подзолистых альфегумусовых почв, т.е. почв с промывным типом водного режима и дифференцированным профилем (Мягков, 1986).



Рис. 3.1 Почвенная карта Мурманской области (по Атласу Мурманской области, 1971).

Подавляющая часть почв, исключая примитивные и слаборазвитые почвы на скальных породах и некоторые специфические типы почв преимущественно в горных районах, формируется на рыхлых отложениях, которые являются продуктами выветривания исходных плотных пород, и представляют собой смесь минеральных частиц различной крупности, называемых механическими элементами. При этом соотношение частиц разного размера может быть различным в зависимости от характера исходной породы, направления (типа), интенсивности и длительности выветривания, определяя тот или иной гранулометрический (механический) состав отложений или элювия породы и соответственно, формирующихся на них почв (Белицина и др., 1988).

Как правило, почвы не бывают монодисперсными, а представляют смесь механических элементов самых различных размеров. На основе различий в водно-физических и химико-минералогических свойствах механические элементы сгруппированы в пределах размерных интервалов - гранулометрических фракций. В советском почвоведении приняты номенклатура и подразделение гранулометрических фракций, в основе разработанные А. Н. Сабаниным и В. Р. Вильямсом и впоследствии уточненные Н. А. Качинским (Качинский, 1965). Ниже приведена классификация механических элементов (табл. 3.2).

Таблица 3.2 Классификация почв по механическому составу (по Качинскому, 1965)

Название почвы	Содержание физической глины (частиц < 0.01 мм), %		
	Подзолистого типа почвообразования	Степного типа почвообразования, красноземы, желтоземы	Солонцы и сильно солонцеватые почвы
Песок рыхлый	0-5	0-5	0-5
Песок связный	5-10	5-10	5-10
Супесь	10-20	10-20	10-15
Суглинок легкий	20-30	20-30	15-20
Суглинок средний	30-40	30-45	20-30
Суглинок тяжелый	40-50	45-60	30-40
Глина легкая	50-65	60-75	40-50
Глина средняя	65-80	75-85	50-65
Глина тяжелая	>80	>85	>65

3.2. Тепловые свойства почвы

Совокупность свойств, обуславливающих способность почв поглощать и перемещать в своей толще тепловую энергию, называется тепловыми свойствами. К ним относятся: теплопоглощительная (или теплоотражательная) способность, теплоемкость и теплопроводность.

Теплопоглощительная (теплоотражательная) способность почв, или способность поглощать (отражать) определенную долю падающей на ее поверхность солнечной радиации, характеризуется показателем альbedo – долей коротковолновой солнечной радиации, отраженной их поверхностью, в процентах от общего количества солнечной радиации.

Альbedo зависит от многих свойств почв – их цвета, гранулометрического состава, содержания и качественного состава органического вещества, оструктуренности, формы почвенной поверхности, влажности. Диапазон лучистой энергии, отраженной поверхностью почв, колеблется от 8-10 до 30%. Естественное варьирование величины альbedo в ландшафтах усиливается характером растительного и снежного покрова.

Теплоемкость - свойство почвы поглощать тепло. Характеризуется количеством тепла в джоулях (калориях), необходимого для нагревания на 10 °С единицы массы (удельная теплоемкость) или единицы объема (объемная теплоемкость) почвы (Электронный ресурс: <http://racechrono.ru/pochvovedenie>). Теплоемкость зависит от влажности, содержания органического вещества, пористости, аэрации (табл. 3.3).

Таблица 3.3 Теплоемкость составных фракций почвы

Фракция	Теплоемкость			
	удельная		Объемная	
	Дж/(г град)	Калорий / (г град)	Дж/(см ³ град)	Калорий/(см ³ град)
Песок	0.82	0.196	2.16	0.517
Глина	0.98	0.233	2.42	0.577
Торф	2.00	0.477	2.56	0.611
Вода	4.19	1.000	4.19	1.000

Наиболее высокая теплоемкостью обладает вода. Для повышения температуры влажной почвы требуется больше тепла, чем для сухой. Влажные почвы медленнее нагреваются и медленнее охлаждаются. Глинистые, тяжелосуглинистые и торфяные почвы весной содержат много влаги, они медленнее прогреваются по сравнению с более сухими песчаными и супесчаными почвами, поэтому их называют «холодными». Осенью наблюдается обратная картина: легкие почвы быстрее охлаждаются, тяжелые глинистые и торфяные - медленнее.

Теплопроводность - способность почвы проводить тепло. Она измеряется количеством тепла в джоулях (калориях), которое проходит за 1 сек через 1 см² слоя почвы толщиной в 1 см. Минимальной теплопроводностью обладает воздух (табл. 3.4), более высокой - органическое вещество (гумус, торф) и вода. Самая высокая теплопроводность у минеральной части почв. Она в 100 раз выше, чем у воздуха и примерно в 20 раз выше, чем у воды. Теплопроводность плотных и влажных почв выше, чем рыхлых, хорошо оструктуренных и сухих.

Таблица 3.4 Теплопроводность составных фракций почвы

Вещество	Теплопроводность	
	Дж/(см с град)	Калорий/(см с град)
Воздух	0.000210	0.00006
Торф	0.001107	0.00027
Вода	0.005866	0.00136
Гранит	0.033620	0.00820
Базальт	0.021320	0.00520

Тепловой режим почвы - это совокупность и последовательность явлений поступления, переноса, аккумуляции и отдачи тепла. Он характеризуется температурой, которая на разных глубинах почвенного профиля имеет различный суточный и годовой ход.

Суточный ход температуры почвы определяется зональным положением почвы, климатическими и погодными условиями сезонностью, особенностями рельефа и растительного покрова, составом и свойствами почв. Наиболее резко суточный ход выражен в пределах верхнего 5-см слоя. Максимальные температуры наблюдаются на поверхности днем, минимальные - ночью. С глубиной в профиле почв характерно запаздывание изменения температуры.

Годовой ход температуры определяется, в первую очередь, климатическими условиями, имеет большую амплитуду и выражен на большей глубине, чем суточный. Наиболее резко годовой ход температур проявляется в пределах 3-4-х метровой толщи почвы и почвообразующих пород. На глубине 6 м колебания температур не превышают 1.0 °С. Максимальные температуры почв с глубиной отстают от максимальных температур воздуха. Различия во времени могут достигать 2-3 месяцев. На годовой ход температур большое влияние оказывают растительный покров, высота снежного покрова, рельеф, хозяйственная деятельность. Замерзание почвы происходит после установления отрицательных температур воздуха и продолжается до января-февраля. Затем почва постепенно оттаивает снизу за счет передачи тепла из нижних не промерзших слоев. Иногда оттаивание снизу продолжается до схода снега, при этом талая вода проникает в почву.

В годы раннего схода снега почва может оттаивать и сверху, и снизу, при этом в оттаявшем сверху слое образуется слой, насыщенный водой, и создаются условия для поверхностного стока и развития эрозионных процессов за счет талых вод.

Для оценки теплообеспеченности почв и характеристики теплового режима используются следующие показатели:

- сумма активных температур $> +10$ °С в почве на глубине 20 см;
- сумма отрицательных температур на глубине 20 см;
- средний из абсолютных минимумов температуры на поверхности почвы;
- глубина промерзания почвы;
- глубина проникновения температур $> +10$ °С и др. показатели.

Сумма активных температур $> +10$ °С на глубине 20 см в тундровых почвах в среднем на 100 °С ниже или соответствует сумме активных температур воздуха; в таежной зоне сумма активных температур почвы превышают таковую для воздуха на 100-200 °С; в степной зоне - на 300-500 °С, в субтропиках - примерно на 1000 °С (Электронный ресурс: <http://racechrono.ru/pochvovedenie>).

3.3 Водоудерживающая способность и влагоемкость почвы

Водными (водно-физическими, гидрофизическими) свойствами называют совокупность свойств почвы, которые определяют поведение почвенной воды в ее толще. Наиболее важными водными свойствами являются: водоудерживающая способность почвы, ее влагоемкость, водоподъемная способность, потенциал почвенной влаги, водопроницаемость.

Водоудерживающая способность - способность почвы удерживать содержащуюся в ней воду от стекания под влиянием силы тяжести. Количественной характеристикой водоудерживающей способности почвы является ее влагоемкость.

Влагоемкость почвы - свойство почвы поглощать и удерживать то максимальное количество воды, которое в данное время соответствует воздействию на нее сил и условий внешней среды.

Наименьшая влагоемкость зависит, главным образом, от гранулометрического состава почв, от их оструктуренности и плотности (сложения). В почвах тяжелых по гранулометрическому составу и хорошо оструктуренных этот показатель составляет 30-35%, в почвах песчаных не превышает 10-15%.

Наименьшая влагоемкость почв является очень важной гидрологической характеристикой почвы. С ней связано понятие о дефиците влаги в почве, по этой характеристике рассчитываются нормы полива земель. Дефицит влаги в почве представляет собой величину, равную разности между наименьшей влагоемкостью и

фактической влажностью почвы. Оптимальной влажностью считается влажность почвы, составляющая 70-100% наименьшей влагоемкости.

Полная влагоемкость – наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии заполнения ею всех пор, за исключением пор с заземленным воздухом.

При влажности, равной полной влагоемкости, в почве содержатся максимально возможные количества всех видов воды: связанной и свободной (капиллярной и гравитационной). Можно сказать, что полная влагоемкость характеризует водовместимость почв. Поэтому эту величину называют также полной водовместимостью.

Полная влагоемкость колеблется в пределах 40-50%, в отдельных случаях она может возрасти до 80 или опуститься до 30%. Состояние полного насыщения водой характерно для горизонтов грунтовых вод (Белицина, Васильевская, 1988).

Содержание воды в почве влияет на теплоемкость почвы. В сухих почвах интервал колебания теплоемкости небольшой - 0.170...0.200. При увлажнении песчаных почв теплоемкость возрастает до 0.700, глинистых – до 0.824, торфяных – до 0.900. Песчаные и супесчаные почвы менее влагоемки, поэтому быстрее прогреваются и их называют «теплыми». Глинистые почвы содержат больше воды, на нагревание которой требуется много тепла, вследствие чего их называют «холодными».

3.4 Температурный режим горных почв и степень его изученности в Хибинах

Колебания температуры - важный компонент почвенного микроклимата. Следуя годичным циклам изменения температуры воздуха, температура почвы оказывает существенное влияние на многие протекающие в ней процессы. С тепловым режимом почв тесно связаны начало и окончание вегетационного периода, пространственное размещение растений и животных, характер распространения корневых систем, скорость поступления к корням питательных элементов. Температура почвы влияет на скорость поступления воды в корни растений, на транспирацию, на продуктивность растительности.

Температурный режим почв регулирует численность микроорганизмов и их активность, минеральные преобразования и процессы разложения органических остатков и трансформации почвенного гумуса. Температура почв контролирует фазовые переходы в системе почва-почвенный раствор-почвенный воздух, процессы растворения солей и газов, скорость выветривания минералов. Образование цементационных структур в тропиках под влиянием избыточного перегрева и фрагментарных структур в северных

широтах (под действием переохладения) также обусловлены особенностями температурного режима почв. Таким образом, исследования тепловых свойств почв и хода годовой динамики их температур необходимы при детальном исследовании всех процессов, протекающих в почвах, при количественных расчетах соле-, водо- и газопереносов (Белицина и др., 1988).

Температурный режим горных почв Хибин охарактеризован в значительном числе работ (Крючков, 1958, 1957, 1958а, б, в; Шмакова и др., 2008, Зенкова, 2015, Штабровская, Зенкова 2017).

Данные В. В. Крючкова (1957, 1958а, б, в) для площадок высокогорной тундры на плато и у верхней границы березового криволесья на горе Юкспорр свидетельствуют:

1) наиболее низкие температуры почв наблюдаются не в горной тундре на плато на высоте 904 м н. ур. м., а у верхней границы лесного пояса (400 м н. ур. м.) на склоне северной экспозиции;

2) в солнечные дни поверхность почвы и даже глубина до 20 см прогревается лучше у верхней границы березового криволесья, чем у верхней границы таежного пояса;

3) почва у верхней границы лесного пояса на южном склоне горы Юкспорр (470 м н. ур. м.) может прогреваться сильнее, чем на дне долины.

Явление вертикальной зональности или вертикальной поясности почвенного покрова было открыто и описано В. В. Докучаевым при посещении им Кавказских гор. Еще ранее В. В. Докучаевым была высказана мысль о том, что почвы в горах, по мере поднятия от подножий к снежным вершинам, должны располагаться в виде последовательных вертикальных зон. В дальнейшем, он ознакомления с реальным расположением природных и почвенных зон в горах Кавказа (Белицина, Васильевская, 1988).

Для Хибинского горного массива характерна смена 3 основных горно-растительных поясов, которым соответствует смена типов почв.

На вершинах гор под крайне бедной растительностью на скоплениях мелкозема сформировались петроземы гумусовые. Для тундрового пояса характерны подбуры, сформировавшиеся на элювии нефелиновых сиенитов. Здесь же встречаются криоземы типичные в виде отдельных пятен. В поясе березового криволесья и в горнолесном поясе (редкостойном ельнике) на моренных отложениях распространены иллювиально-гумусовые подзолы. Морены внутренних долин в пределах Хибинского массива обогащены продуктами выветривания нефелиновых сиенитов. Сформировавшиеся на этих породах иллювиально-гумусовые подзолы отличаются от таких же почв северотаежных

равнин Кольского полуострова значительно большей гумусированностью минерального профиля и менее контрастным проявлением элювиально-иллювиального перераспределения химического состава (Переверзев, 2010).

На сегодняшний день изучение температурного режима как зональных лесных, так и горных почв Хибин проводится сотрудниками лаборатории Наземных экосистем ИППЭС КНЦ РАН.

Проанализированы данные по летней динамике среднесуточной температуры подстилок ($T_{сум_{ср}}$), полученные с помощью автоматических термохронов ТРВ-2 на склонах трех гор Хибинского массива: Рисчорр (северная часть массива, 67°49'N_33°40'E), Юкспорр (центральная часть, 67°39'N_33°46'E) и Суолайв (юго-восточная часть, 67°39'N_34°10'E). Установлен ход летней динамики температуры, общий для разных гор. В июне $T_{сум_{ср}}$ находилась в диапазоне «эффективных» температур +5...+10 С° (рис. 3.2). Устойчивый переход к $T_{сум_{ср}} \geq +10$ С° зафиксирован в подстилках большинства высотных поясов со второй недели июля и сохраняется около 50 суток – до 20-22/VIII. После 10/IX $T_{сум_{ср}}$ подстилок не поднималась выше +10 С°, а после 20/IX не превысила пороговое значение +5 С°. Весь период исследования с середины июня до конца сентября $T_{сум_{ср}}$ подстилок оставалась положительной, что рассматривается в качестве важной особенности почвы для продления летней активности почвенной фауны в условиях короткого вегетационного сезона в заполярных широтах (Зенкова, 2015).

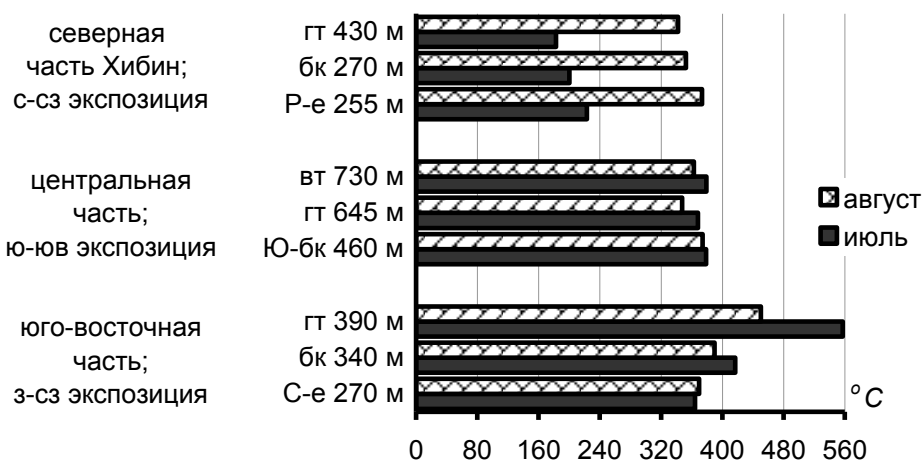


Рис. 3.2 Сумма положительных среднесуточных температур в подстилках высотных поясов гор Рисчорр (Р), Юкспорр (Ю) и Суолайв (С) за наиболее теплые месяцы вегетационного сезона (Зенкова, 2015).

Достоверное влияние высотной поясности на летнюю динамику и величину $T_{сум_{ср}}$ установлено для склонов гор Рисчорр и Суолайв (рис. 3.3). В первом случае на

протяжении вегетационного сезона подстилка елово-березового леса была достоверно теплее, чем в поясах березового криволесья и горной тундры (на 1.9-3.1 С°), во втором случае мохово-кустарничковый покров горной тундры прогревался на 7-9 С° лучше по сравнению с подстилками нижележащих ельника и березового криволесья кустраничково-разнотравных. Подстилки тундрового пояса всех гор отличались наибольшей вариабельностью $T_{сут\text{cp}}$ на протяжении вегетационного сезона (Зенкова, 2015).

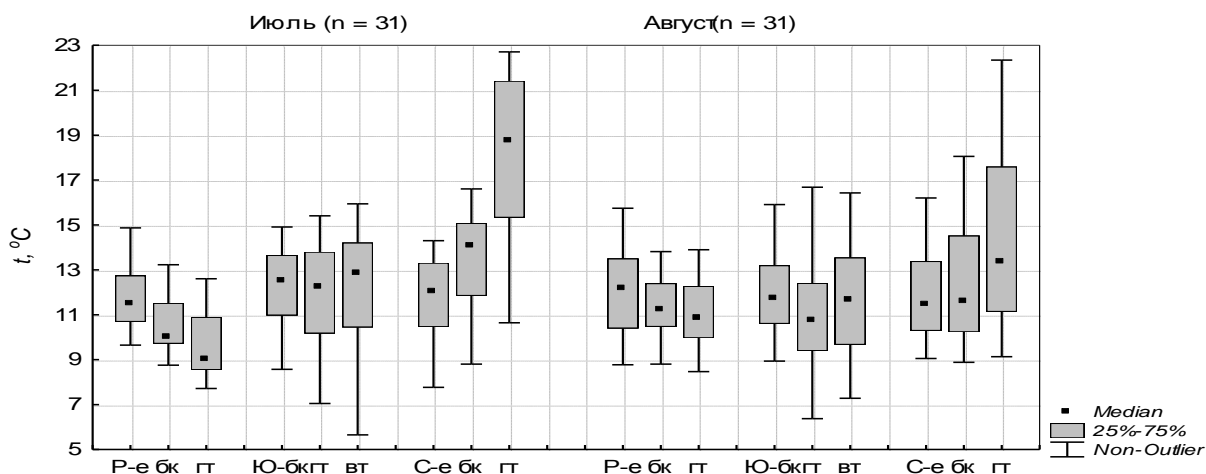


Рис. 3.3 Величина среднесуточной температуры подстилок в высотных поясах гор Рисчорр (Р), Юксчорр (Ю) и Суолайв (С) (Зенкова, 2015)

3.5. Метод термохронов и их техническая характеристика

В последние годы при проведении экологических исследований в почвоведении, почвенной зоологии и других смежных дисциплинах активно внедряется новый метод автономного измерения температуры воздушной и почвенной сред с использованием компактных программируемых датчиков (терморегистраторов или термохронов) различной модификации (<http://www.elin.ru/files/pdf/Thermochron>).

Подключив к компьютеру передающее устройство и установив специальную управляющую программу, пользователь может обслуживать регистраторы, которые не имеют каких-либо собственных средств индикации и управления. Пользователь имеет возможность:

- 1) задать желаемые значения установочных параметров (время, границы температурных измерений, задержка измерений, измерение влажности и др.) термохрона для организации нового процесса регистрации температуры, в том числе в режиме автозапуска;

2) считать из памяти устройства термохрон собранную и сохранённую им информацию;

3) визуализировать полученные данные в форме таблиц, графиков, гистограмм, а также распечатать графическое изображение зафиксированной “температурной истории”;

4) считать, редактировать и сохранять содержимое памяти регистратора;

5) преобразовать информацию, считанную из памяти устройства, в бинарный (кодированный), текстовый (символьный) или защищённый шифрованный файл данных для её дальнейшего хранения, транспортировки, анализа и обработки с помощью стандартных программных средств (например, Microsoft Excel, OpenOffice.org Calc, IBM Lotus Symphony Spreadsheets, Google Spreadsheets и т.д.).

Некоторые термохроны имеют функцию регистрации влажности воздуха одновременно с регистрацией температуры или по выбору одной из этих функций. Технические характеристики популярных моделей термохрон приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Основные технические характеристики термохрон различной модификации

Модель	Диапазон измерения температуры, °С	Погрешность измерения, °С	Предельное количество зарегистрированных измерений	Диапазон измерений влажности, относительная влажность %	Дискретность измерения температуры, °С
TP-1, DS1921G-F5	-40 ... +85	± 1.0	до 2048	Не измеряется	0,5
TP-2, DS1922L-F5	-40 ... +85	± 0.5	до 8192	Не измеряется	0.0625
TPB-2, DS1923-F5	-20 ... +85	± 0.5	до 8192	0 ... 100	0.0625
DS1921Z-F5	-5 ... +26	± 1.0	до 2048	Не измеряется	0.125
TP-1p «БИО», DS1921H-F5	+15 ... +46	± 1.0	до 2048	Не измеряется	0.125
DS1922E-F5	+15 ... +140	до ± 1.5	до 8192	Не измеряется	0.0625
DS1922T-F5	0 ... +125	до ± 2	до 8192	Не измеряется	0.0625

Примечание. Выделена модель TPB – 2, которая используется в наших исследованиях температурной динамики горных подстилок.

Глава 4 Объекты и методы исследования

4.1 Характеристика исследованной территории

Для целей исследования были выбраны 5 участков в горно-тундровом и горнолесном поясах с разной экспозицией в пределах горы Вудъяврчорр, расположенной в южной части Хибин (рис. 4.1).

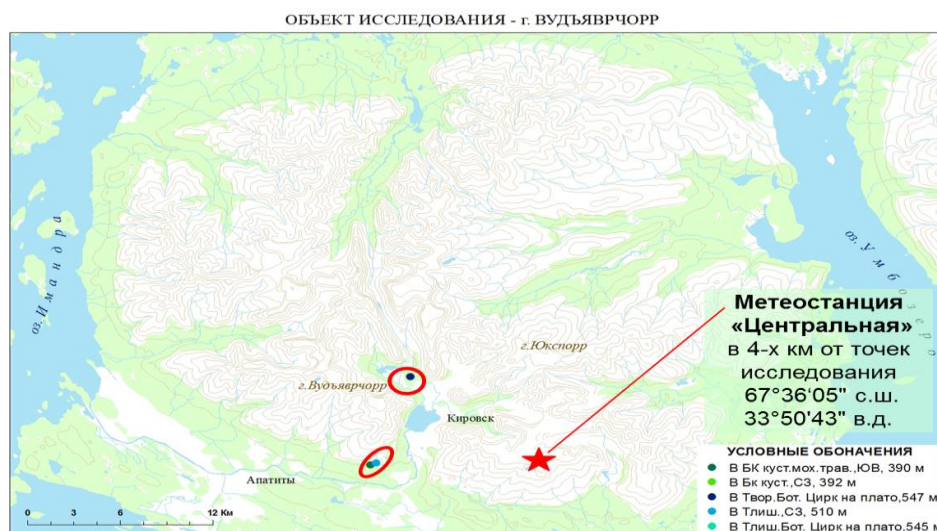


Рис. 4.1 Местоположение исследованных участков на территории Хибинского горного массива. Звездочкой отмечена метеостанция «Центральная».

В поясе горной тундры два участка – тундра лишайниковая ($T_{лиш}$) и тундра вороничная ($T_{вор}$) выбраны на плато Ботанического цирка, третий участок – тундра лишайниковая ($T_{лиш-СЗ}$) – на склоне северо-западной экспозиции ущелья Скальное. Оба участка горнолесного пояса были выбраны на сходной высоте на склонах встречной экспозиции ущелья Скальное: участок березового криволесья кустарничково-травяно-мохового ($БК_{ЮВ}$) – на слоне ЮВ экспозиции, участок березового криволесья кустарничкового ($БК_{СЗ}$) – на слоне СЗ экспозиции (рис. 4.2). Работы были выполнены в полевой сезон 2016 года в Ботаническом цирке и в сезон 2017 года в ущелье Скальное. Характеристика участков приведена в таблице 4.1.

Ботанический цирк, 2016 г.
Горно-тундровый пояс



Тундра лишайниковая (Тлиш)

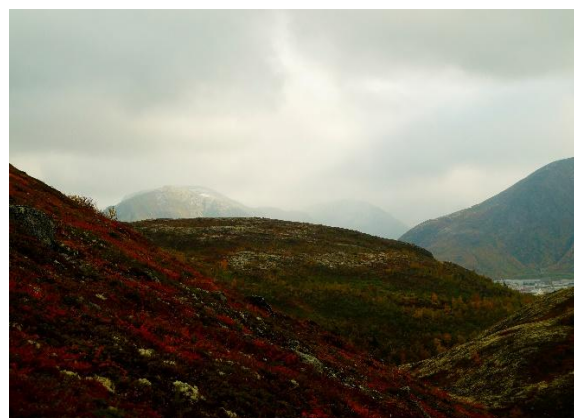


Тундра вороничная (Твор)

Ущелье скальное, 2017 г.
Горно-тундровый пояс



Тундровый пояс ущелья



Тундра лишайниковая, СЗ (Тлиш-СЗ)

Горно-лесной пояс



*Березовое криволесье кустарничково-
травяно-моховое (БКЮв)*



Березовое криволесье кустарничковое (БКСз)

Рис. 4.2 Участки горной тундры и березового криволесья,
обследованные на плато и склонах горы Вудъяврчорр.

Таблица 4.1 Характеристика участков Ботанического цирка и ущелья Скальное

Участок	Ботанический цирк, 2016 г.		Ущелье Скальное, 2017 г.			Всего
	Тундра лишайникова я	Тундра вороничная	Тундра лишайникова я на склоне	Березовое криволесье кустарничковое	Березовое криволесье кустарничково-травяно-моховое	
Экспозиция склона	плато		СЗ	СЗ	ЮВ	2
Аббревиатура	<i>T_{лиш}</i>	<i>T_{вор}</i>	<i>T_{лиш-СЗ}</i>	<i>БК_{СЗ}</i>	<i>БК_{ЮВ}</i>	5
Горно-растительный пояс	Горно-тундровый		Горно-тундровый	Пояс березовых криволесий		2
Высота над ур. м., м	545	547	510	392	390	
Координаты	67°38'34" с. ш. 33°39'12" в. д.		67°36'01,8" 33°36'16,6"	67°35'56,8" 33°35'44,3"	67°35'56,9" 33°35'42,4"	

4.2 Методы исследования

4.2.1 Полевые методы

В полевые сезоны 2016 и 2017 г. в подстилку всех участков на глубину 5 см были заложены автоматические терморегистраторы (термохроны, рис. 4.3), запрограммированные на измерение температуры в подстилках каждые 2 часа (внутрисуточная динамика) в период с конца июня до начала октября (летняя динамика). Сроки закладки и выемки термодатчиков были приурочены к периодам схода снега и начала заморозков в Хибинском горном массиве.



Рис. 4.3 Закладка термохрона в слой подстилки.

Примечание: термохроны закладывали в подстилку без полиэтиленовых пакетов.

Использовали датчики серии ТРВ-2 с техническими характеристиками, наиболее подходящими для климатических условий Мурманской области (табл. 4.2), в частности, с предельным диапазоном измерений температуры от $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 4.2 Объем температурных измерений, выполненных на участках горы Вудъяврчорр в полевые сезоны 2016/17 гг.

Показатели / Участки	Ботанический цирк, 2016 г.		Ущелье Скальное, 2017 г.			Всего
	<i>T_{ЛИШ}</i>	<i>T_{ВОР}</i>	<i>T_{ЛИШ-СЗ}</i>	<i>БК_{КУСТ}</i>	<i>БК_{КУСТ-ТРАВ}</i>	
Число исследованных участков	1	1	1	1	1	5
Число заложённых термохронных, шт.	1	1	1	1	1	5
Дата начала / окончания измерения температуры	22.06.2016 - 05.10.2016		03.07.2017 - 20.09.2017			VI(VII) - X(IX)
Период измерения температуры, сут.	106		80			186
Количество полученных показаний термохрона, ед.	1273	1273	947	947	947	5387

Одновременно с установкой термохронных на всех участках отбирали образцы подстилки размером 25×25 см на глубину органического горизонта 0-4(7) в 5-кратной повторности (рис. 4.4) для сравнительного зоологического анализа почвенного населения (под руководством в.н.с. ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН, к.б.н. И. В. Зенковой) и выполняли ботаническое описание растительности с оценкой разнообразия растений и лишайников в напочвенном покрове (под руководством с.н.с. ПАБСИ, к.б.н. Н. Е. Королевой).



Рис. 4.4 Образец подстилки 25х25 см для зоологического анализа.

4.2.2 Лабораторные методы

В лабораторных условиях проводили ручной разбор образцов подстилки, после которого ее прогревали в течение нескольких суток до полного высушивания на специальной установке (рис. 4.5) для более полного учета беспозвоночных животных (Гиляров и др., 1987).



Рис. 4.5 Установка для выгонки беспозвоночных из почвы.

4.2.3 Математическая обработка и ГИС-картографирование данных

После выемки термохронов из почвы данные переносили на компьютер при помощи специального USB-переходника и управляющей программы (рис. 4.6).

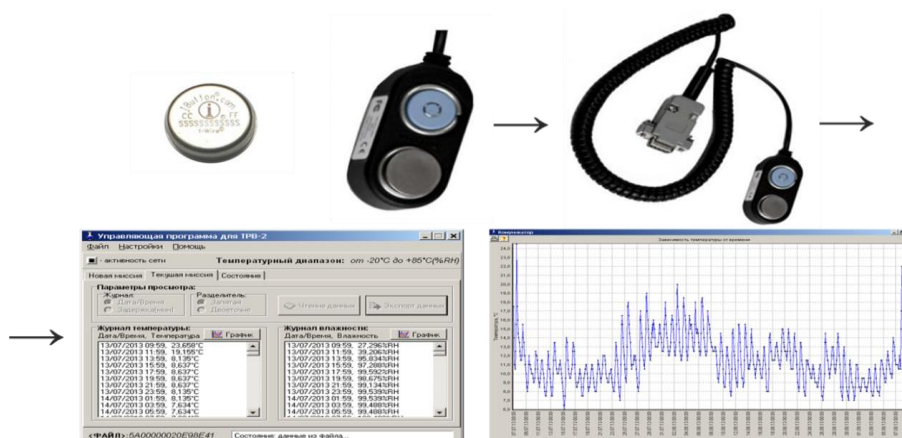


Рис. 4.6 Процедура переноса информации с термохрона на компьютер.

Далее полученные данные обрабатывались в программах Excel и Statistica-7 (описательная статистика, корреляционный и дисперсионный анализ).

По 12 измерениям за каждые сутки рассчитывали среднесуточные значения температуры подстилок ($T_{сут\text{cp}}$). По усредненным среднесуточным значениям вычисляли среднемесячные температуры подстилок для каждого месяца ($T_{мес\text{cp}}$), по значениям, усредненным за весь период исследования, – среднелетние значения ($T_{лет\text{cp}}$).

Сравнивали максимальные и минимальные внутрисуточные, среднесуточные и среднелетние температуры, а также суммы эффективных температур между соседними поясами в пределах одного склона – склона СЗ экспозиции ($БК_{СЗ}$ и $T_{лиш-СЗ}$) и между участками одного (тундрового) пояса в разные сезоны с использованием t -критерия

Стьюдента. При сравнении динамики температуры между участками, исследованными в каждый из сезонов, учитывали сходный период измерений: в 2016 г. с 22.06.2016 по 05.10.2016 (106 сут); в 2017 г. - с 03.07.17 по 20.09.17 (80 сут.). Сравнение общей динамики и показателей температуры для 5 участков за два вегетационных сезона проводили для двух наиболее теплых месяцев – июля и августа, т.е. за период 60 суток.

Методом корреляционного анализа оценивали зависимость летней динамики среднесуточной температуры подстилок и атмосферного воздуха за аналогичный период исследования. Динамику температуры атмосферного воздуха за период исследования анализировали по данным метеостанции «Центральная» (Электронный ресурс: <http://rp5.ru>), расположенной в пределах горы Ловчорр (67°36'05" с. ш. 33°50'43" в. д.) в 4-х км от исследованных участков (рис. 4.1). Для оценки достоверности коэффициентов корреляции при корреляционном анализе с метеоданными использовали *t*-критерий Стьюдента.

Вариабельность ежемесячной (за июль, август, сентябрь) и летней (с июля по сентябрь) динамики температуры подстилок оценивали по коэффициенту вариации *CV*, %.

Достоверность различий температурной динамики подстилок между участками разных высотных поясов и разной экспозиции оценивали методом дисперсионного анализа с использованием *F*-критерия Фишера. Все оцениваемые параметры сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 Температурные показатели, рассчитанные на основе данных термохрон

Показатели	Динамика температуры подстилок		
	Суточная, 12 показаний с интервалом 2 часа	Месячная, за VII, VIII, IX	Летняя, за сезон VII – IX
Минимальные температуры, °С	$T_{СУТmin}$	$T_{МЕСmin}$	$T_{ЛЕТmin}$
Максимальные температуры, °С	$T_{СУТmax}$	$T_{МЕСmax}$	$T_{ЛЕТmax}$
Колебания температуры, °С	$T_{СУТmax} - T_{СУТmin}$	$T_{МЕСmax} - T_{МЕСmin}$	$T_{ЛЕТmax} - T_{ЛЕТmin}$
Вариабельность температуры (коэфф. вариации, %)	$CV_{СУТ}$	$CV_{МЕС}$	$CV_{ЛЕТ}$
Среднее значение температуры, °С	Среднесуточная температура $T_{СУТcp}$	Среднемесячная температура $T_{МЕСcp}$	Среднелетняя температура $T_{ЛЕТcp}$
Сумма положительных температур, °С	не рассм.	$\sum T_{МЕСcp} > 0$ $\sum T_{МЕСcp} \geq +5$ $\sum T_{МЕСcp} \geq +10$	$\sum T_{ЛЕТcp} > 0$ $\sum T_{ЛЕТcp} \geq +5$ $\sum T_{ЛЕТcp} \geq +10$

Для визуализации данных по средним значениям температуры горных подстилок в разных высотных поясах и на разных горах Хибинского массива выполняли построение карт в программном пакете ArcGIS (версия 10.4) компании ESRI.

4.2.4 Привлеченные данные

Результаты исследования температурного режима, полученные в 2016 и 2017 годах, сравнивали с данными собственных исследований в 2014 и 2015 годах, выполненных на склонах Хибинских гор Юкспорр и Суолайв в рамках подготовки бакалаврской квалификационной работы (Штабровская, 2016). Также были использованы данные по температуре подстилок на склонах гор Рисчорр, Партомчорр и в межгорной (Путеличорр/Парттомчорр) долине реки Кунийок, полученные в.н.с. Лаборатории наземных экосистем ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН И. В. Зенковой в 2013 и 2015 гг. (Зенкова, 2015, Зенкова, 2017) (табл. 4.6, рис. 4.6). Общее количество участков, на которых были выполнены исследования температуры, составило 11.

Таблица 4.6 Местоположение участков в Хибинском горном массиве, на которых выполнены измерения температуры подстилок в 2013-2017 годах

Гора	Экспозиция склона	Горно-растительный пояс	Координаты	Высота над ур. м., м
Партомчорр	ЮВ	Северотаежный	67°49'39" с. ш., 33°40'18" в. д.	290-310
Рисчорр	С	Горно-тундровый	67°49'17", 33°40'04"	430
	СЗ	Лесотундровый	67°49'22", 33°40'10"	360-380
	СЗ	Северотаежный	67°49'36", 33°40'06"	290-310
Долина реки Кунийок (между горами Путеличорр и Партомчорр)	межгорная долина	Горно-лесной	67°50'14.8", 33°39'37.3"	235
		Горно-лесной(ГЛ)	67°50'16.4", 33°39'22.5"	236
Юкспорр	плато	Горно-тундровый	67°39'32", 33°46'44"	710-730
	ЮВ	Горно-тундровый	67°39'06", 33°46'44"	625-645
	ЮВ	Лесотундровый	67°38'59", 33°47'17"	460-490
Суолайв	З	Горно-тундровый	67°39'32", 34°10'03"	387-550
	З	Лесотундровый	67°39'30", 34°10'13"	328-340
	З	Горно-лесной	67°39'26", 34°10'14"	260-270

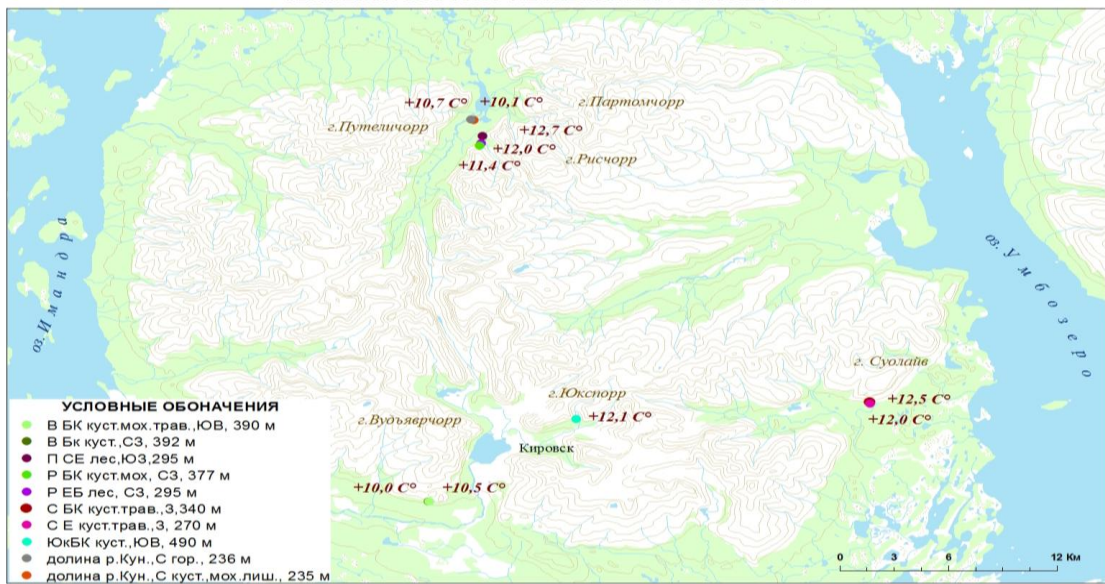


Рис. 4.6 Участки Хибинского горного массива, на которых выполнены измерения.

Глава 5 Характеристика температуры горнолесных и горно-тундровых подстилок г. Вудъяврчорр

5.1 Исследование температуры горно-тундровых подстилок на площадке Ботанического цирка

5.1.1 Среднемесячные и среднелетние температуры подстилок

На протяжении периода измерений с 22 июня по 5 октября 2016 года в поясе горной тундры на площадке Ботанического цирка среднесуточная температура подстилок ($T_{сут_{cp}}$) на глубине 5 см изменялись в диапазоне +2 ... +17 °С и составила в среднем за период измерений 106 сут (среднелетняя температура, $T_{лет_{cp}}$) 10.4 ± 0.4 °С на участке тундры лишайниковой ($T_{лиш}$, 545 м н.у.м.) и 9.6 ± 0.3 °С на участке тундры вороничной ($T_{вор}$, 547 м н.у.м.) (рис. 5.1). Различия среднелетних значений температуры подстилок на двух участках горной тундры за период исследования 106 суток были недостоверны (табл. 5.1).

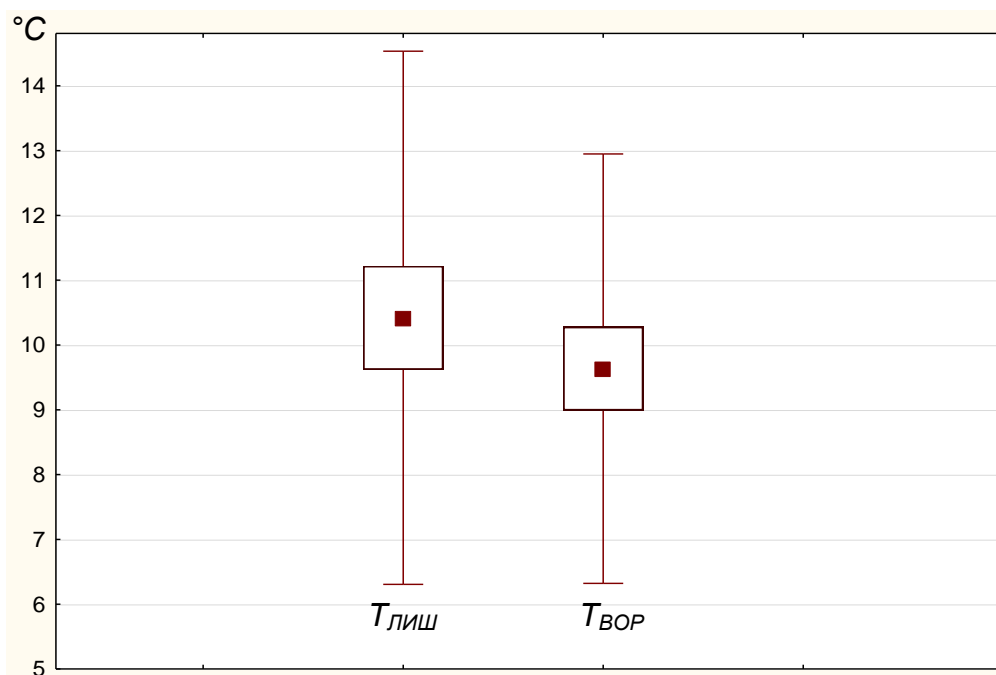


Рис. 5.1 Среднелетние значения температуры подстилки на участках горной тундры на площадке Ботанического цирка ($T_{лет_{cp}}$ за период 106 суток, °С). Участки: $T_{лиш}$ – тундра лишайниковая, $T_{вор}$ – тундра кустарничковая (вороничная).

Таблица 5.1 Значения t -критерия Стьюдента при сравнении среднелетних значений температуры подстилок ($T_{лет\text{cp}}$) между участками горной тундры на площадке Ботанического цирка

Период / Участки	$T_{\text{Лиш}} / T_{\text{Вор}}$
июнь – октябрь 2016 (n = 106 сут)	1.51

Примечание. Различия достоверны при $t_{(210;0.05)} = 1.96$.

Различия в динамике среднесуточной температуры подстилок за период 106 сут между исследуемыми участками горной тундры также были недостоверны ($F = 2.34$ при $p = 0.13$) и объяснялись ее сходным изменением: на протяжении июля (с 30.06 по 28.07 число, всего 29 суток) наблюдался наибольший прогрев подстилок до +14 ... +17 °С и последующий постепенный осенний спад $T_{\text{сут}\text{cp}}$, которая к первым числам октября опустилась до +2 °С (рис. 5.2).

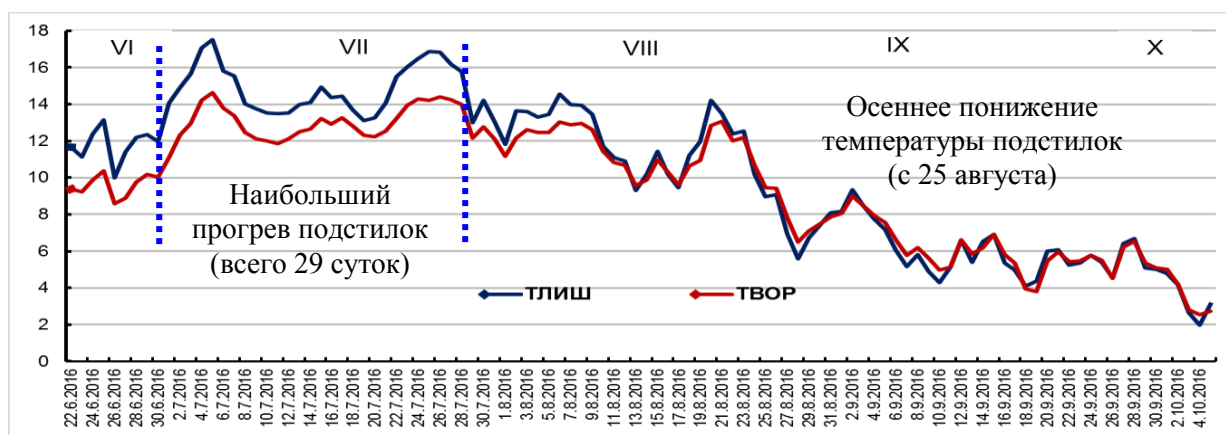


Рис. 5.2 Динамика среднесуточной температуры подстилок ($T_{\text{сут}\text{cp}}$, °С) на участках горной тундры на площадке Ботанического цирка в вегетационный сезон 2016 года (n = 106 сут). $T_{\text{Лиш}}$ – тундра лишайниковая, $T_{\text{Вор}}$ – тундра вороничная.

Самыми теплыми оказались даты 5.07 и 25.07, когда внутрисуточные значения температуры подстилки достигали +19.7 °С ($T_{\text{Лиш}}$) и +16.0 °С ($T_{\text{Вор}}$) и +18.8 °С ($T_{\text{Лиш}}$) и +15.7 °С ($T_{\text{Вор}}$) на фоне прогрева атмосферного воздуха до +22.6 и +19.4 °С. Минимальное значение $T_{\text{сут}\text{cp}}$ горно-тундровых подстилок (+1.9 °С в $T_{\text{Лиш}}$ и + 2.5 °С в $T_{\text{Вор}}$) наблюдались 04.10 числа при $T_{\text{сут}\text{cp}}$ атмосферного воздуха +3.6°С (рис. 5.3).

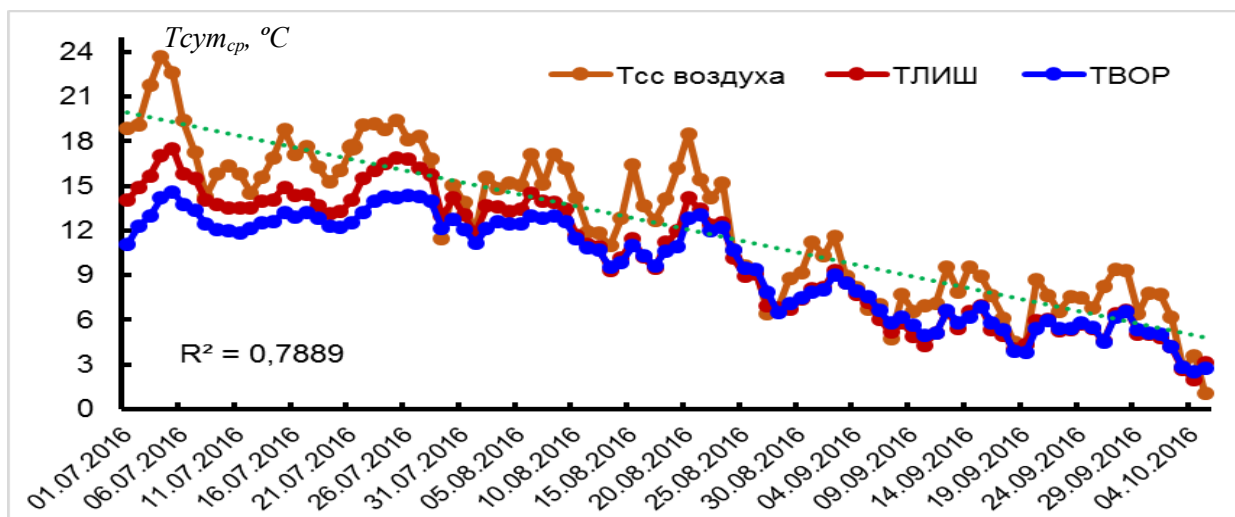


Рис. 5.3 Корреляция летней динамики среднесуточной температуры подстилки ($T_{сут_{ср}}$) на участках с температурой атмосферного воздуха в июле-октябре 2016 года.

В целом динамика $T_{сут_{ср}}$ подстилок на протяжении 106 сут определялась динамикой температуры атмосферного воздуха, что подтверждается достоверными значениями коэффициента корреляции, которая была теснее для покрова $T_{ЛИШ}$ ($r = 0.96$), чем $T_{ВОР}$ ($r = 0.94$).

На протяжении сезона $T_{сут_{ср}}$ атмосферного воздуха превышала таковую в подстилках на $+2.1\text{ °C}$ и $+2.8\text{ °C}$.

При сравнении динамики среднесуточной температуры подстилок между участками $T_{ЛИШ}$ и $T_{ВОР}$ в каждый из месяцев вегетационного сезона (июль, август и сентябрь) различия между участками оказались достоверны только в самом теплом месяце – июле, когда $T_{ЛИШ}$ прогревалась на 2.9 °C лучше по максимальным значениям за июль: до $+17.5\text{ °C}$ против $+14.6\text{ °C}$ в $T_{ВОР}$. В августе и сентябре различия в температуре подстилки между участками $T_{ЛИШ}$ и $T_{ВОР}$ были недостоверны: $F \leq 0.36$ при $p \geq 0.55$ (рис. 5.4, табл. 5.2). При этом по максимальным значениям за август $T_{ЛИШ}$ была теплее на 1.5 °C : до $+14.5\text{ °C}$ против 13.1 °C в $T_{ВОР}$, а в сентябре эта разница была совсем малой (0.3 °C): до $+9.3\text{ °C}$ в $T_{ЛИШ}$ и $+9.0\text{ °C}$ в $T_{ВОР}$.

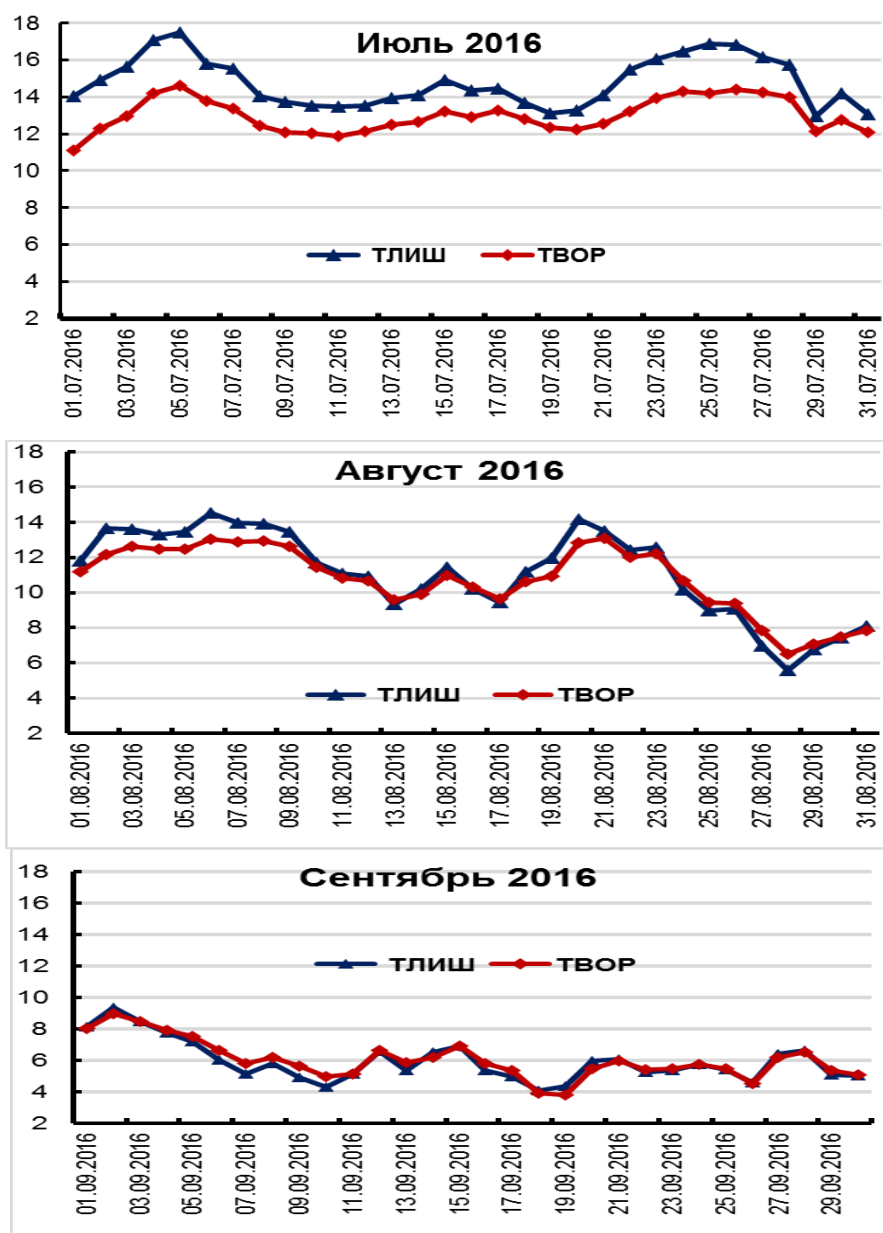


Рис. 5.4 Динамика среднесуточной температуры подстилок ($T_{сут_{ср}}$, °C) на участках горной тундры на площадке Ботанического цирка в разные месяцы вегетационного сезона 2016 г. $T_{ЛИШ}$ – тундра лишайниковая, $T_{ВОР}$ – тундра вороничная.

Таблица 5.2 Значения критерия Фишера (F) и уровня значимости (p) при сравнении динамики среднесуточной температуры подстилок $T_{сут_{ср}}$ между участками $T_{ЛИШ}$ и $T_{ВОР}$ в летние месяцы 2016 г. (однофакторный дисперсионный анализ ANOVA).

Месяц / Сравнимые участки	$T_{ЛИШ} / T_{ВОР}$
Июль 2016	$F = 36.71, p = 0.00001$
Август 2016	$F = 0.36, p = 0.55$
Сентябрь 2016	$F = 0.12, p = 0.73$

Примечание. Различия достоверны при $F_{табл} (30;0.05) = 4.17$.

Средняя за каждый из месяцев температура подстилок (средняя ежемесячная, $T_{мес\text{ср}}$, °C) составила: в июле +14.8 °C для $T_{лиш}$ и +13.1 °C для $T_{вор}$, в августе +11.1 °C для $T_{лиш}$ и +10.8 °C для $T_{вор}$. В сентябре значения $T_{мес\text{ср}}$ для этих участков совпадали: +5.9 и +6.0 °C (рис. 5.5). В целом снижение $T_{мес\text{ср}}$ в августе по сравнению с июлем составило в горных подстилках 2-3 °C, а в сентябре около 4-5 °C по сравнению августом и 7-9 °C – по сравнению с июлем. При этом осеннее снижение $T_{мес\text{ср}}$ атмосферного воздуха составило 4.3 °C в августе по сравнению с июлем, 5.5 °C в сентябре по сравнению с августом и 9.8 °C по сравнению с июлем. Таким образом, осеннее снижение $T_{мес\text{ср}}$ в подстилках горно-тундрового пояса в среднем идет в полтора раза медленнее по сравнению с атмосферным воздухом, что соответствует.

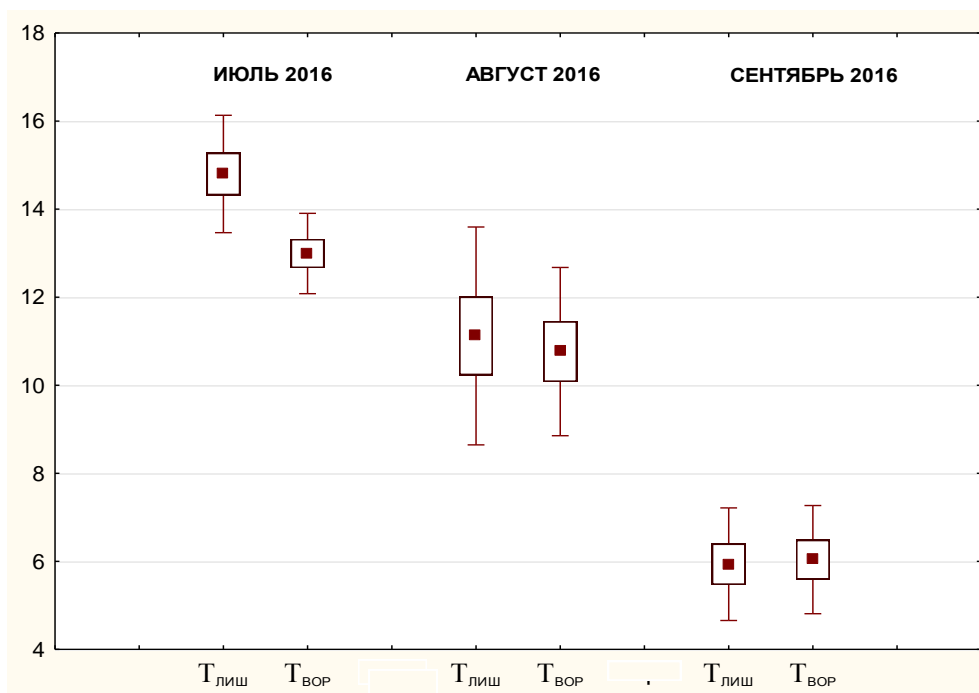


Рис. 5.5 Средние ежемесячные значения температуры подстилок ($T_{мес\text{ср}}$, °C) на участках горной тундры на площадке Ботанического цирка в разные месяцы вегетационного сезона 2016 г. $T_{лиш}$ – тундра лишайниковая, $T_{вор}$ – тундра вороничная.

Во все исследованные месяцы вегетационного сезона 2016 г. вариабельность температуры была выше в более тонкой подстилке $T_{лиш}$ по сравнению с $T_{вор}$, при этом в августе и сентябре коэффициент вариации (CV , %) увеличивался двукратно по сравнению с самым теплым месяцем – июлем (рис. 5.6).

Июль:	CV%
$T_{\text{ЛИШ}} 14.8 \pm 0.2$	9.0
$T_{\text{ВОР}} 12.9 \pm 0.2$	7.0
Август:	CV%
$T_{\text{ЛИШ}} 11.1 \pm 0.4$	22.3
$T_{\text{ВОР}} 10.8 \pm 0.3$	17.7
Сентябрь:	CV%
$T_{\text{ЛИШ}} 5.9 \pm 0.2$	21.5
$T_{\text{ВОР}} 6.0 \pm 0.2$	20.3

Рис. 5.6 Значения коэффициента вариации (CV, %) средней ежемесячной температуры подстилок ($T_{\text{мес ср}}$) на участках горной тундры на площадке Ботанического цирка в разные месяцы вегетационного сезона 2016 г.

$T_{\text{ЛИШ}}$ – тундра лишайниковая, $T_{\text{ВОР}}$ – тундра вороничная.

В целом большая вариабельность температуры в подстилке $T_{\text{ЛИШ}}$ по сравнению с $T_{\text{ВОР}}$ определялась различиями в максимальных значениях температуры подстилок и, в меньшей степени, - различиями в ее минимальных значениях (рис. 5.7).

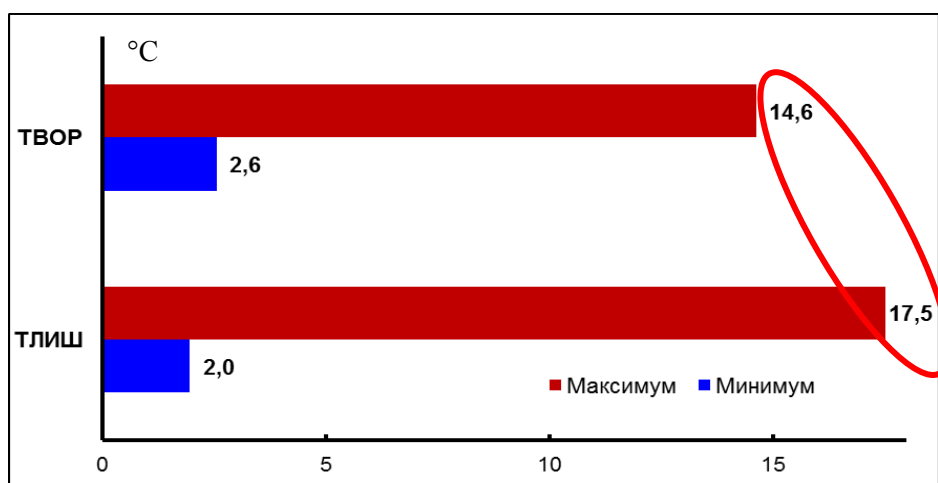


Рис. 5.7 Минимальные и максимальные значения температуры подстилок $T_{\text{ЛИШ}}$ и $T_{\text{ВОР}}$ за весь сезон 2016 года (106 сут.)

5.1.2 Суммы положительных и эффективных температур

В самом теплом месяце лета – июле оба участка горно-тундрового пояса ($T_{\text{ЛИШ}}$ и $T_{\text{ВОР}}$) характеризовались одинаковым числом дней с эффективной температурой в подстилах $\geq +10$ °C: по 31, т.е. такой прогрев подстилок наблюдался в горной тундре весь июль (рис. 5.8). В августе число теплых дней с $T_{\text{сум ср}} \geq +10$ °C уменьшилось до 22, и треть месяца (9-10 дней) составляли дни с $T_{\text{сум ср}} < +10$ °C. В сентябре $T_{\text{сум ср}} \geq +10$ °C в

подстилках уже не наблюдались, и на обоих участках горной тундры весь месяц составляли дни с $T_{сум_{ср}} < +10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

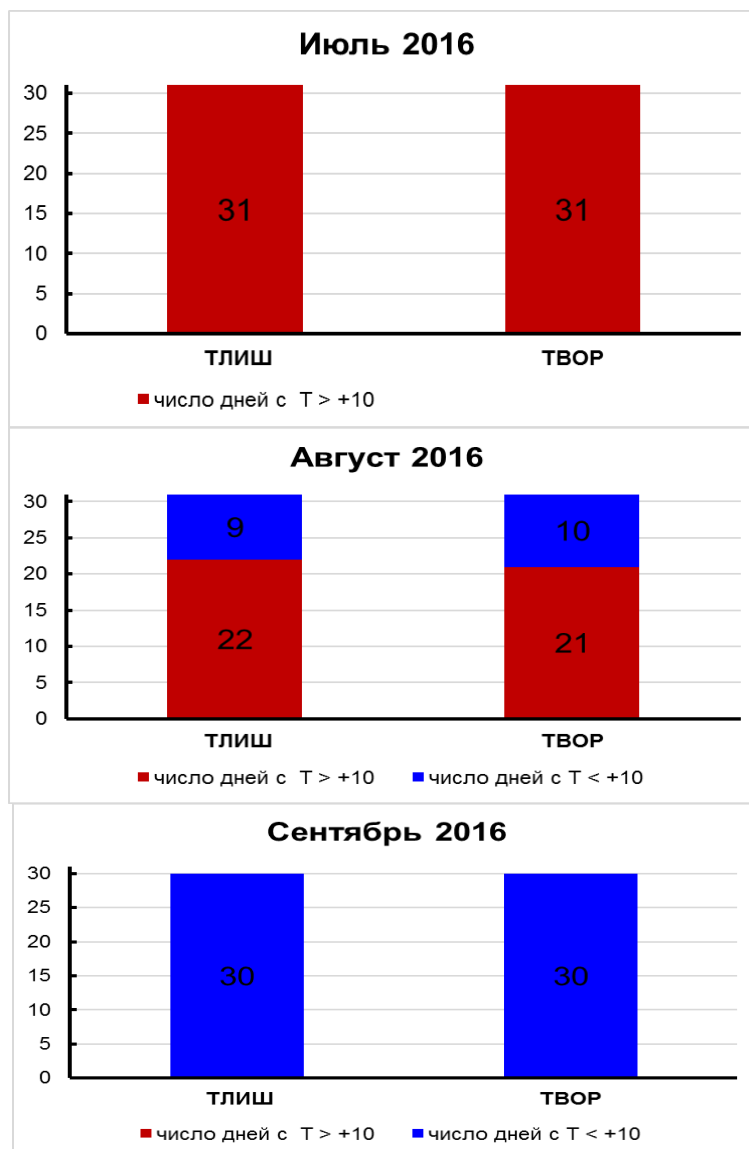


Рис. 5.8 Число дней с $T_{сум_{ср}} < +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_{сум_{ср}} \geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в подстилках горной тундры на площадке Ботанического цирка в июле, августе и сентябре 2016 (n суток 31, 31 и 30). *ТЛИШ* – тундра лишайниковая, *ТВОР* – тундра вороничная.

Несмотря на сходное для двух участков число суток с эффективными температурами $\geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $< +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в июле, августе и сентябре, сумма положительных температур ($\sum T_{сум_{ср}} > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) в каждый из этих месяцев была выше в подстилке тундры лишайниковой: на 56, 63 и 58 $^{\circ}\text{C}$ соответственно. При этом в июле атмосферный воздух прогревался лучше, чем подстилки ($\sum T_{сум_{ср}}$ воздуха за июль была на 82-138 $^{\circ}\text{C}$ выше, чем в подстилках), а на протяжении августа и сентября горно-тундровые подстилки лучше

сохраняли аккумулированное тепло. В более прогретой $T_{\text{ЛИШ}} \sum T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ в подстилке превышала таковую для атмосферного воздуха на 49 и 74 °С в августе и сентябре соответственно (рис. 5.9).

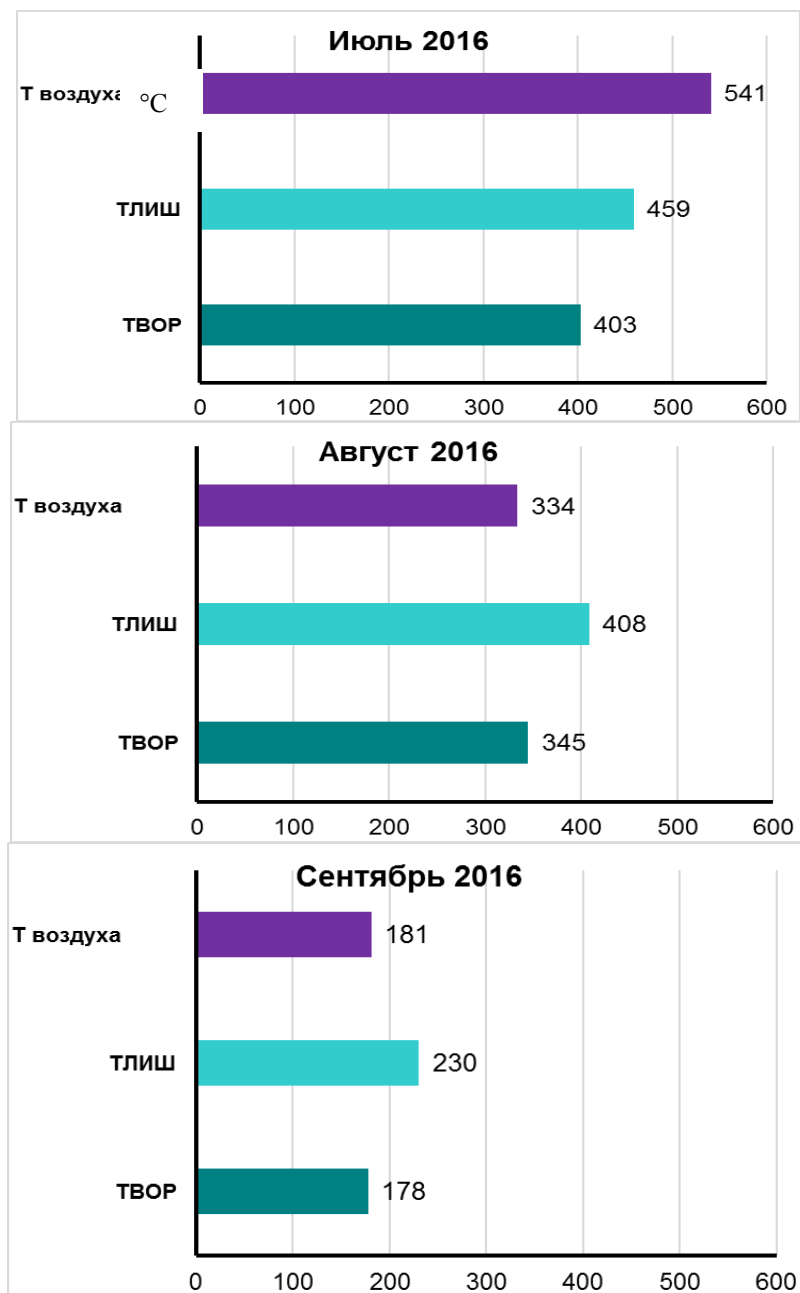


Рис. 5.9 Сумма среднесуточных температур подстилок на участках горной тундры на площадке Ботанического цирка и атмосферного воздуха (по данным метеостанции «Центральная») в июле, августе и сентябре 2016 г. $T_{\text{ЛИШ}}$ – тундра лишайниковая, $T_{\text{ТВОР}}$ – тундра вороничная.

В целом за период исследования 106 сут $\sum T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ в подстилках горной тундры составила 960-1100 °С, что было на 97-240 °С ниже по сравнению с $\sum T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ атмосферного воздуха (рис. 5.10). Подстилка $T_{\text{ТВОР}}$ уступала по этому показателю $T_{\text{ЛИШ}}$ на 143 °С.

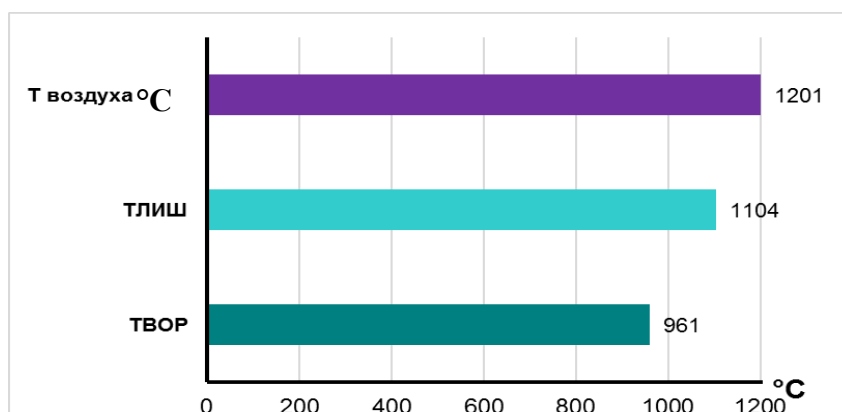


Рис. 5.10 Сумма среднесуточных температур ($\sum T_{сут_{ср}}$, °C) горно-тундровых подстилок на площадке Ботанического цирка и атмосферного воздуха (по данным метеостанции «Центральная») за период 22.06-05.10.16 (n сут = 106).

Таким образом, за исследованный период измерений с 22 июня по 5 октября (106 сут) 2016 года в поясе горной тундры на площадке Ботанического цирка наблюдались сходные среднелетние значения: 10.4 ± 0.4 °C на участке тундры лишайниковой и 9.6 ± 0.3 °C на участке тундры вороничной. Наблюдалась сходная летняя динамика среднесуточной температуры $T_{сут_{ср}}$ наибольший прогрев подстилок до $+14 \dots +17$ °C в июле и последующий постепенный осенний спад $T_{сут_{ср}}$ с 25 августа, которая к первым числам октября опустилась до $+2$ °C, а также увеличение variability в августе и сентябре (до 17-22%) по сравнению с июлем (7-9%), коэффициент корреляции был выше для покрова $T_{ЛИШ}$ ($r = 0.96$), чем $T_{ВОР}$ ($r = 0.94$).

В целом за исследованный период 106 суток участки горно-тундрового пояса характеризовались одинаковым числом дней с эффективными температурами подстилок $T_{сут_{ср}} \geq +10$ °C и $T_{сут_{ср}} < +10$ °C. В июле, августе число дней с эффективными температурами подстилок $T_{сут_{ср}} \geq +10$ °C составило 31 и 22 соответственно, а в сентябре эффективных температур не было зафиксировано. Число дней с $T_{сут_{ср}} < +10$ °C в июле не наблюдалось, в августе и сентябре составило 22-30 соответственно.

В первой половине вегетационного сезона подстилка $T_{ЛИШ}$ прогревалась лучше по сравнению с $T_{ВОР}$. Во второй половине вегетационного сезона эта разница нивелировалась.

При сравнении летней динамики среднесуточной температуры $T_{сут_{ср}}$ подстилок между двумя тундровыми участками различия оказались недостоверны, но они были достоверны для июля, на протяжении которых $T_{сут_{ср}}$ в подстилках $T_{ЛИШ}$ превышали таковую в $T_{ВОР}$ на $0,80-2,95$ °C против $1,53$ и $0,57$ °C в августе и сентябре.

Сумма среднесуточных температур $\sum T_{сут_{ср}}$ за 3 исследованных месяца (июль, август, сентябрь) в подстилках горных тундр была ниже по сравнению с $\sum T_{сут_{ср}}$ атмосферного воздуха: 961-1104 °С против 1201 °С, большие суммы в каждый из этих месяцев была выше в подстилке тундры лишайниковой: на 56, 63 и 58 °С.

5.2 Исследование температуры горнолесных и горно-тундровых подстилок в ущелье Скальное

5.2.1 Среднемесячные и среднелетние температуры горнолесных подстилок на склонах встречной экспозиции.

На протяжении периода измерений с 3 июля по 20 сентября 2017 года в поясе березового криволеся в ущелье Скальное среднесуточные значения температуры подстилок ($T_{сут\text{cp}}$) на глубине 5 см изменялись в диапазоне от +4 до +14 °С, составив в среднем за период измерений 80 сут (среднелетняя температура, $T_{лет\text{cp}}$) +10.1±0.3 °С на участке березового криволеся на склоне СЗ экспозиции ($BK_{СЗ}$, 392 м н.у.м.) и +9.5±0.2 °С на участке березового криволеся на склоне ЮВ экспозиции ($BK_{ЮВ}$, 390 м н.у.м.) (рис. 5.11). Различия среднелетних значений температуры подстилок на участках березового криволеся на склонах встречной экспозиции за период исследования 80 суток были недостоверны (табл. 5.3).

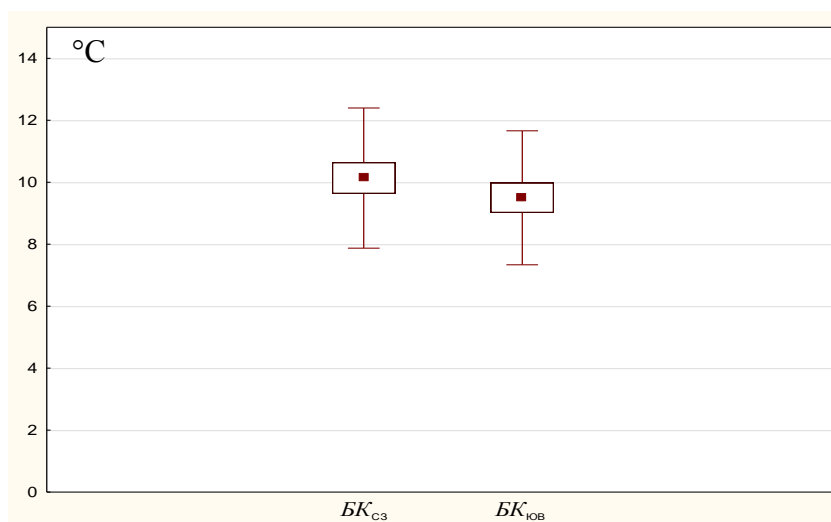


Рис. 5.11 Среднелетние значения температуры подстилки на участках березового криволеся на склонах встречной экспозиции в ущелье Скальное ($T_{лет\text{cp}}$ за период 80 сут, °С). Участки: $BK_{СЗ}$ – березовое криволеся кустарничковое на склоне северо-западной экспозиции, $BK_{ЮВ}$ – березовое криволеся кустарничково-травяно-моховое на склоне юго-восточной экспозиции.

Таблица 5.3 Значения t -критерия Стьюдента при сравнении среднелетней температуры подстилок ($T_{лет\text{cp}}$) между участками березового криволеся на склонах встречной экспозиции

Период / Участки	$BK_{СЗ} / BK_{ЮВ}$
июль–сентябрь 2017 (n = 80 сут)	1.82

Примечание. Различие достоверно при $t_{(158;0.05)} \geq 1.97$.

Различие в динамике температуры подстилок за период 80 сут между исследуемыми участками березового криволесья также было недостоверным ($F = 3.31$ при $p = 0.07$), что объяснялось ее сходным изменением на встречных склонах: наибольшим прогревом подстилок до $T_{сум_{ср}} +13 \dots +14$ °С на протяжении июля и до 22 августа (около 45 сут) при значениях $T_{сум_{ср}}$ атмосферного воздуха от +10 до +18 °С и последующим осенним спадом до +4 ...+5 °С к концу сентября, которое было связано с падением $T_{сум_{ср}}$ воздуха ниже пороговой величины +10 °С. С этой величины, то есть с 23 августа, отмечалась устойчивая разница (до 3.5 °С) между $T_{сум_{ср}}$ воздуха и подстилок в пользу последних, то есть они излучали тепло (рис. 5.12).

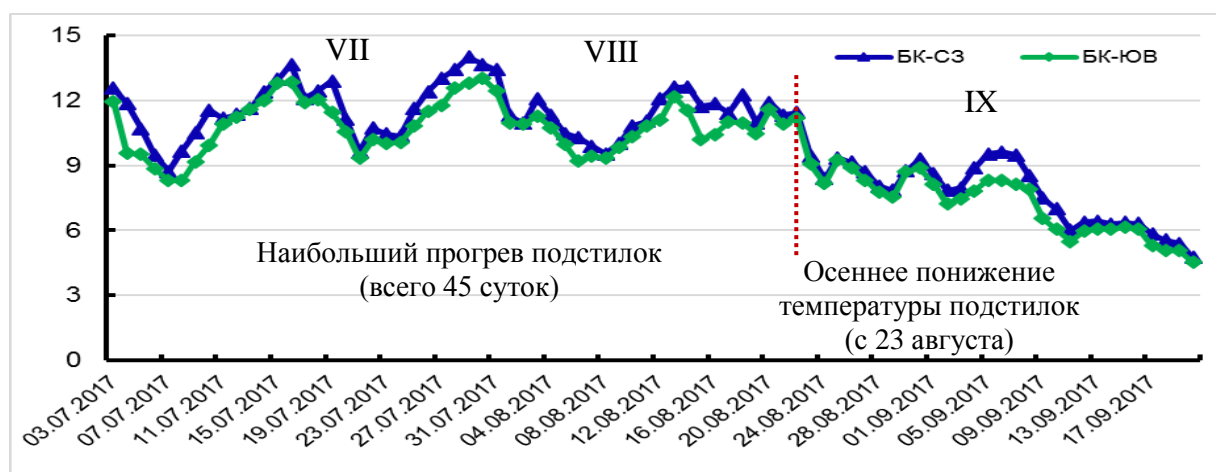


Рис. 5.12 Динамика среднесуточной температуры подстилок ($T_{сум_{ср}}$, °С) на участках березового криволесья на склонах встречной экспозиции в вегетационный сезон 2017 года ($n = 80$ сут). BK_{C3} – березовое криволесье кустарничковое, северо-западная экспозиция, $BK_{ЮВ}$ – березовое криволесье кустарничково-травяно-моховое, юго-восточная экспозиция.

Наибольший прогрев подстилки на обоих участках березового криволесья ($T_{сум_{max}}$) до +13...+16 °С зарегистрирован 16.07, 28.07 и 29.07 при прогреве атмосферного воздуха в эти дни до +20, +24 и +22 °С соответственно (рис. 5.13).

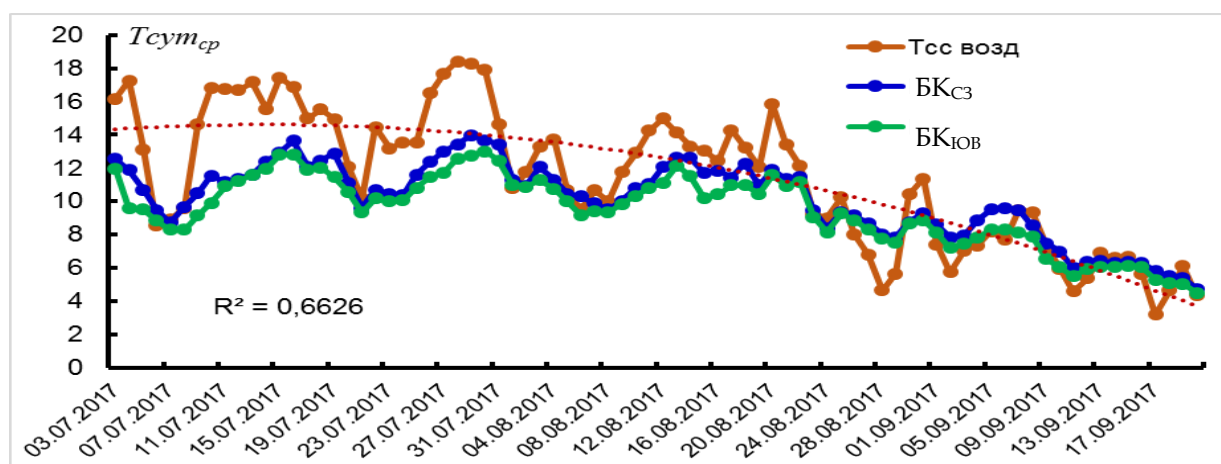


Рис. 5.13 Сравнение летней динамики среднесуточной температуры атмосферного воздуха и подстилок ($T_{сум\,ср}$, °С) на участках березового криволеся на склонах встречной экспозиции в июле-сентябре 2017 года.

Примечательно, что на склоне СЗ экспозиции максимальный прогрев горнолесной подстилки в июле, августе и сентябре регистрировался в полуденные часы (12:00 - 14:00), а на склоне ЮВ экспозиции – с запаздыванием на 4-8 часов (14:00 - 20:00), причем температуры максимального прогрева подстилки в $БК_{ЮВ}$ смещались от вечерних часов (18:00 - 20:00) в июле на более раннее время (околополуденное, 12:00 - 16:00) в августе, а в сентябре снова регистрировались в конце дня в 18:00 (рис. 5.13, табл. 5.4).

Таблица 5.4 Максимальный прогрев для подстилок березового криволеся на склонах встречной экспозиции и атмосферного воздуха.

Атмосферный воздух			Подстилка $БК_{СЗ}$			Подстилка $БК_{ЮВ}$		
Дата	Время	$T_{сум\,max}$, °С	Дата	Время	$T_{сум\,max}$, °С	Дата	Время	$T_{сум\,max}$, °С
15.07.2017	15:00	+19.8	15.07.2017	16:00	+13.9	15.07.2017	20:00	+14.6
16.07.2017	15:00	+20.4	16.07.2017	12:00	+16.7	16.07.2017	20:00	+14.9
29.07.2017	15:00	+22.0	29.07.2017	12:00	+17.2	29.07.2017	18:00	+14.1
30.07.2017	15:00	+20.6	30.07.2017	12:00	+15.4	30.07.2017	20:00	+14.4
01.08.2017	15:00	+10.8	01.08.2017	14:00	+11.7	01.08.2017	14:00	+11.3
03.08.2017	15:00	+16.2	03.08.2017	12:00	+15.4	03.08.2017	16:00	+12.0
13.08.2017	15:00	+14.6	13.08.2017	14:00	+14.4	13.08.2017	12:00	+14.2
05.09.2017	15:00	+16.1	05.09.2017	14:00	+11.8	05.09.2017	18:00	+10.0
06.09.2017	15:00	+16.5	06.09.2017	12:00	+12.0	06.09.2017	18:00	+10.1
07.09.2017	15:00	+15.2	07.09.2017	12:00	+11.5	07.09.2017	18:00	+9.7

Примечание: максимальный прогрев воздуха регистрировался в 15:00 на метеостанции «Центральная».

В августе различия между атмосферным воздухом и подстилками нивелировались за счет более быстрого охлаждения воздуха и аккумуляции тепла в подстилках, причем тепла поступало меньше в августе по сравнению с июлем, что определило выравнивание среднесуточных температур и сглаживание амплитудных колебаний в подстилках обоих участков.

В сентябре максимальные значения внутрисуточных температур ($T_{сут_{max}}$) в подстилках не превышали таковых для воздуха (рис. 5.14, табл. 5.5). Минимальные значения $T_{сут_{cp}}$ в горнолесных подстилках (+4.7 °C в BK_{C3} и +4.5 °C в $BK_{ЮВ}$) наблюдались 20.09 числа при $T_{сут_{cp}}$ атмосферного воздуха +4.4 °C.

В целом динамика $T_{сут_{cp}}$ подстилок на протяжении 80 сут определялась динамикой температуры атмосферного воздуха, что подтверждается достоверными и высокими значениями коэффициента корреляции: $r = 0.92$ для BK_{C3} и $r = 0.91$ для $BK_{ЮВ}$. Неполная корреляция объясняется тем, что $T_{сут_{cp}}$ атмосферного воздуха превышала таковую в подстилках на 3-4 °C на протяжении июля (на 3-4 °C) и августа (на 0.9-1.0 °C), однако с 23 августа сменялась обратной тенденцией: среднесуточная температура горнолесных подстилок для большинства суток превышала $T_{сут_{cp}}$ атмосферного воздуха (рис. 5.14).

При сравнении динамики температуры подстилок между участками BK_{C3} и $BK_{ЮВ}$ в каждый из месяцев вегетационного сезона (июль, август, сентябрь) различия между участками березового криволеся на склонах встречной экспозиции оказались достоверны только в самом теплом месяце – июле ($F = 4.20$ при $p = 0.05$), когда подстилка BK_{C3} прогревалась на 0.9 °C лучше по максимальным зарегистрированным среднесуточным (до +13.9 °C против +13.0 °C в $BK_{ЮВ}$) и внутрисуточным (до +17 °C против +14 °C) значениям температуры, а разница в сумме температур за этот месяц составляла между участками березового криволеся на склонах встречной экспозиции 23 °C.

В августе и сентябре различия в динамике температуры подстилки между участками березового криволеся на склонах встречной экспозиции были недостоверны: $F \leq 2.14$ при $p \geq 0.15$ (табл. 5.8) за счет меньшего прогрева и сглаживания амплитудных колебаний в BK_{C3} по сравнению с июлем (рис. 5.20). По максимальным среднесуточным значениям за август подстилка BK_{C3} была теплее, чем в $BK_{ЮВ}$ на 0.4 °C (+12.6 °C против 12.1 °C), а в сентябре эта разница возросла до 1.2 °C: +9.6 °C против +8.3 °C в $BK_{ЮВ}$.

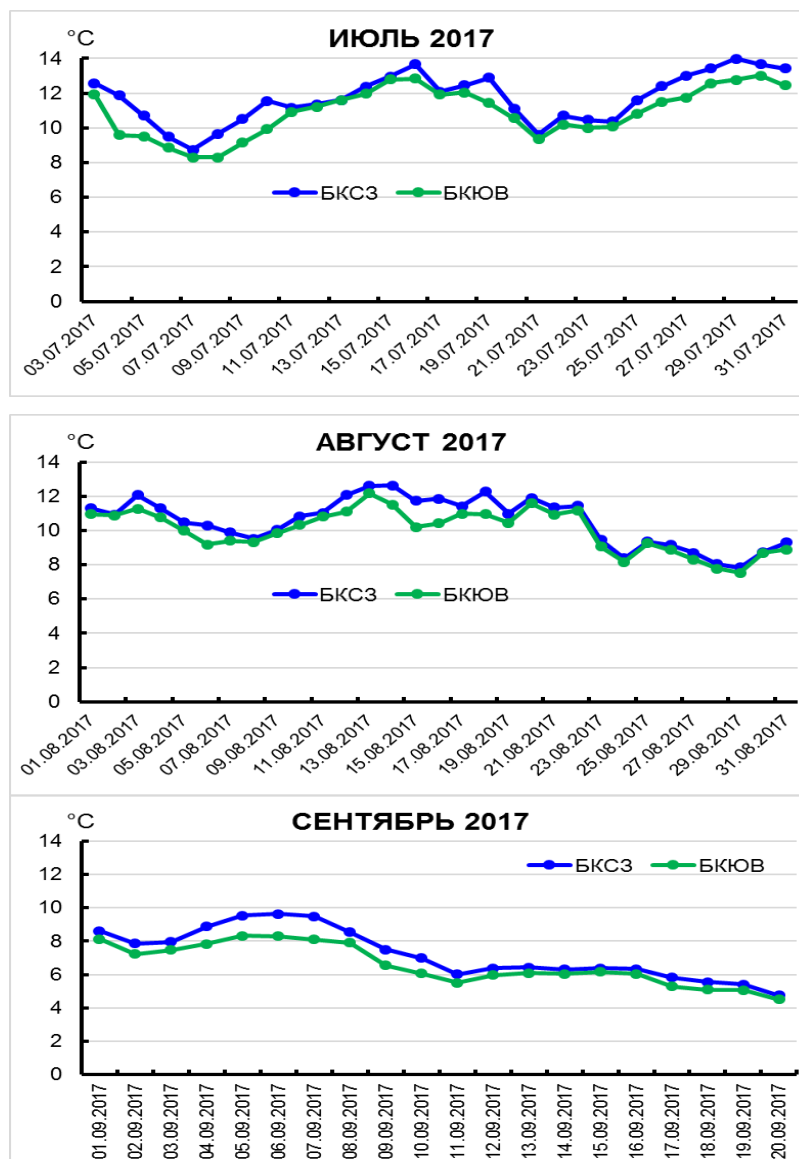


Рис. 5.14 Динамика среднесуточной температуры подстилок ($T_{сут_{ср}}$, °C) на участках березового криволеся на склонах встречной экспозиции в разные месяцы вегетационного сезона 2017 г.

Таблица 5.5 Значения критерия Фишера (F) и уровня значимости (p) при сравнении динамики среднесуточной температуры подстилок $T_{сут_{ср}}$ между участками $БК_{СЗ}$ и $БК_{ЮВ}$ в летние месяцы 2017 г. (однофакторный дисперсионный анализ ANOVA).

Месяц / Сравнимые участки	$БК_{СЗ} / БК_{ЮВ}$
Июль 2017	$F = 4.20, p = 0.05$
Август 2017	$F = 2.44, p = 0.12$
Сентябрь 2017	$F = 2.14, p = 0.15$

Примечание. Различия достоверны при $F_{табл(30;0.05)} = 4.17$.

Средняя за каждый из месяцев температура подстилок (средняя ежемесячная, $T_{мес\text{ср}}$, °С) в $БК_{СЗ}$ во все исследованные месяцы превышала таковую в $БК_{ЮВ}$: +11.7 °С и +10.9 °С в июле, +10.5 °С и +10.0 °С в августе, +7.2 и +6.6 °С в сентябре (рис. 5.15), однако достоверными эти различия были только в июле, как и для динамики температуры (табл. 5.6).

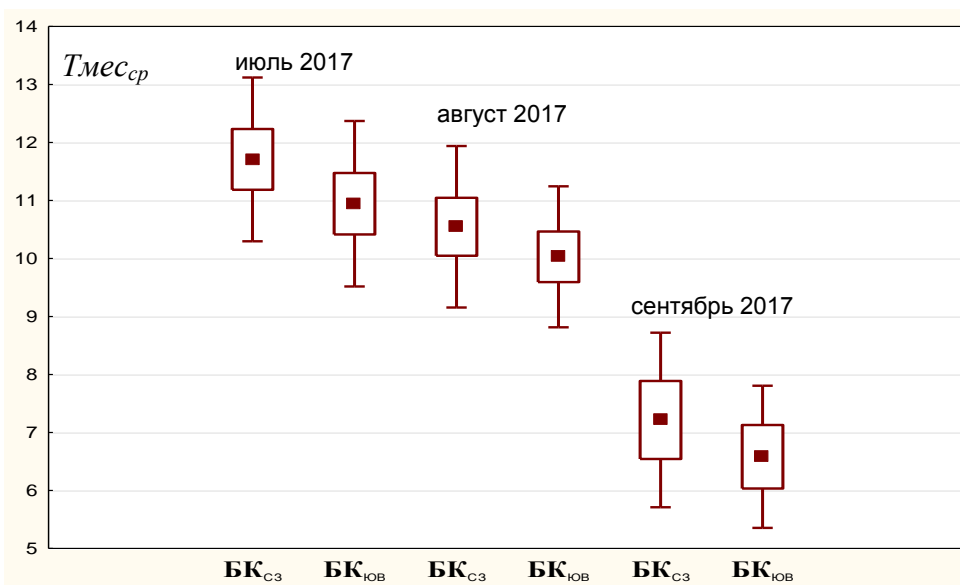


Рис. 5.15 Средние ежемесячные значения температуры подстилок ($T_{мес\text{ср}}$, °С) на участках березового криволесья на склонах встречной экспозиции в разные месяцы вегетационного сезона 2017 г.

Таблица 5.6 Значения t -критерия Стьюдента при сравнении средних ежемесячных значений температуры подстилок $T_{мес\text{ср}}$ между участками березового криволесья на склонах встречной экспозиции в разные месяцы вегетационного сезона.

Месяц / Сравнимые участки	$БК_{СЗ} / БК_{ЮВ}$
Июль 2017	2.05
Август 2017	1.56
Сентябрь 2017	1.46

Примечание. Различия достоверны при $t_{(60;0.05)} \geq 2.10$.

Следовательно, значение критериев Стьюдента и Фишера показывают достоверное влияние фактора экспозиции склона на различие величины и динамики среднесуточных температур в подстилках в самый теплый месяц вегетационного сезона, когда подстилка березового криволесья на склоне СЗ экспозиции прогревалась достоверно лучше по сравнению с подстилкой на встречном склоне ЮВ экспозиции. В августе (начиная с 23 числа) и до конца сентября фактор экспозиции перестает быть значимым для различий в величине и динамике среднесуточных температур горнолесных подстилок.

В целом снижение $T_{мес_{cp}}$ в августе по сравнению с июлем составило в подстилках двух участков березового криволеся 0.3-0.9 °С, в сентябре по сравнению августом около 3.3–3.4 °С и по сравнению с июлем около 4.3-4.4 °С. Оба участка остывали к осени со сходной интенсивностью, но в подстилках $БК_{СЗ}$ было накоплено большее количество тепла в июле – середине августа. Осеннее снижение $T_{мес_{cp}}$ атмосферного воздуха было выражено более резко по сравнению с лесными подстилками и составило 3.5 °С в августе относительно июля, 4.9 °С в сентябре относительно августа и 8.4 °С по сравнению с июлем.

Вариабельность температуры в лесных подстилках на обоих склонах в июле и августе была сходной: 12-13%, а в целом за исследованный период составила около 22% (рис. 5.16).

	Июль:	CV%
$БК_{СЗ}$	11.7±0.3	12.1
$БК_{ЮВ}$	10.9±0.3	13.0
	Август:	CV%
$БК_{СЗ}$	10.5±0.3	13.2
$БК_{ЮВ}$	10.0±0.2	12.1
	Сентябрь:	CV%
$БК_{СЗ}$	7.2±0.3	20.9
$БК_{ЮВ}$	6.6±0.3	18.6
	80 суток:	CV%
$БК_{СЗ}$	10.1±0.2	22.3
$БК_{ЮВ}$	9.5±0.2	22.8

Рис. 5.16 Значения коэффициента вариации (CV, %) средней ежемесячной ($T_{мес_{cp}}$) и среднелетней ($T_{лет_{cp}}$) температуры в подстилках березового криволеся на склонах встречной экспозиции.

Различия в вариабельности температуры в подстилках двух участков БК в целом за сезон определялись различиями в максимальных значениях температуры (разница составила 1.0 °С) и, в меньшей степени, - различиями в ее минимальных значениях (0.3 °С). Различия между минимальными и максимальными значениями $T_{лет_{cp}}$ составили 9.2 °С на участке березового криволеся СЗ экспозиции и 8.5 °С на участке березового криволеся ЮВ экспозиции (рис. 5.17).

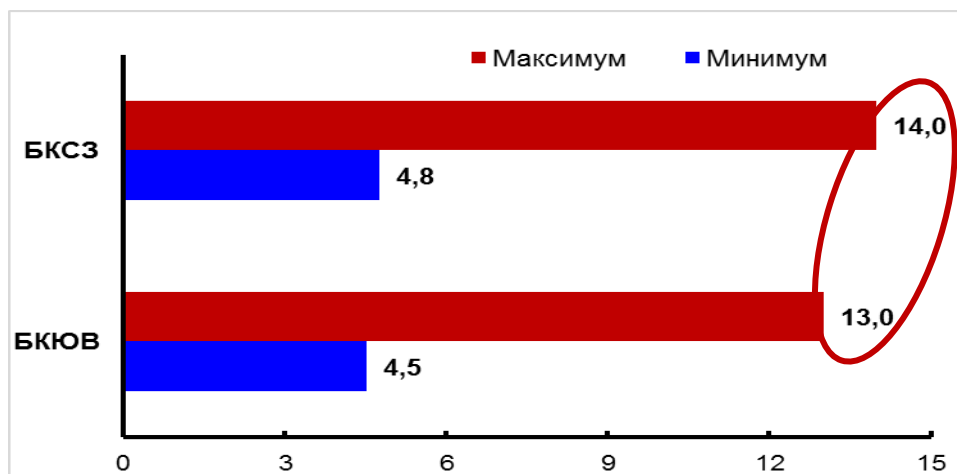
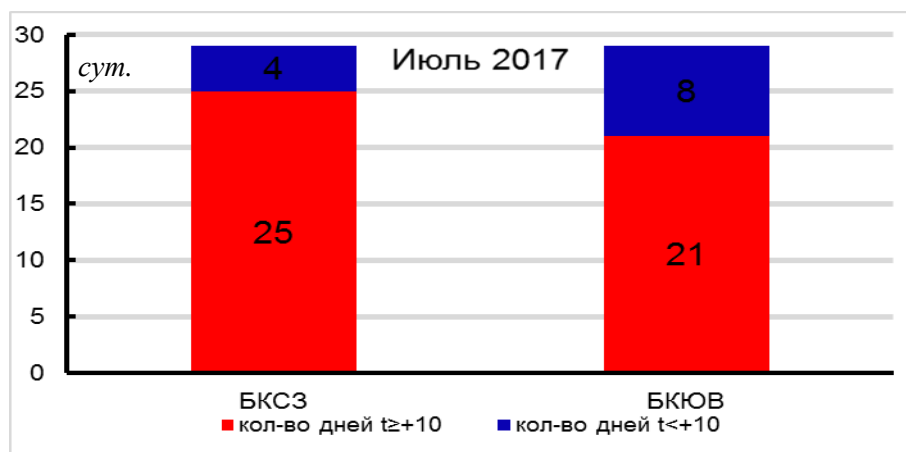


Рис. 5.17 Минимальные и максимальные среднелетние значения температуры ($T_{лет\text{cp}}$) в подстилках березового криволеся на склонах встречной экспозиции за исследованный период 2017 года (80 сут.).

5.2.2 Суммы положительных и эффективных температур в горнолесных подстилках

В самом теплом месяце лета – июле участок $БК_{СЗ}$ характеризовался большим числом дней с эффективной температурой в подстилках $\geq +10$ °C по сравнению с $БК_{ЮВ}$: 25 дней против 21. Число дней с $T_{сут\text{cp}} < +10$ °C составило на этих участках 4 и 8 суток соответственно (рис. 5.18). В августе число теплых дней с $T_{сут\text{cp}} \geq +10$ °C уменьшилось до 20 в $БК_{СЗ}$ и 17 в $БК_{ЮВ}$, и 11-14 суток составляли дни с $T_{сут\text{cp}} < +10$ °C. В сентябре $T_{сут\text{cp}} \geq +10$ °C в подстилках уже не наблюдались, и на обоих участках березового криволеся весь месяц составляли дни с $T_{сут\text{cp}} < +10$ °C.



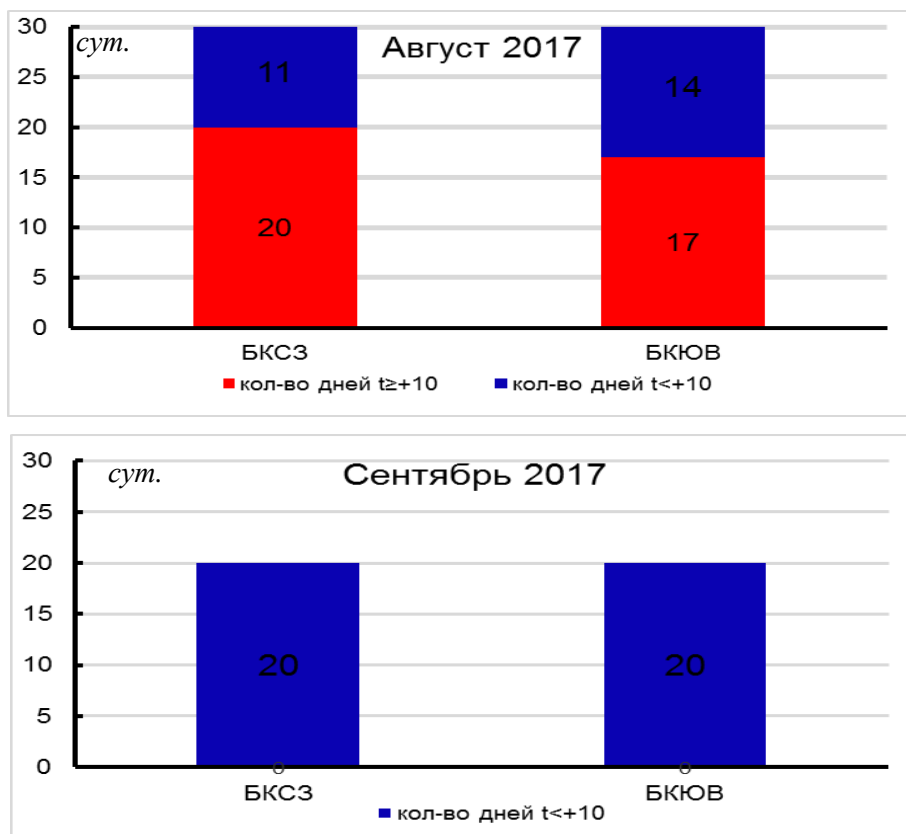
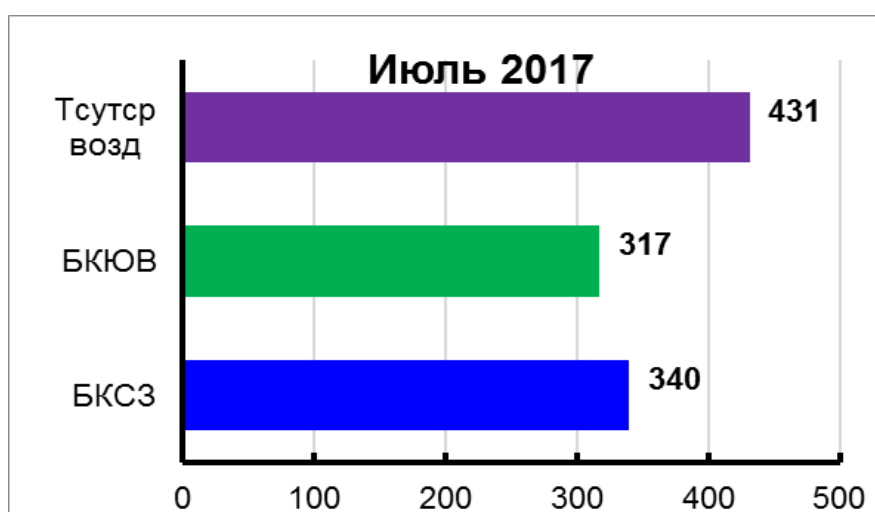


Рис. 5.18 Число дней с $T_{сут_{cp}} \geq +10$ °C и $< +10$ °C в подстилках березового криволеся на склонах встречной экспозиции в июле, августе и сентябре 2017 (n суток 29, 31 и 20).

В результате большего числа суток с эффективными температурами $\geq +10$ °C в июле и августе и несмотря на сходное для двух участков число суток с $T_{сут_{cp}} < +10$ °C в сентябре, сумма положительных температур ($\sum T_{сут_{cp}} > 0$ °C) в каждый из этих месяцев была выше в подстилке БКсз: на 23, 16 и 12 °C соответственно (рис. 5.19).



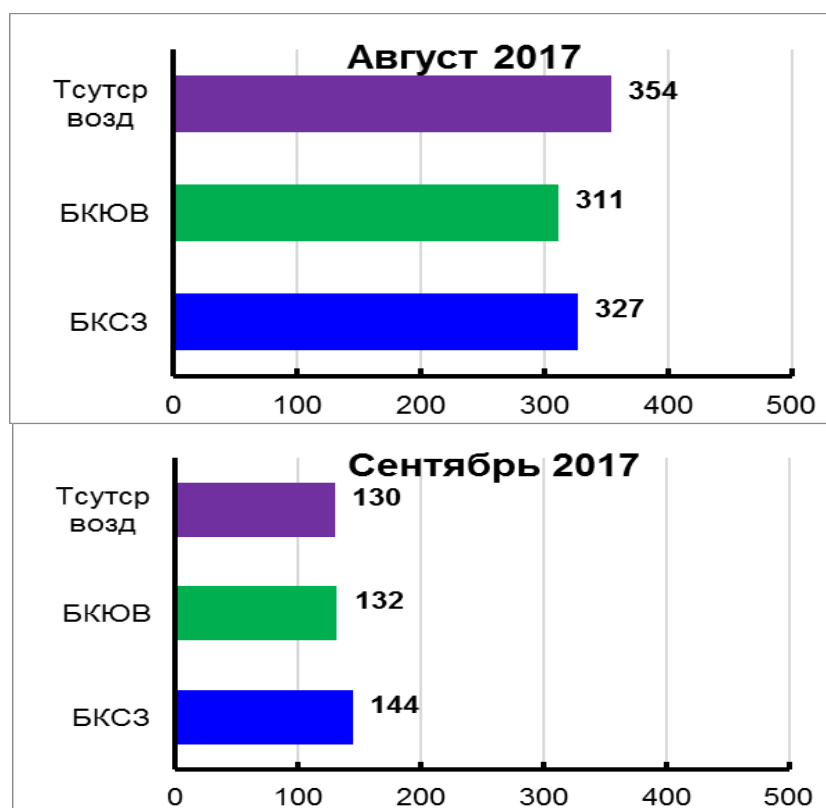


Рис. 5.19 Сумма среднесуточных температур атмосферного воздуха (по данным метеостанции «Центральная») и подстилок на участках березового криволеся на склонах встречной экспозиции в июле, августе и сентябре 2017 г.

При этом в июле и августе атмосферный воздух прогревался лучше лесных подстилок ($\sum T_{сут_{cp}}$ воздуха за июль была выше на 91-114 °С, в августе - на 27-43 °С), а на протяжении сентября подстилки березового криволеся дольше удерживали тепло и $\sum T_{сут_{cp}}$ в них превышала таковую для атмосферного воздуха на 16 и 2 °С соответственно.

Таким образом, сумма положительных температур в горнолесных подстилках в сезонной динамике в значительной степени определяется динамикой прогрева атмосферного воздуха.

В целом за период исследования 80 сут $\sum T_{сут_{cp}}$ в лесных подстилках на склонах встречной экспозиции составила 759-811 °С, что было на 104-156 °С ниже по сравнению с $\sum T_{сут_{cp}}$ атмосферного воздуха (рис. 5.20). Подстилка *БКЮВ* уступала по этому показателю *БКСЗ* на 52 °С.

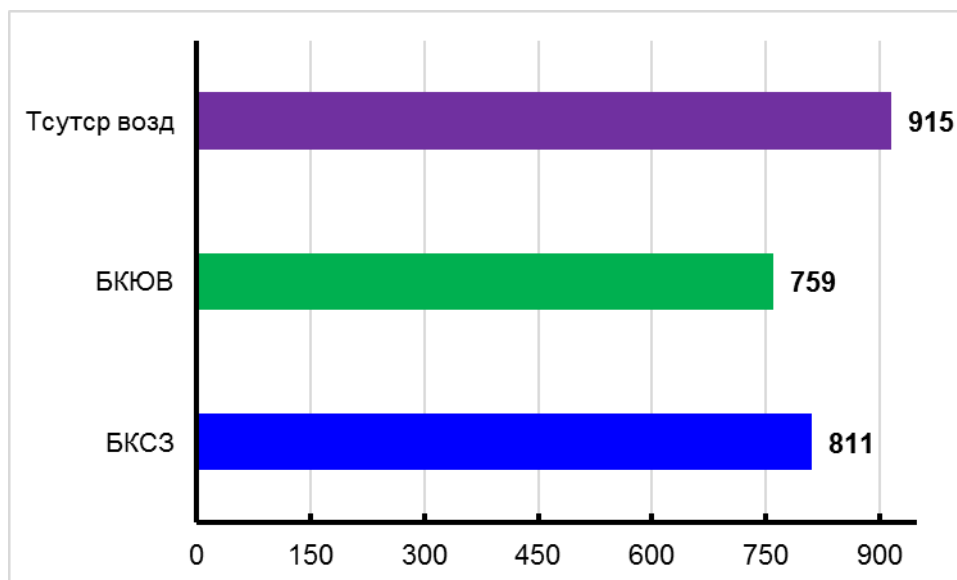


Рис. 5.20 Сумма среднесуточных температур ($\sum T_{сум\text{ср}}$, °C) атмосферного воздуха (по данным метеостанции «Центральная») и подстилок березового криволеся на склонах встречной экспозиции за период 03.07. -20.09.17 (n сут = 80).

5.2.3 Среднемесячные и среднелетние температуры подстилок в высотных поясах

В пределах склона СЗ экспозиции в подстилке горной тундры на высоте 510 м ($T_{\text{ЛИШ-СЗ}}$) диапазон $T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ на протяжении периода измерений с 3 июля по 20 сентября 2017 г. совпадал с таковым в подстилке расположенного на высоте 392 м пояса березового криволеся: от +3 до +13 °С против +4 до +14 °С в $BK_{\text{СЗ}}$. В сезонной динамике наибольший прогрев подстилки в разных поясах одного склона был отмечен 16.07, 28.07 и 29.07, как и на участке березового криволеся на склоне ЮВ экспозиции (рис. 5.21).

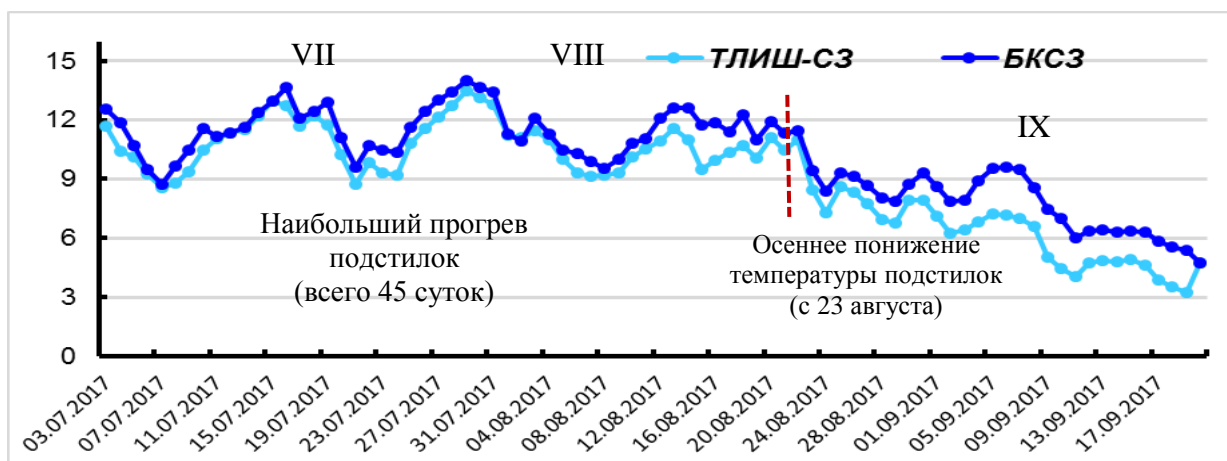


Рис. 5.21 Динамика среднесуточной температуры подстилок ($T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$, °С) на участках горной тундры и березового криволеся на склоне СЗ экспозиции в вегетационный сезон 2017 года ($n = 80$ сут).

Различие в динамике температуры подстилок $T_{\text{ЛИШ-СЗ}}$ и $BK_{\text{СЗ}}$ за период 80 суток было достоверным BK ($F = 7.31$ при $p = 0.01$), как и для склона ЮВ экспозиции и объяснялось лучшим прогревом подстилки березового криволеся на склоне СЗ экспозиции, как по сравнению с выше лежащей горной тундрой, так и с криволесем на склоне встречной экспозиции.

Коэффициент корреляции динамики $T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ подстилок и атмосферного воздуха на протяжении 80 суток был равным для горной тундры на склоне СЗ экспозиции и участков березового криволеся: $r = 0.92$.

На протяжении июля и по 22 августа $T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ атмосферного воздуха превышала таковую в подстилках горно-тундрового пояса, как и горнолесного. Но начиная с 7 сентября, $T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ подстилки горно-тундрового пояса не поднималась выше $T_{\text{сут}_{\text{cp}}}$ атмосферного воздуха, тогда как подстилки горнолесного пояса на обоих склонах были теплее воздуха и, следовательно, излучали тепло (рис. 5.22).

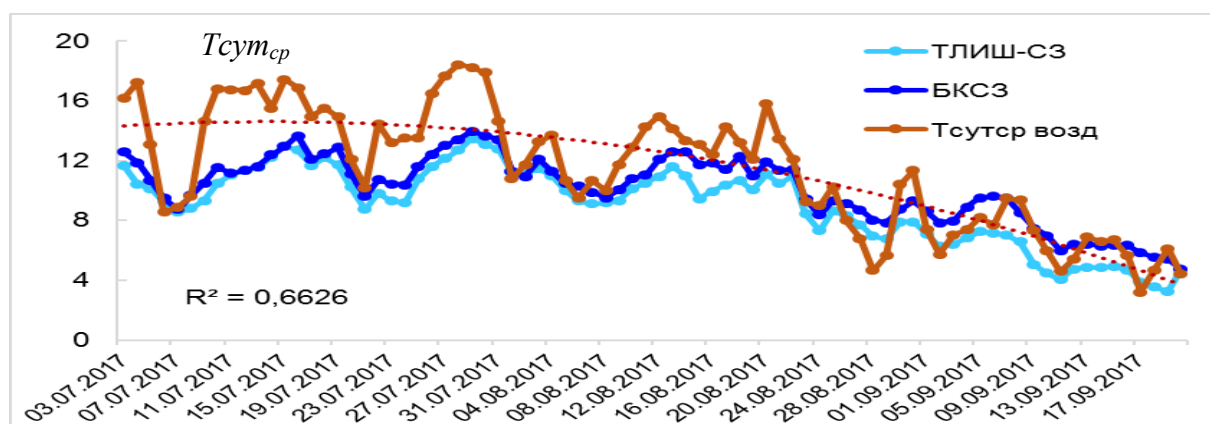


Рис. 5.22 Сравнение летней динамики среднесуточной температуры подстилки ($T_{сумср}$, °C) на участках березового криволеся и горной тундры на склоне С3 экспозиции и среднесуточной температуры атмосферного воздуха в июле-сентябре 2017 года.

На протяжении всего периода исследования с июля по август максимальные внутрисуточные значения температуры ($T_{сумmax}$) в подстилке горной тундры запаздывали по сравнению с горнолесным участком на одноименном склоне (до 16:00–18:00 часов против 12:00–14:00 часов в BK_{C3}), но в меньшей степени по сравнению с горнолесным участком на склоне встречной экспозиции (18:00 - 20:00). Это свидетельствует о большем влиянии фактора «экспозиция склона» на различие в суточной динамике и интенсивности прогрева горных подстилок по сравнению с фактором высотной поясности.

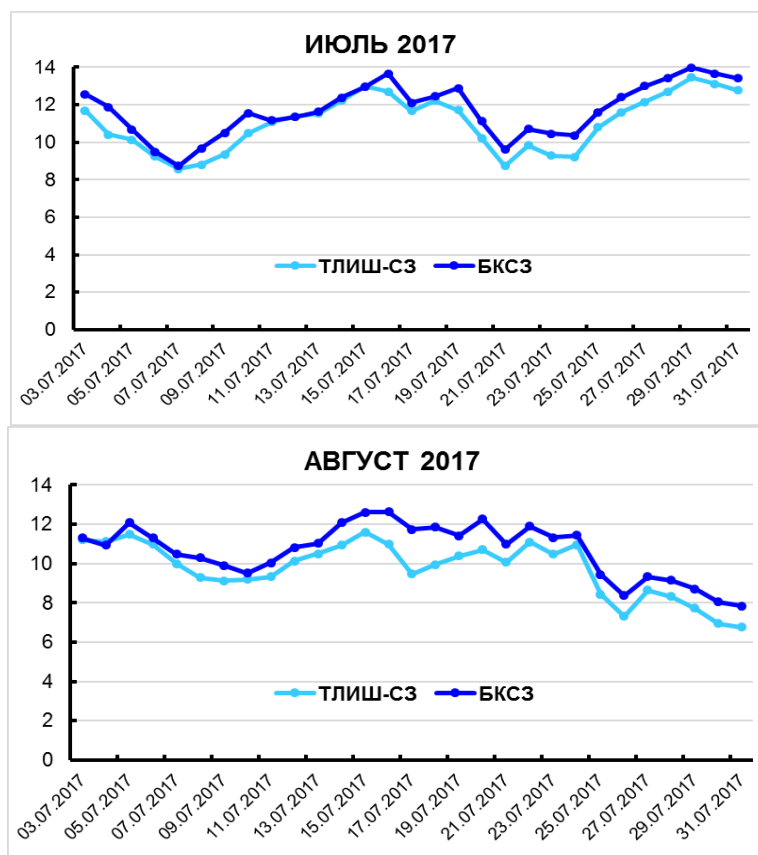
Таблица 5.7 Максимальный прогрев атмосферного воздуха и подстилки в поясах березового криволеся и горной тундры на склоне С3 экспозиции.

Атмосферный воздух			Подстилка BK_{C3}			Подстилка $T_{ЛИШ-С3}$		
Дата	Время	$T_{сумmax}$, °C	Дата	Время	$T_{сумmax}$, °C	Дата	Время	$T_{сумmax}$, °C
15.07.2017	15:00	+19.8	15.07.2017	16:00	+13.8	15.07.2017	16:00	+14.0
16.07.2017	15:00	+20.4	16.07.2017	12:00	+16.7	16.07.2017	18:00	+13.5
29.07.2017	15:00	+22.0	29.07.2017	12:00	+17.2	29.07.2017	16:00	+15.1
30.07.2017	15:00	+20.6	30.07.2017	12:00	+15.4	30.07.2017	18:00	+13.7
01.08.2017	15:00	+10.8	01.08.2017	14:00	+11.7	01.08.2017	14:00	+11.5
03.08.2017	15:00	+16.2	03.08.2017	12:00	+15.4	03.08.2017	14:00	+12.5
13.08.2017	15:00	+14.6	13.08.2017	14:00	+14.4	13.08.2017	14:00	+13.2
05.09.2017	15:00	+16.1	05.09.2017	14:00	+11.8	05.09.2017	16:00	+8.6
06.09.2017	15:00	+16.5	06.09.2017	12:00	+12.0	06.09.2017	16:00	+8.8
07.09.2017	15:00	+15.2	07.09.2017	12:00	+11.5	07.09.2017	16:00	+8.4

Примечание: максимальный прогрев воздуха регистрировался в 15:00 на метеостанции «Центральная»

В целом из трех исследованных участков ущелья Скальное (*БК_{С3}*, *БК_{ЮВ}* и *Т_{ЛИШ-С3}*) наибольшее запаздывание в сроках максимального прогрева подстилки было зафиксировано на участке березового криволеся на склоне ЮВ экспозиции в июле (5 часов против 1-3), но максимальные значения температуры в сентябре были выше на участках березового криволеся, чем в тундре, за счет их лучшего прогрева в июле и сохранения накопленного тепла осенью под покровом леса.

При сравнении динамики среднесуточной температуры в подстилках горной тундры (*Т_{ЛИШ-С3}*) и березового криволеся (*БК_{С3}*) в каждый из месяцев вегетационного сезона (июль, август, сентябрь) различия между высотными поясами оказались достоверными во все месяцы за счет лучшего прогрева подстилки *БК_{С3}*: на 0.5 °С по максимальным значениям за июль (до +14.0 °С против +13.5°С в *Т_{ЛИШ-С3}*), на 1.0 °С в августе (до +12.6 °С против +11.6°С) и на 2.4 °С в сентябре (до +9.6 °С против +7.3 °С). Увеличение различий между высотными поясами одного склона к осени было связано с более быстрым охлаждением подстилки горно-тундрового пояса по сравнению с горнолесным поясом. Подстилка березового криволеся на встречном склоне также была достоверно теплее, чем в горно-тундровом поясе (рис. 5.23, табл. 5.7).



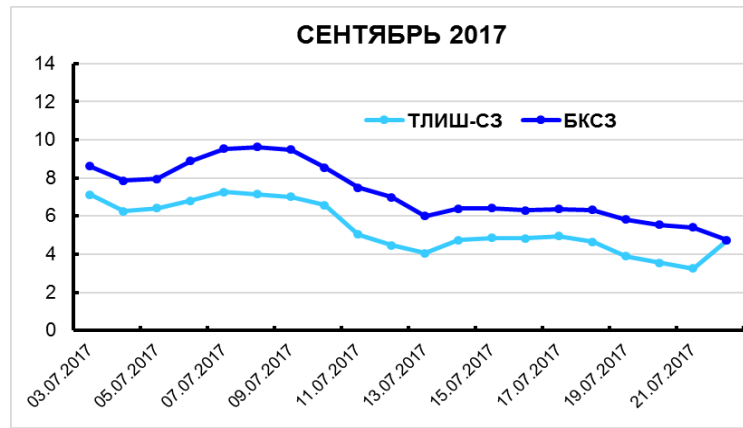


Рис. 5.23 Динамика среднесуточной температуры подстилок ($T_{сут_{ср}}$, °C) на участках березового криволеся и горной тундры на склоне СЗ экспозиции в разные месяцы вегетационного сезона 2017 г.

Таблица 5.7 Значения критерия Фишера (F) и уровня значимости (p) при сравнении динамики среднесуточной температуры подстилок $T_{сут_{ср}}$ между участками березового криволеся и горной тундры на склоне СЗ экспозиции в летние месяцы 2017 г. (однофакторный дисперсионный анализ ANOVA)

Месяц / Сравнимые участки	$BK_{СЗ} / T_{лиш-сз}$
Июль 2017	$F = 3.10, p = 0.08$
Август 2017	$F = 6.36, p = 0.01$
Сентябрь 2017	$F = 16.95, p = 0.0002$

Примечание. Различия достоверны при $F_{табл (0.05)} = 3.30$.
Жирным выделены достоверные различия.

В данном случае значения коэффициента Фишера показывают достоверное влияние фактора высотной поясности на различие температурной динамики в горных подстилках одного склона: в $BK_{СЗ}$ достоверно теплее на протяжении трех месяцев вегетационного сезона по сравнению с $T_{лиш-сз}$.

Среднелетняя температура подстилки за период измерений 80 сут ($T_{лет_{ср}}$) в $T_{лиш-сз}$ была достоверно ниже, чем в поясе $BK_{СЗ}$: $+9.1 \pm 0.3$ °C против $+10.1 \pm 0.3$ °C (рис. 5.24, табл. 5.8). При этом среднелетние температуры подстилок $T_{лиш-сз}$ и $BK_{ЮВ}$ достоверно не отличались.

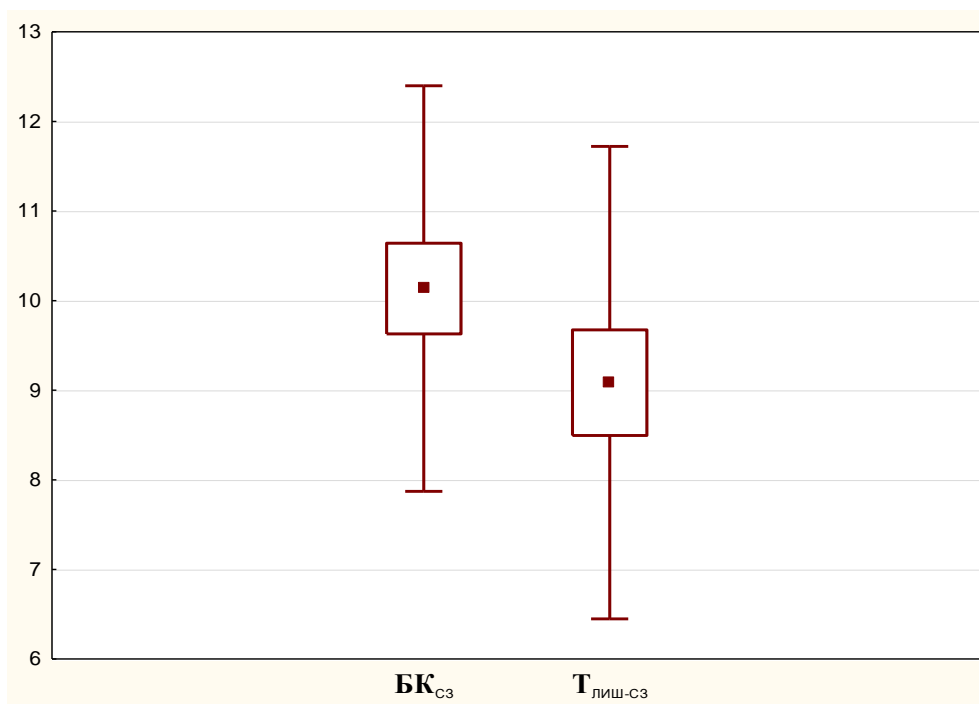


Рис. 5.24 Среднелетние значения температуры подстилки на участках березового криволесья и горной тундры на склоне СЗ экспозиции в ущелье Скальное ($T_{лет_{ср}}$ за период 80 сут, °С). Участки: BK_{C3} – березовое криволесье кустарничковое на склоне северо-западной экспозиции, $T_{лиш-СЗ}$ – тундра лишайниковая на этом же склоне.

Таблица 5.8 Значения t -критерия Стьюдента при сравнении среднелетних значений температуры подстилок ($T_{лет_{ср}}$) между участками березового криволесья и горной тундры на склоне СЗ экспозиции

Период / Высотные пояса	$BK_{C3} / T_{лиш-СЗ}$
июль–сентябрь 2017 (n = 80 сут)	2.70

Примечание. Различие достоверно при $t_{(158;0.05)} \geq 1.97$.

Средняя за каждый из месяцев температура (средняя ежемесячная, $T_{мес_{ср}}$) в подстилках BK_{C3} и $T_{лиш-СЗ}$ в июле была сходной: +11.7 °С и +11.4 °С (различия недостоверны), а в августе в подстилке BK_{C3} достоверно превышала таковую и в $T_{лиш-СЗ}$, и в $BK_{ЮВ}$: +10.5 °С против +9.6 и +10.0 °С. В сентябре эти различия были выражены еще сильнее из-за более быстрого осеннего охлаждения подстилки в горной тундре. $T_{мес_{ср}}$ составила +7.2 °С в подстилке BK_{C3} , +6.6 °С в $BK_{ЮВ}$ и лишь +5.3 °С в $T_{лиш-СЗ}$ (рис. 5.25., табл. 5.9).

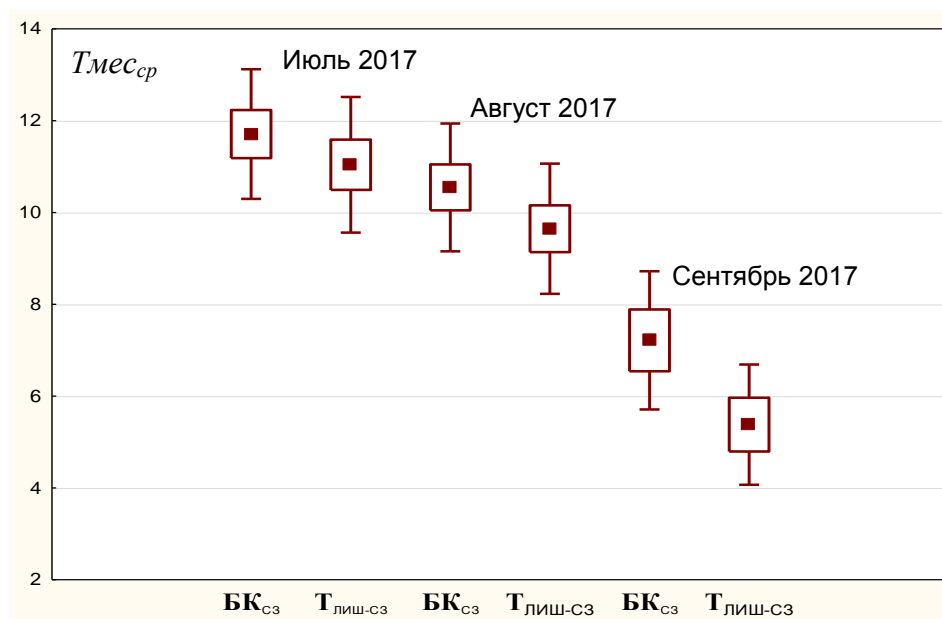


Рис. 5.26 Средние ежемесячные значения температуры подстилок ($T_{мес_{ср}}$, °C) на участках березового криволесья и горной тундры на склоне СЗ экспозиции в разные месяцы вегетационного сезона 2017 г.

Таблица 5.10 Значения t -критерия Стьюдента при сравнении средних ежемесячных значений температуры подстилок ($T_{мес_{ср}}$) между участками березового криволесья и горной тундры на склоне СЗ экспозиции в разные месяцы вегетационного сезона

Месяц / Сравнимые участки	$БК_{сз} / T_{лиш-сз}$
Июль 2017	1.76
Август 2017	2.52
Сентябрь 2017	4.12

Примечание. Различия достоверны при $t_{(60;0.05)} \geq 2.10$.

В целом снижение $T_{мес_{ср}}$ в августе по сравнению с июлем составило в подстилках на склоне СЗ экспозиции 1.2-1.8 °C, в сентябре по сравнению с августом около 3-4 °C и по сравнению с июлем 4-6 °C. Осеннее снижение $T_{мес_{ср}}$ атмосферного воздуха составило 3.5 °C в августе по сравнению с июлем, 4.9 °C в сентябре по сравнению с августом и 8.4 °C по сравнению с июлем. При этом участок горной тундры на склоне СЗ экспозиции ближе к атмосферному воздуху по потерям тепла в сезонной динамике.

Во все исследованные месяцы вегетационного сезона 2017 г. вариабельность температуры в подстилке горной тундры несколько превышала значения для горнолесных подстилок, а в целом за исследованный период составила около 29% против 22% в горнолесных поясах (рис. 5.27).

	ИЮЛЬ:	CV%
БК _{СЗ}	11.7±0.3	12.1
Т _{ЛИШ-СЗ}	11.0±0.3	13.4
	АВГУСТ:	CV%
БК _{СЗ}	10.5±0.3	13.2
Т _{ЛИШ-СЗ}	9.6±0.3	14.7
	СЕНТЯБРЬ:	CV%
БК _{СЗ}	7.2±0.3	20.9
Т _{ЛИШ-СЗ}	5.4±0.3	24.3
	80 суток:	CV%
БК _{СЗ}	10.1±0.2	22.3
Т _{ЛИШ-СЗ}	9.0±0.2	29.0

Рис. 5.27 Значения коэффициента вариации (CV, %) средней ежемесячной температуры ($T_{мес\text{cp}}$) в подстилках березового криволеся и горной тундры на одноименном склоне.

За исследованный период 80 суток большая вариабельность температуры (т.е. вариабельность $T_{лет\text{cp}}$) в подстилке $T_{ЛИШ-СЗ}$ по сравнению с $БК_{СЗ}$ определялась различием в минимальных значениях (разница составила 1.5 °C), которые были ниже в горно-тундровом поясе, чем в горнолесном, тогда как на участках березового криволеся на склонах встречной экспозиции на различия вариабельности влияли максимальные значения $T_{лет\text{cp}}$ подстилок. Разница между минимальными и максимальными значениями $T_{лет\text{cp}}$ на участке горной тундры была наибольшей среди трех исследованных участков ущелья Скальное: 10.2 °C против 9.2 °C в $БК_{СЗ}$ и 8.5 °C в $БК_{ЮВ}$ (рис. 5.28).

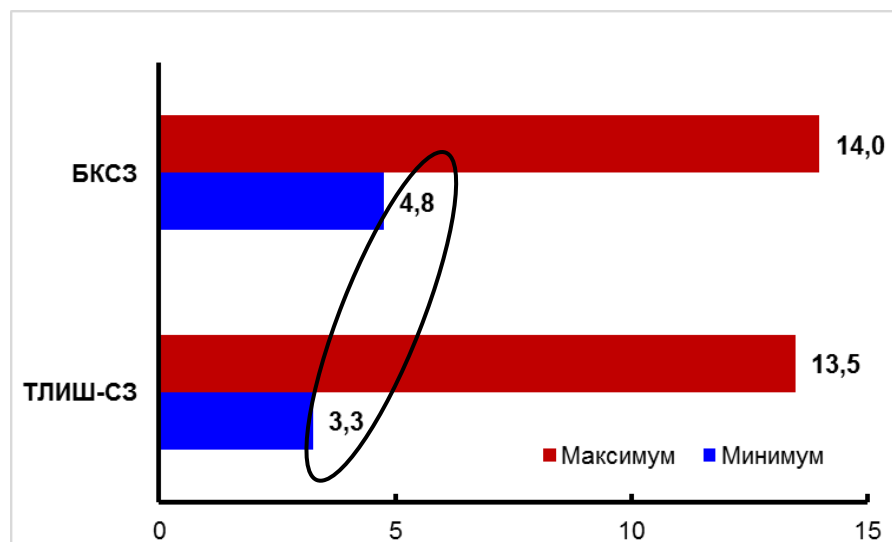


Рис. 5.28 Минимальные и максимальные значения температуры в подстилках березового криволеся и горной тундры на одноименном склоне за исследованный сезон 2017 года (80 сут.)

5.2.4 Суммы положительных и эффективных температур в подстилках высотных поясов

В июле участок $БК_{СЗ}$ характеризовался большим числом дней с эффективной температурой в подстилке $\geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$: 25 против 21 дня на участке $Т_{ЛИШ-СЗ}$, как и на участке $БК_{ЮВ}$. Число дней с $T_{сум\text{cp}} < +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ было больше в подстилках $Т_{ЛИШ-СЗ}$ и $БК_{ЮВ}$: по 8 против 4-х в $БК_{СЗ}$ (рис. 5.29).

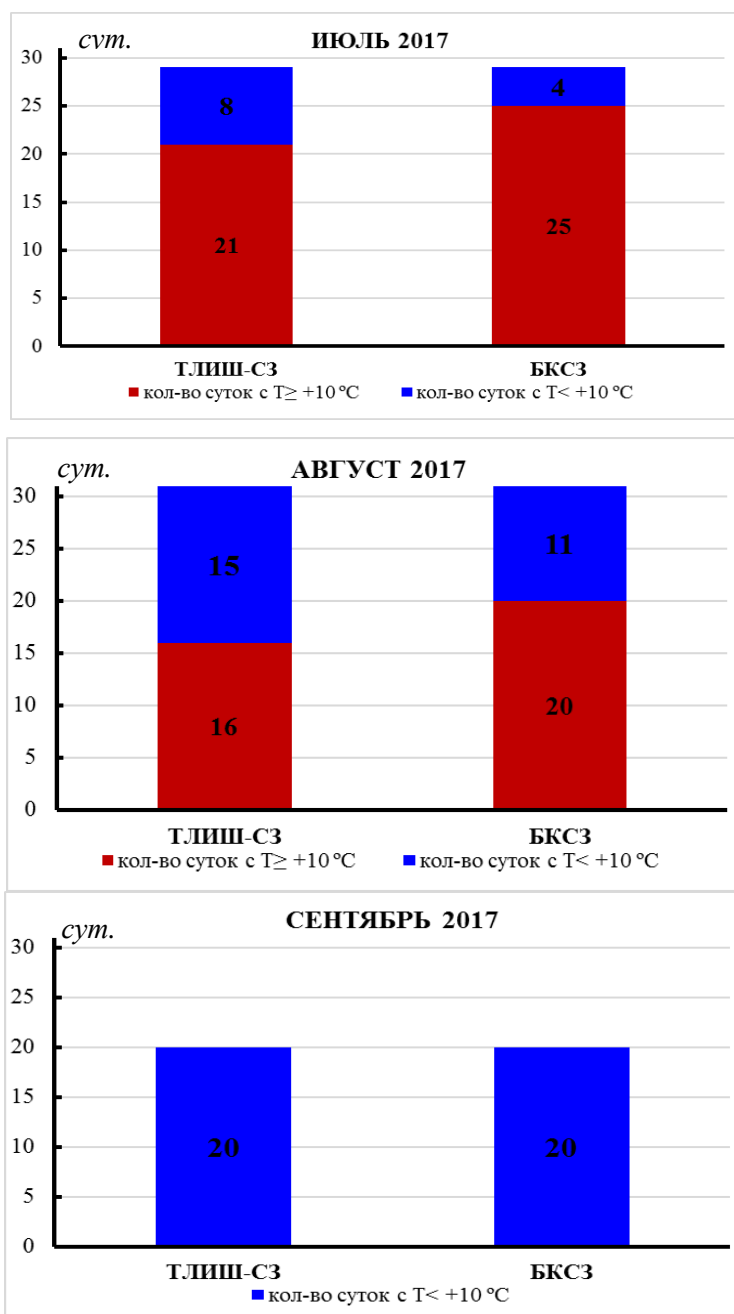
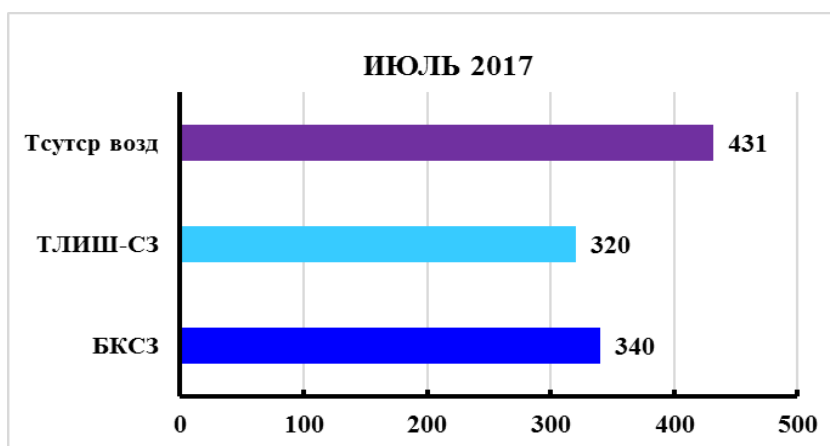


Рис. 5.29 Число дней с $T_{сум\text{cp}} \geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $< +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в подстилках на одноименном склоне северо-западной экспозиции $БК_{СЗ}$ и $Т_{ЛИШ-СЗ}$ в июле, августе и сентябре 2017 (n суток 29, 31 и 20).

В августе число теплых дней с $T_{сум_{ср}} \geq +10$ °С уменьшилось до 20 в $БК_{СЗ}$ и 16 в $Т_{ЛИШ-СЗ}$, и 11 в $БК_{СЗ}$ и 15 в $Т_{ЛИШ-СЗ}$ суток составляли дни с $T_{сум_{ср}} < +10$ °С. В сентябре $T_{сум_{ср}} \geq +10$ °С в подстилках уже не наблюдались ни на одном из участков.

Несмотря на сходное для трех исследованных участков число суток с эффективными температурами $\geq +10$ °С и $< +10$ °С в июле и августе и сентябре, сумма положительных температур ($\sum T_{сум_{ср}} > 0$ °С) в каждый из этих месяцев была выше в подстилке $БК_{СЗ}$, чем в подстилке $Т_{ЛИШ-СЗ}$: на 20, 28 и 36 °С соответственно. При этом в июле атмосферный воздух прогревался лучше горных подстилок: $\sum T_{сум_{ср}}$ воздуха была выше на 91-111 °С за июль и на 27-55 °С за август. На протяжении сентября подстилка березового криволесья на склоне СЗ экспозиции лучше сохраняла аккумулированное летом тепло, а горно-тундровая быстрее охлаждалась. В сентябре в более прогретой подстилке $БК_{СЗ}$ $\sum T_{сум_{ср}}$ превышала таковую для атмосферного воздуха на 14 °С и для $Т_{ЛИШ-СЗ}$ на 36 °С (рис. 5.30).



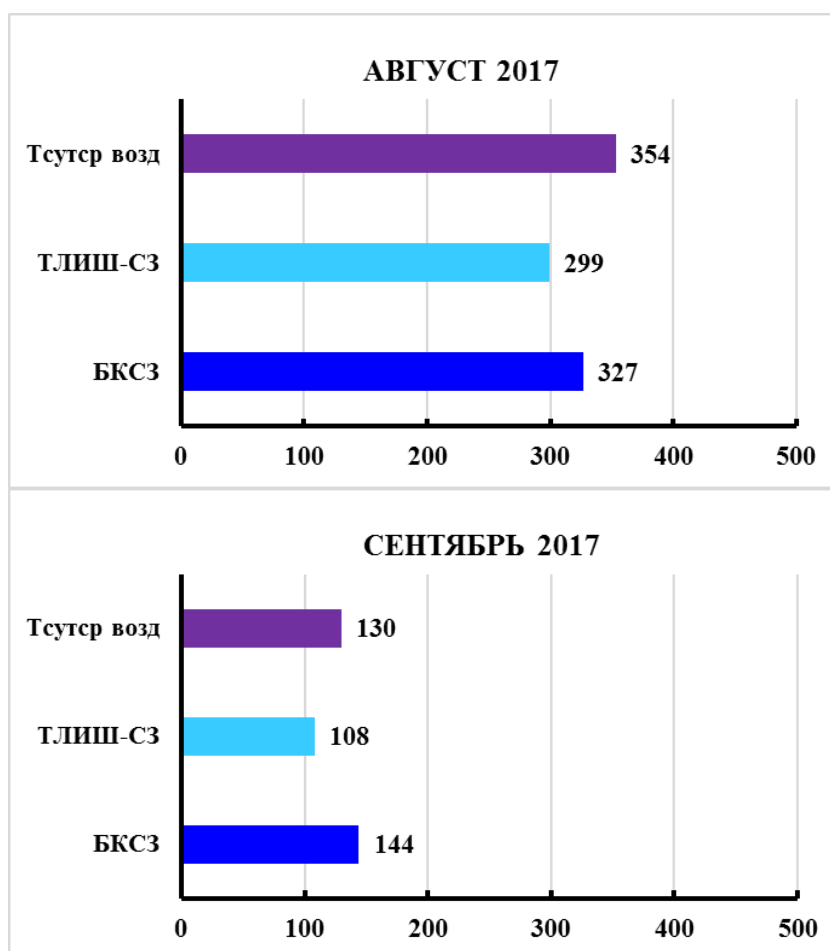


Рис. 5.30 Сумма среднесуточных температур подстилок на участках березового криволеся и горной тундры на склоне северо-западной экспозиции и атмосферного воздуха (по данным метеостанции «Центральная») в июле, августе и сентябре 2017 г.

В целом за период исследования 80 суток в подстилках березового криволеся и горной тундры на склоне СЗ экспозиции $\sum T_{сут_{cp}}$ составила 727-811 °С, что было на 104-188 °С ниже по сравнению с $\sum T_{сут_{cp}}$ атмосферного воздуха (рис. 5.31). Подстилка $T_{ЛИШ-СЗ}$ уступала по этому показателю $БК_{СЗ}$ на 84 °С.

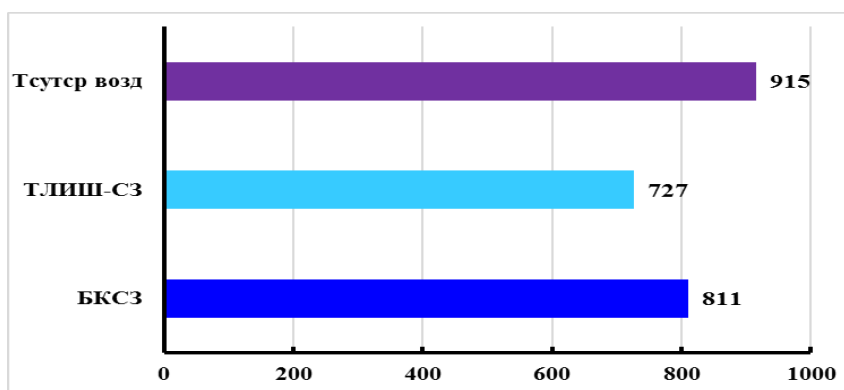


Рис. 5.31 Сумма среднесуточных температур ($\sum T_{сут_{cp}}$, °С) подстилок березового криволеся и горной тундры на склоне северо-западной экспозиции и атмосферного воздуха (по данным метеостанции «Центральная») за период 03.07-20.09.17 (n сут = 80).

5.3 Сравнение исследованных участков в горно-лесном и горно-тундровом поясах горы Вудъяврчорр в полевые сезоны 2016 и 2017 гг.

Для 5 участков, исследованных в горно-лесном и горно-тундровом поясах горы Вудъяврчорр в полевые сезоны 2016 и 2017 гг., проведено сравнение температурных показателей и их динамики за два наиболее теплых летних месяца – июль и август (60 суток). Диапазон среднесуточных значений температуры ($T_{сут\text{ср}}$) в подстилках на глубине 5 см составил от +5 до +17 °С (рис. 5.32).

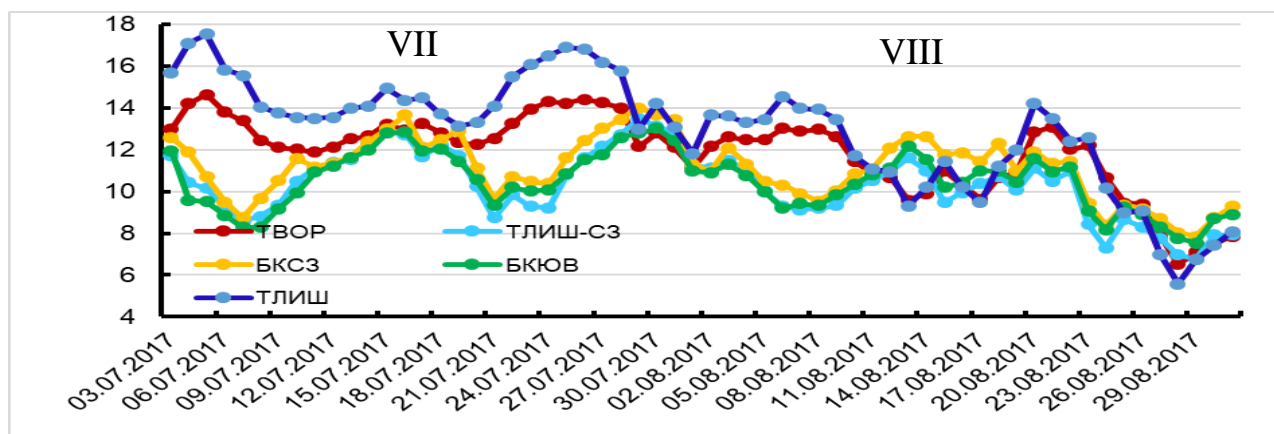


Рис. 5.32 Динамика среднесуточной температуры подстилок ($T_{сут\text{ср}}$, °С) за июль-август на исследованных участках горно-лесного и горно-тундрового поясов на площадке Ботанического цирка и в ущелье Скальное (n сут=60, сезоны 2016, 2017 гг.).

Наибольшим прогревом на протяжении июля и до 10 августа характеризовалась подстилка $T_{лиш}$ на площадке Ботанического цирка, наименьшим – $T_{лиш-сз}$. В этот период различия в температурной динамике между двумя горно-тундровыми участками определялись в первую очередь их положением на разных площадках (Ботанический цирк и ущелье Скальное), которые были исследованы в разные полевые сезоны (2016 и 2017 г.г.), достоверно различающиеся по температурным условиям сезона (рис. 5.33).



Рис. 5.33 Достоверное различие величины и динамики среднесуточной температуры атмосферного воздуха на протяжении вегетационных сезонов 2016 и 2017 г.г.

Однако, начиная с 20-ых чисел августа в подстилках всех участков наблюдалась сходная динамика $T_{сут_{cp}}$, связанная с уменьшением межсезонных различий в динамике $T_{сут_{cp}}$ атмосферного воздуха (см. рис. 5.32, 5.33). В частности, устойчивое осеннее снижение $T_{сут_{cp}} < +10$ °С в тундровых подстилках на площадке Ботанического цирка в сезон 2016 г. отмечено с 25 августа и на всех участках в ущелье Скальное в сезон 2017 г. – с 23 августа. Следовательно, к концу вегетационного сезона, когда температура воздуха имеет сходные или более низкие значения по сравнению с температурой подстилок, различия в температурной динамике, определяемые положением участков в пределах горы Вудъяврчорр, а также межгодовыми различиями в прогреве атмосферного воздуха, становятся невыраженными.

Достоверная корреляция летней динамики температуры в горных подстилках с ходом $T_{сут_{cp}}$ температуры атмосферного воздуха в сезоны 2016 и 2017 г.г. установлена для всех исследованных участков (рис. 3.34). Коэффициент корреляции превысил уровень 0.90 и был выше для более сухой и тонкой подстилки тундры лишайниковой в Ботаническом цирке (0.96).

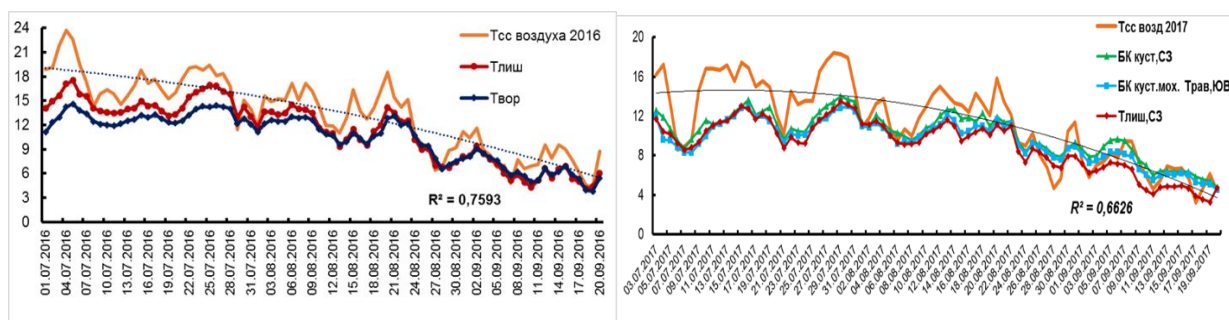


Рис. 5.34 Корреляция динамики среднесуточной температуры подстилки (°С) на участках горно-лесного и горно-тундрового поясов г. Вудъяврчорр с температурой атмосферного воздуха в сезоны 2016 и 2017 г.г.

Средние за два месяца значения температура ($T_{лет_{cp}}$) варьировали от $+10.3 \pm 0.2$ °С в $T_{лиш-с3}$ на склоне С3 экспозиции ущелья Скальное до 12.9 ± 0.4 °С в $T_{лиш}$ на площадке Ботанического цирка, при этом как наименьшие, так и наибольшие значения $T_{лет_{cp}}$ были характерны для подстилок горно-тундрового пояса (рис. 5.35).

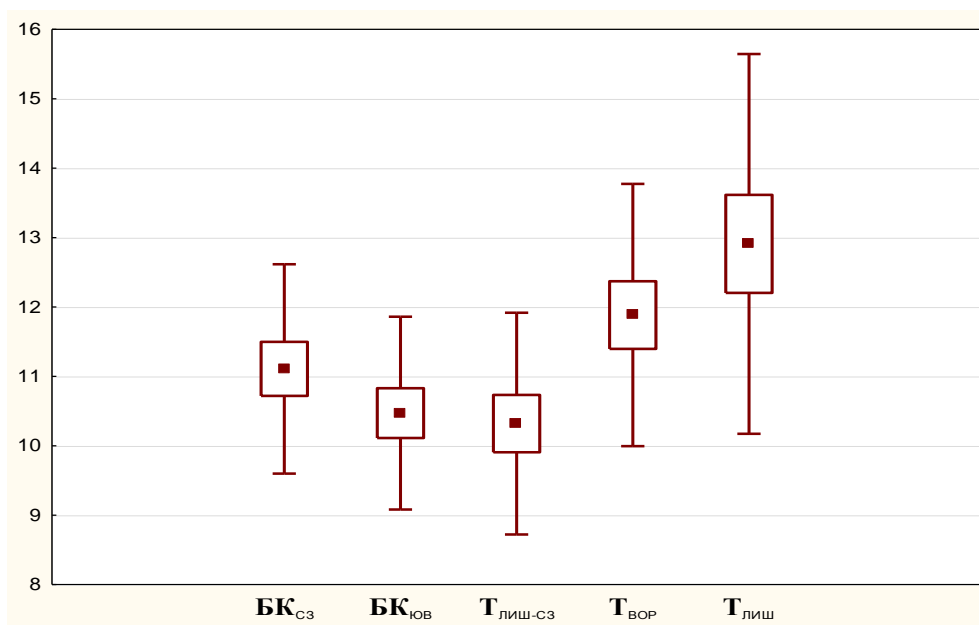


Рис. 5.35 Средние значения температуры подстилки на участках березового криволесья и горной тундры в ущелье Скальное и на площадке Ботанического цирка за июль-август 2016 и 2017 г.г. ($T_{лет\text{ ср}}$, °С; 60 сут).

Сравниваемые значения достоверно отличались между всеми участками, но в большей степени – между более сухой и тонкой подстилкой $T_{лиш}$ и более холодной и влажной $БК_{ЮВ}$, а в меньшей степени – между $T_{лиш}/T_{ВОР}$ и $T_{ВОР}/БК_{СЗ}$ (табл. 5.10).

Таблица 5.10 Значения t -критерия Стьюдента при сравнении средних за июль-август значений температуры подстилок между пятью исследованными участками

	$T_{лиш}/T_{ВОР}$	$T_{лиш\text{ СЗ}}/T_{лиш}$	$T_{лиш\text{ СЗ}}/T_{ВОР}$	$T_{лиш}/БК_{СЗ}$	$T_{лиш}/БК_{ЮВ}$	$T_{ВОР}/БК_{СЗ}$	$T_{ВОР}/БК_{ЮВ}$	$БК_{СЗ}/БК_{ЮВ}$
t_{st}	2.39	6.33	4.90	4.47	6.15	2.49	4.69	2.41

Примечание. Различие достоверно при $t_{(118;0,01)} \geq 2.61$.

Общей особенностью динамики температуры подстилок в самые теплые летние месяцы была ее большая вариабельность в подстилках горно-тундровых поясов (как на площадке Ботанического цирка в 2016 г., так и на склоне СЗ экспозиции в 2017 г.) по сравнению с участками на склонах разной экспозиции горно-лесного пояса (рис. 5.36). Это объясняется сглаживанием температурных колебаний в подстилках под пологие леса.

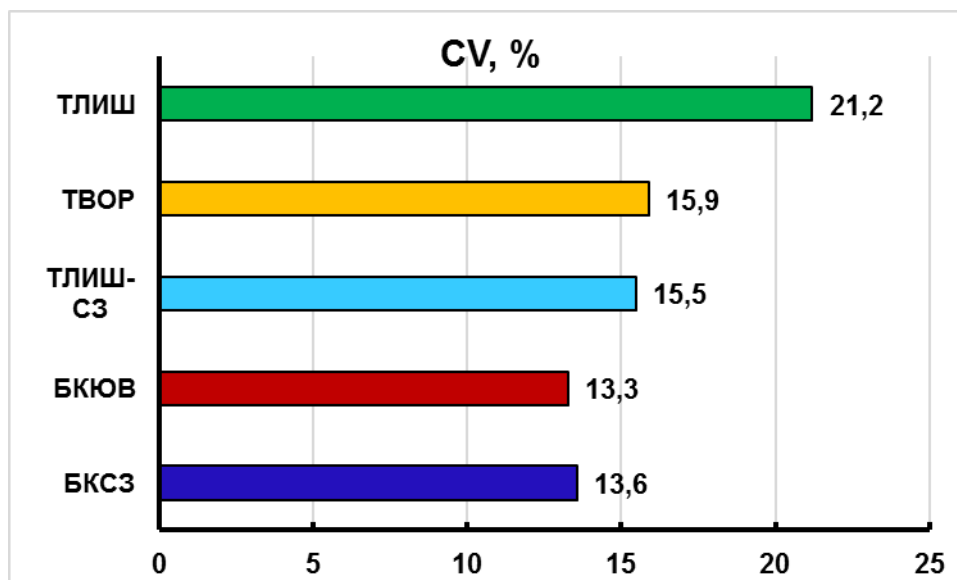


Рис. 5.36 Степень варьирования среднесуточной температуры подстилок на исследованных участках горно-тундрового и горно-лесного поясов за июль-август 2016 и 2017 г.г. (значения коэффициента вариации CV, %; n сут=60).

Различия между участками горно-лесного пояса определялись преимущественно различиями в максимальных среднесуточных значениях температуры подстилок и, в меньшей степени, - различиями минимальных значений. В горно-тундровых подстилках влияние на различие в вариабельности температурной динамики подстилок оказывала разница как в минимальных, так и в максимальных значениях температуры (рис. 5.37).

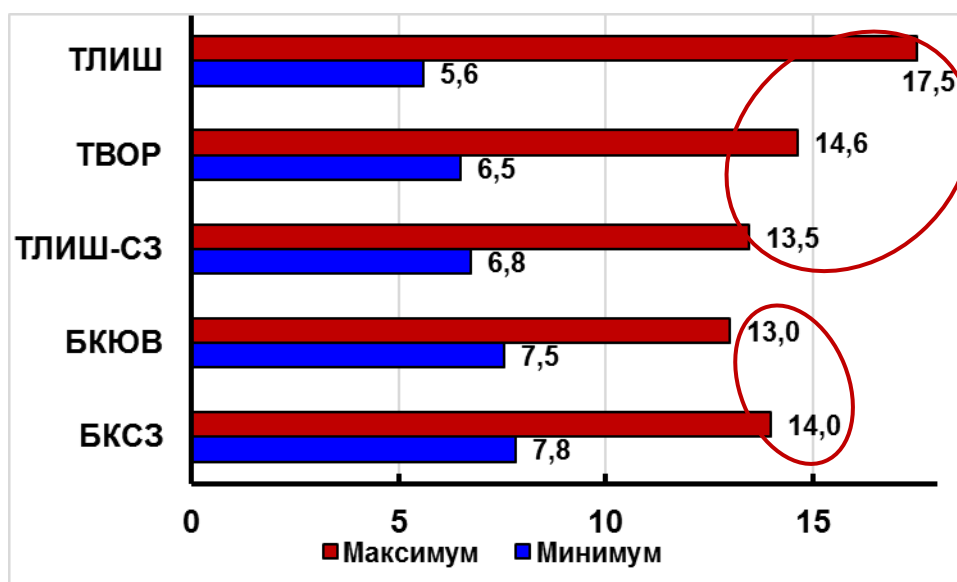


Рис. 5.37 Минимальные и максимальные значения среднесуточной температуры подстилок горно-тундрового и горно-лесных поясов на исследованных участках за июль-август 2016 и 2017 г.г. (n сут=60).

Сумма положительных температур $\sum T_{сут\,cp}$ подстилок за два наиболее теплых летних месяца составила 620-670 °С в горных подстилках ущелья Скальное в более прохладное лето 2017 г. и превысила 700 °С в горно-тундровых подстилках Ботанического цирка в более теплый сезон 2016 г. (рис. 5.38).

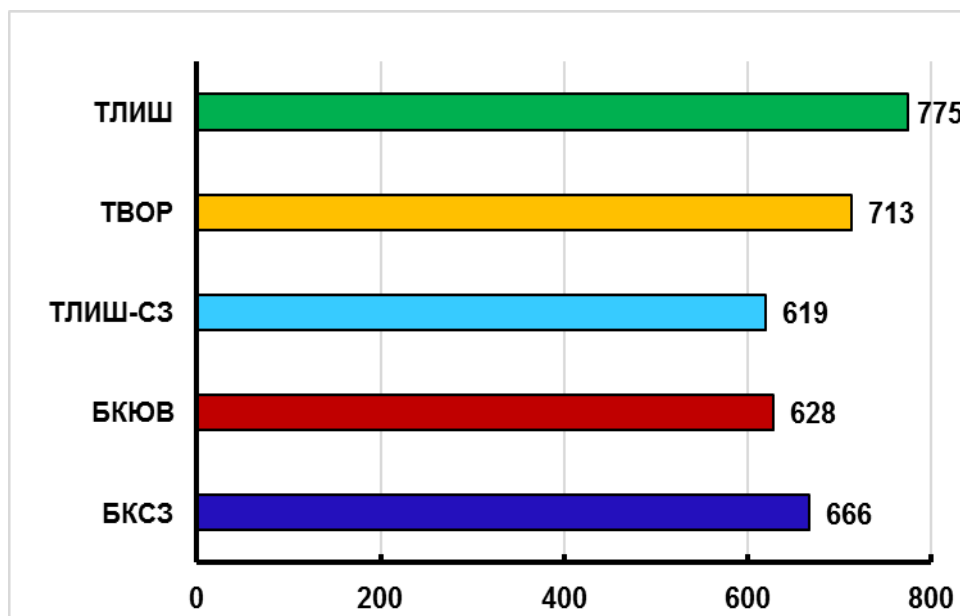


Рис. 5.38 Сумма среднесуточных температур ($\sum T_{сут\,cp}$, °С) на исследованных участках за июль-август (n сут=60, сезоны 2016-2017 гг.).

Лучший прогрев подстилки на участках горной тундры Ботанического цирка объяснялся как достоверно более теплым вегетационным сезоном 2016 года (рис. 5.38), так и лучшим прогревом горной тундры на плато по сравнению с тундрой на склоне в ущелье Скальное. Из участков березового криволеся большей суммой положительных температур отличались лучше прогреваемые на протяжении летнего сезона подстилки на склоне СЗ экспозиции по сравнению с ЮВ (см. рис. 5.17, 5.18).

В наиболее теплые месяцы лета участки $T_{ЛИШ}$ и $T_{ВОР}$ на площадке Ботанического цирка характеризовались большим числом дней с эффективной среднесуточной температурой в подстилках $\geq +10$ °С по сравнению с участками горно-тундрового и горно-лесного поясов ущелья Скального: 50-51 против 37-45. Число дней с $T_{сут\,cp} < +10$ °С на этих участках было меньше: 9-10 против 15-23 соответственно (рис. 5.39).

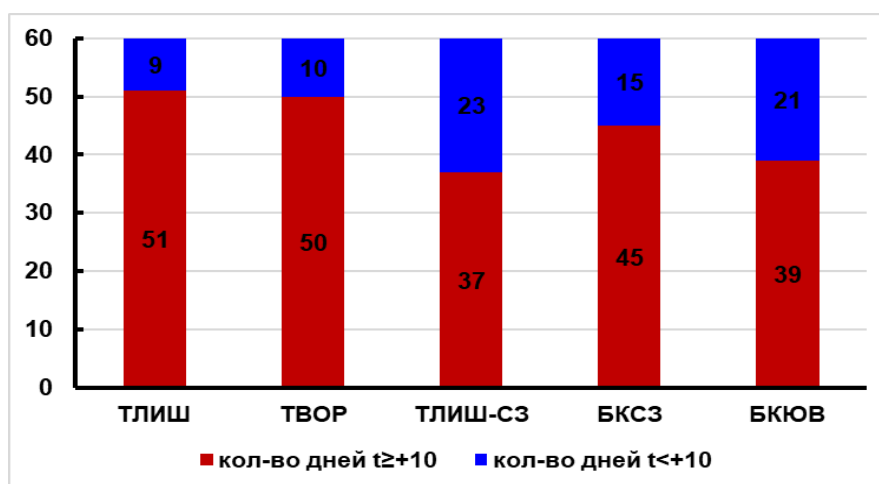


Рис. 5.39 Число дней с $T_{сум_{ср}} \geq +10$ °C и $< +10$ °C в июле-августе 2016 и 2017 гг. в подстилках исследованных горных участков (n сут=60).

Обобщая полученные данные по температурным показателям и их летней динамике в экосистемах горы Вудъяврчорр, можно выделить три фактора, оказывающие дифференцирующее влияние на температурный режим горных подстилок: «сезонность», «экспозиция горного склона» и «высотная поясность» (табл. 5.11).

Таблица 5.11 Факторы, оказывающие дифференцирующее влияние на температурный режим горных подстилок

Фактор	Показатели, на которые влияет фактор
Фактор сезонности	Сезонное изменение температуры атмосферного воздуха и общий ход динамики температуры в горных подстилках (достижение эффективных значений температуры весной и обратный переход через пороговые значения осенью; поглощение или излучение тепла подстилками). Усиление различий, вызванных факторами высотной поясности и экспозиции склонов, при переходе от июля к сентябрю.
Высотная поясность	Достоверные различия среднемесячных температур в подстилках разных поясов. Различия в минимальных и максимальных внутрисуточных и среднелетних значениях температуры в подстилках. Достоверные различия в динамике среднесуточных температур в подстилках. Сезонная вариабельность температуры в подстилках. Сроки перехода температуры в подстилках через среднесуточное значение $< +5$ °C (в сентябре).
Экспозиция склонов (только в июле)	Достоверные отличия $T_{мес_{ср}}$ июля в подстилках. Достоверные отличия динамики температуры . Количество дней с эффективными $T_{сум_{ср}} \geq +10$ °C . Сумма положительных температур в подстилке.

Фактор сезонности является основным и определяет сезонное изменение температуры атмосферного воздуха, которая влияет на процессы прогрева и охлаждения подстилок, а, следовательно, на сезонную смену процесса поглощения тепла подстилками на процесс его излучения в осенний период.

Высотная поясность определяет достоверные различия среднемесячных, минимальных и максимальных внутрисуточных и среднелетних значений температуры в подстилках; различия в динамике среднесуточных температур, в ее сезонной вариабельности, в сроках перехода через среднесуточное значение температуры $< +5$ °С в конце вегетационного сезона (в сентябре). Эти различия проявляются для горно-лесного и горно-тундрового поясов на протяжении всего вегетационного сезона, причем усиливаются от июля к сентябрю, то есть так же подвержены влиянию фактора сезонности.

Экспозиция горных склонов определяет различия в таких показателях температурного режима горно-лесных подстилок, как: среднемесячные и максимальные значения температуры, число суток с эффективными $T_{сут_{cp}} \geq +10$ и $< +10$ °С, сумма положительных температур в подстилке. Однако достоверное дифференцирующее влияние этого фактора установлено для горно-лесных подстилок только в самый теплый месяц вегетационного сезона – июль.

Результаты исследования температурного режима в 2016 и 2017 годах в целом оказались сопоставимы с данными исследований, выполненных нами в разных высотных поясах на склонах Хибинских гор Юкспорр и Суолайв в 2015 году, а также с данными за 2013 и 2014 г.г. по летним температурам подстилок на склонах гор Рисчорр, Парттомчорр и в долине реки Кунийок между горами Путеличорр и Парттомчорр (см. табл. 4.6).

Диапазон среднеиюльских температур в подстилках горно-лесного пояса составил от $+9$ °С в сосняках межгорной долины до $+13$ °С в БК на склоне СЗ экспозиции (табл. 5.12., Приложение 1) и был выше в горно-тундровых поясах: от $+11.0$ до $+18$ °С на склоне 3 экспозиции (см. Приложение 3).

В августе подстилки горно-таежных лесов прогревались до $+10 \dots +12$ °С, то есть на 1.5 °С выше, чем в июле (Приложение 2), а диапазон температур горно-тундровых подстилок сузился от $+11$ до $+14$ °С (на склоне 3 экспозиции) (Приложение 4).

Значения среднемесячной температуры сентября были сопоставимы в подстилках горно-лесных и горно-тундровых поясов и составляли около $+6 \dots +7$ °С (Приложение 5). Таким образом, различия в степени прогрева подстилок, определяемые высотной поясностью и экспозицией склонов, в летней динамике наиболее выражены в самом

теплом месяце – июле и уменьшаются между горно-лесными и горно-тундровыми поясами к осени.

Таблица 5.12 Сводная таблица температурных показателей горно-тундровых и горно-лесных подстилок Хибинских гор, исследованных за период 2013-2017 гг.

Гора	Экспозиция склона	Горно-растительный пояс	Высота над ур. м., м	Среднемесячная температура подстилки			
				Июль		Август	
				М ± m, °C	Max, min	М ± m, °C	Max, min
Паргомчорр	ЮВ	Северотаежный	290-310	Нет данных		12.7 ± 0.4	+16.8 +9.3
Рисчорр	С	Горно-тундровый	430	Нет данных		11.0 ± 0.3	+13.9 +5.5
	СЗ	Березовые криволесья	360-380	Нет данных		11.4 ± 0.2	+13.8 +8.8
	СЗ	Горно-таежный	290-310	Нет данных		12.0 ± 0.3	+15.7 +8.8
Долина р. Кунийок	межгорная долина	Горно-таежный	235	8.5 ± 0.3	+12.0 +6.4	10.7 ± 0.2	+12.0 +8.1
		Горелый сосняк	236	9.2 ± 0.2	+12.1 +7.4	10.1 ± 0.2	+12.6 +8.8
Юкспорр	Плато	Горно-тундровый	710-730	12.2 ± 0.4	+15.9 +5.6	12.0 ± 0.2	+16.4 +7.2
	ЮВ	Горно-тундровый	625-645	11.8 ± 0.4	+15.4 +7.0	11.2 ± 0.5	+16.6 +6.3
	ЮВ	Березовые криволесья	460-490	12.2 ± 0.3	+14.9 +8.5	12.0 ± 0.3	+15.9 +8.9
Суолайв	З	Горно-тундровый	387-550	17.9 ± 0.3	+22.7 +10.6	14.5 ± 0.7	+22.3 +9.1
	З	Березовые криволесья	328-340	13.4 ± 0.3	+16.6 +8.8	12.5 ± 0.4	+18.0 +8.8
	З	Горно-таежный	260-270	11.7 ± 0.3	+14.3 +7.7	11.9 ± 0.3	+16.2 +9.0
Вудъяврчорр	Цирк	Горно-тундровый	545	14.8 ± 0.3	+17.5 +12.9	11.1 ± 0.4	+14.2 +5.5
	Цирк	Горно-тундровый	547	13.0 ± 0.2	+14.6 +11.8	10.7 ± 0.3	+13.0 +6.5
	СЗ	Горно-тундровый	510	11.0 ± 0.3	+13.5 +8.6	9.6 ± 0.3	+11.6 +6.7
	СЗ	Березовые криволесья	392	11.07 ± 0.3	+14.0 +8.7	10.5 ± 0.3	+12.6 +7.8
	ЮВ	Березовые криволесья	390	10.9 ± 0.3	+13.0 +8.3	11.9 ± 0.3	+12.2 +7.5

Примечание: красным выделены максимальные за июль-август среднесуточные значения температуры, синим - минимальные значения.

Выводы

1. Летняя динамика среднесуточной температуры подстилок в сезоны 2016, 2017 гг. имела общий ход в горно-лесных экосистемах на склонах встречной экспозиции и на участках горной тундры на плато и на склоне: прогрев горных подстилок выше порога эффективных температур $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ на протяжении июля, обратный осенний переход через этот порог, начиная с 23-25 августа, и осеннее снижение температуры через порог $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ со второй декады сентября.

2. Во всех исследованных горно-растительных поясах летняя динамика среднесуточной температуры подстилок определялась динамикой температуры более прогретого атмосферного воздуха (коэф. Корреляции превысил 0.90) и была выражена сильнее для более сухих подстилок: тундры лишайниковой ($r\ 0.96$) по сравнению с тундрой вороничной ($r\ 0.94$) на площадке Ботанического цирка и для участка березового криволеся на склоне СЗ экспозиции ($r\ 0.92$) по сравнению со склоном ЮВ экспозиции ($r\ 0.90$) в ущелье Скальное.

3. Начиная с 20-х чисел августа (с 23 числа в ущелье Скальное в сезон 2017 г. и с 25 числа на площадке Ботанического цирка в сезон 2016 г.) среднесуточная температура атмосферного воздуха была устойчиво ниже среднесуточной температуры горных подстилок, что можно рассматривать как косвенный показатель перехода подстилок от процесса поглощения тепла из внешней среды к процессу его излучения.

4. Дифференцирующее влияние на температурный режим горных подстилок оказывают факторы: «сезонность», «экспозиция склона», «высотная поясность». Большинство достоверных различий температурных показателей (различия в величине и динамике среднемесячных температур, сезонной и суточной variability температуры, сроках перехода температуры в подстилках через пороговые величины $+5$ и $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) определялось высотной поясностью. В оба сезона (2016, 2017) общей закономерностью для участков горной тундры на плато и на склоне была большая variability летней динамики температуры горно-тундровых подстилок по сравнению с горно-лесными.

Достоверное влияние фактора экспозиции горных склонов на рассмотренные температурные показатели проявлялось в поясе березовых криволесий только в наиболее теплом месяце – июле, когда лесные подстилки на склоне СЗ прогревались раньше и лучше по сравнению со склоном ЮВ экспозиции. Фактор сезонности определяет общий ход динамики температуры в горных подстилках и является более мощным фактором,

усиливающим различия связанным с влиянием факторов высотной поясности и экспозиции горных склонов.

Список литературы

1. Аврорин, Н.А. Материалы по растительности Хибинских гор / Н.А. Аврорин, М.Х. Качурин, А.А. Коровкин // Тр. СОПС АН СССР, Сер. Кольск. - 1936. - № 11. - С. 3–95.
2. Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Нечерноземья РСФСР/ Александрова В.Д., Юрковская Т.К.-. Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1989. -64 с.
3. Н. А. Алексеенко, Н. Е. Королева, А. А. Волкова «Изучение закономерностей распределения растительного покрова хибинского горного массива с помощью картографического метода международная научно-практическая конференция "использование современных информационных технологий в ботанических исследованиях". Тезисы докладов. Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, Мурманское отделение Русского ботанического общества; Редакторы: Е.А. Боровичев, Д.А. Давыдов, Н.Е. Королева. Апатиты: КНЦ РАН,2017. С. 9-11.
4. Атлас Мурманской области. М.: ГУГК, НИГЭИ, ЛГУ, 1971. - 34 с.
5. Белицина, Г.Д. Почвоведение: учебник для университетов. В 1 ч. Почва и почвообразование/ Г.Д. Белицина, В.Д. Василевская, Л.А. Гришина и др. - М.: высш.шк., - 1988. -400 с.
6. Белов Н.П. Почвы Мурманской области. /Белов Н.П., Барановская А.В. Л.: Наука, - 1969. - 148 с.
7. Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. Издательство: Наука, - 1998. -187 с.
8. Особенности почв трех горно-растительных поясов юго_западной части Хибин / А.С. Владыченский, В.М. Телеснина, Е.Г. Богомолова, Т.В. Подольская // Вестник Моск. ун_та. Сер. 17 Почвоведение. - 2004. - № 1. - С. 3–11.
9. Дюкарев, Е.А. Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы / Е.А. Дюкарев // Вестник Томского государственного университета. - 2012. - № 365. - С. 201–205.
10. Зенкова, И.В. Материалы к почвенной фауне Хибинского горного массива на примере горы Вудъяврчорр / И.В. Зенкова, В.В. Пожарская, А.А. Похилько // Вестник МГТУ. - 2009. - Т.12. - №3. - С. 516-524.
11. Зенкова, И.В. Высотное распределение почвенной фауны Хибин / И.В. Зенкова, В.В. Пожарская // Почвоведение. - 2011. - № 9. - С.1083-1093.
12. Зенкова, И.В. К характеристике летней динамики температуры подстилок в горах Хибинского массива (Мурманская область) // Фундаментальные и прикладные вопросы

лесного почвоведения: Материалы докладов VI Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 85-87.

13. Иванова Е.Н. Почвы Хибинских тундр. / Иванова Е.Н., Колосов Н.А. М.: АН СССР, -1937. - Ч. 2. -76 с.

14. Иванюк Г.Ю. Синергетические принципы прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, -2009. -392 с.

15. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 1. М.: Высшая школа. – 1965. -460 с.

16. Кольская энциклопедия. В 5 т. Т. 1. А — Д / Гл. ред. А. А. Киселёв. — СПб.: ИС; Апатиты: КНЦ РАН, 2008. — 600 с.

17. Комлев, Л.В. О возрасте щелочных интрузий Хибинских и Ловозерских тундр (Кольский полуостров) / Л.В. Комлев, А.Л. Михалевская, С.И. Данилович // Докл. АН СССР. - 1961. - Т. 136. - № 1. - С.171–174.

18. Королева, Н.Е. Синтаксономический обзор горнотундровой растительности Хибин / Н.Е. Королева // Бюллетень МОИП. Отделение биологии. 2001. – Т.106. - № 4. – С. 50-57.

19. Коряков Г.Я. Гидрогеологические условия Хибинских апатитовых месторождений // Хибинские апатитовые месторождения. М.: МГУ. - 1965. – 580 с.

20. Крючков, В.В. О факторах, определяющих верхний предел березы и ели в Хибинских горах / В.В. Крючков // Вестн. МГУ. – 1957. - №3. – С. 58-71.

21. Крючков, В.В. Факторы определяющие верхние пределы растительных поясов в Хибинских горах / В.В. Крючков // Ботанич. журнал. 1958. - Т.43. - № 6. – С. 16.

22. Крючков, В.В. Границы древесной растительности как фиксаторы климатических условий / В.В. Крючков // Информ. сборн. о работе географического ф-та МГУ по МГГ. 1958. - № 3. – С. 47.

23. Крючков В.В. Некоторые данные о температуре почв в различных растительных сообществах Мурманской области. М.-Л., 1961. 33 с.

24. Лаврова М.А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.-Л.: АН СССР, - 1960. - 239 с.

25. Мазухина С.И. Условия формирования природных поверхностных и подземных вод Кольского Севера (на примере Хибинского массива). Изд.: Мурманский государственный технический университет (Мурманск) -2010. -133 с.

26. Мазухина С.И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива / отв. ред. В.А. Маслобоев. – Апатиты: КНЦ РАН, -2012. – 173 с.

27. Мазыро М. М. Почвы Хибинских тундр. -М.: АН СССР, 1936. Ч. 1. - 70 с.

28. Манаков К.Н. Закономерности биологического круговорота минеральных элементов и почвообразование в биогеоценозах трех горно-растительных поясов. / Манаков К.Н., Никонов В.В. Апатиты: КФ АН СССР, - 1979. - 65-94 с.
29. Мишкин Б.А. Флора Хибинских гор, ее анализ и история (под ред. С.В. Юзепчука). М.-Л.: АН СССР, 1953. 113 с.
30. Никонов В.В. Почвообразование на северном пределе сосновых биогеоценозов. Л.: Наука, - 1987. - 142 с.
31. Никонов В.В. Почвообразование в Кольской Субарктике / Никонов В.В., Переверзев В.Н. Л.: Наука. - 1989. - 168 с.
32. Переверзев В.Н. Почвообразование в биогеоценозах Хибинских гор. Апатиты: изд-во? -1979. -113 с.
33. Переверзев В.Н. Почвообразование на рыхлых и кристаллических породах в Северной Фенноскандии /под ред. д.б.н. Г.М. Кашулиной. – Апатиты: КНЦ РАН, - 2013. – 158 с.
34. Переверзев В.Н., Алексеева Н.С., Полях О.Н. Генетические особенности и органическое вещество почв Хибинского горного массива. Апатиты: КФ АН СССР, 1979. - 3-56 с.
35. Переверзев, В.Н. Генетические особенности почв природных поясов Хибинских гор / В.Н. Переверзев // Почвоведение, - 2010. - №5 – С. 548-557.
36. Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР Издательство: М.: Наука. - 1979. - 157 с.
37. Похилько А.А. Сезонный ритм развития фитоценозов в трех растительных поясах Хибинских гор в 1985-1989 годах // Флористические и геоботанические исследования Мурманской области. – Апатиты: Кольский филиал АН СССР-1993. - С. 81-106.
38. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, - 1983. - 216 с.
39. Россолимо, Т.Е. Высотное распределение и термопреферендум жужелиц в Хибинах / Т.Е. Россолимо // Зоол. журн., 1989. - Т. 68. - № 4. - С. 58-65.
40. Рыболов Л.Б. Сравнительная характеристика населения дождевых червей в Карелии и полярно-альпийском ботаническом саду на Кольском полуострове // Современные экологические проблемы Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. В 2-х ч. Часть 2. С. 176-177.
41. Рябцева К.М. Хибины. М.: Знание, - 1975. - 63 с.

42. Семко А.П. Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, - 1982. - 134 с.
43. Ушакова, Г.И. Особенности формирования и трансформации подстилки в лесных биогеоценозах Хибин / Г.И. Ушакова // Почвоведение. – 1999. - №12. - С. 1463-1469.
44. Ферсман А.Е. Полезные ископаемые Кольского полуострова. М.-Л.: АН СССР, 1941. – 358 с.
45. Фридолин В.Ю. Животно-растительное сообщество горной страны Хибин. М.-Л.: АН СССР, 1936. 293 с.
46. Шляков Р. Н., Печеночные мхи Севера СССР. Вып. 2. Печеночники: Гербертовые - Геокаликсовые / Р. Н. Шляков. - Л.: [б. и.], 1979. - 191 с. - Б. ц.
47. Шмакова Н.Ю., Ушакова Г.И., Костюк В.И., Горно-тундровые сообщества Кольской Субарктики (эколого-физиологический аспект). - Апатиты: КНЦ РАН, 2008. – 167 с.
48. Штабровская, И.М. Сравнительная динамика температуры подстилки в лишайниковой и кустарничковой тундре Хибин / И.М. Штабровская, И.В. Зенкова // Труды XIV Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН (Апатиты, 3-4 апр. 2017 г.). - Апатиты, 2017. - С. 461-464.
49. Эколого-экономическое обоснование национального парка Хибин.: Апатиты, 1999. 78 с.
50. Эколого-экономическое обоснование национального парка Хибин.: Апатиты, 2014. 133 с.
51. Яковлев Б.А. Климат Мурманской области. Мурманск: Мурманское книжное издательство, - 1961. - 200 с.
52. Lindroth C. H. Ground Beetles (Carabidae) of Fennoscandia. A Zoogeographie Study. Part I. Specific Knowledge Regarding the Species. Washington: Amerind Publishing Co Pvt. Ltd., 1992. 630 p.
53. Poppus, B. Die Coleopteren-Fauna der Halbinsel Kanin II Acta Soc. / B. Poppus // Faun. Flora Fenn. - 1909. - Bd. 31. - №8. - S. 1-55.
54. Poppus, B. Die Coleopteren des arctischen Gebiets II / B. Poppus // Fauna Arctica. - 1910. - V. 1. - S. 291-447.
55. Zenkova, I.V., Rapoport, I.B. Diversity and high-altitude distribution of earthworms in the Khibiny Massive (Murmansk region) // Advances in Earthworm Taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta) / Ed. by M. Kasperek: Proceedings of the 6 th International Oligochaete Taxonomy

Meeting, 6th IOTM (Palmeira de Faro, Portugal, 22-25 April, 2013). - Heidelberg (Germany): Taylor & Francis, 2014. - P. 141-151.

56. Zinserling. Материалы по растительности северо-востока Кольского полуострова. М.-Л., изд-во АН СССР, 162 с., 1935.

57. Земледелие от «А» до «Я» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://racechrono.ru/pochvovedenie> – Почвообразование. – (Дата обращения: 25.04.2018).

58. Большой информационный архив [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://big-archive.ru/> – Почвоведение. – (Дата обращения: 24.01.2018).

59. Расписание погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rp5.ru/> – Данные метеостанции «Центральная». – (Дата обращения: 17.11.2017).

60. Хибины - Горы - Тундра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hibiny-land.ru/> – Особенности Хибинского горного массива. – (Дата обращения: 14.12.2017).

Карта-схема среднеиюльской температуры в подстилках горно-лесных поясов Хибин
(собственные данные за 2016 и 2017 гг. и привлеченные данные 2013-2015 гг.)

ТЕМПЕРАТУРА ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЯСОВ ЗА ИЮЛЬ



Примечание. Обозначение участков:

В БК куст.мох.трав., ЮВ, 390 м – гора Вудъяврчорр, березовое криволесье кустарничковое-травяно-моховое, склон ЮВ экспозиции;

В, БК куст., СЗ, 392 м – гора Вудъяврчорр, березовое криволесье кустарничковое, склон СЗ экспозиции;

С БК куст.трав., З, 340 м – гора Суолайв, березовое криволесье, склон З экспозиции;

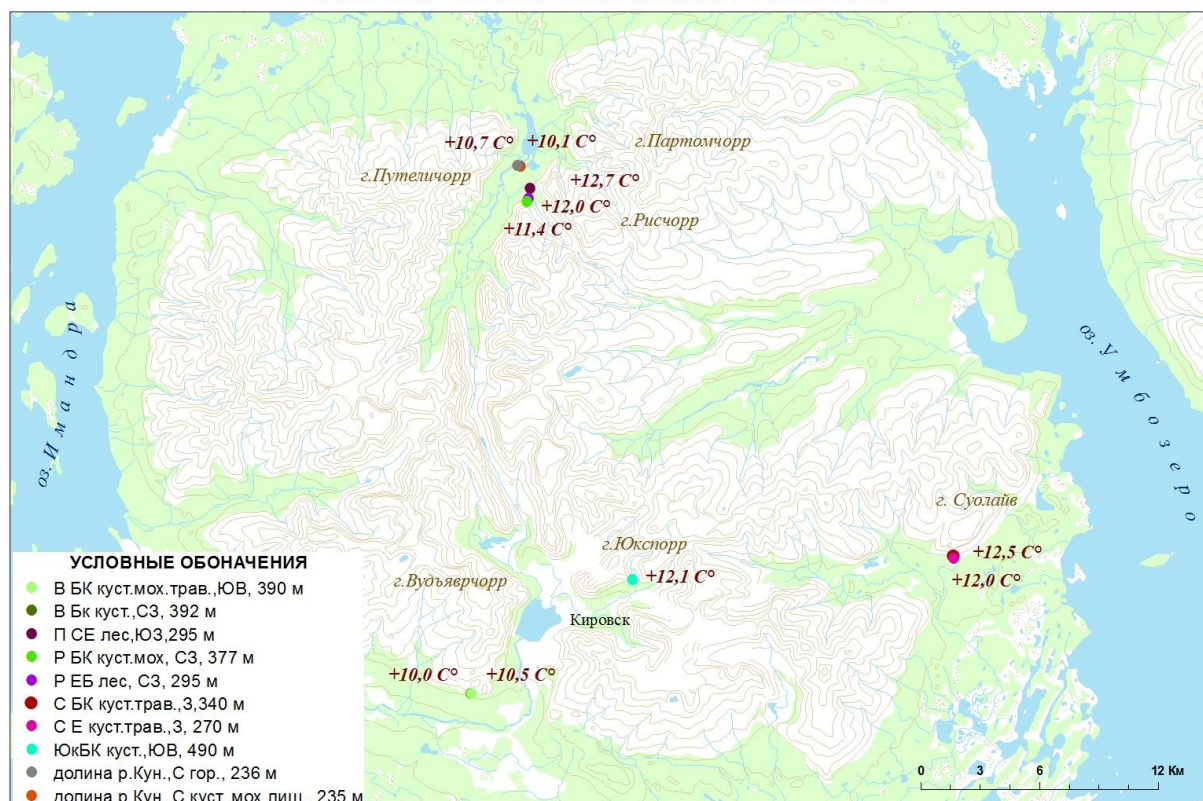
Юк БК куст., ЮВ, 490 м – гора Юкспорр, березовое криволесье, склон ЮВ экспозиции;

Долина р. Кун., С гор, 236 м. – долина реки Кунийок, сосновый лес горелый;

Долина р. Кун., С куст.мох.лиш., 235 м – долина реки Кунийок, сосняк кустарничково – мохово-лишайниковый.

Карта среднеавгустовской температуры в подстилках горно-лесных поясов Хибин
(собственные данные за 2016 и 2017 г.г. и привлеченные данные 2013-2015 гг.)

ТЕМПЕРАТУРА ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЯСОВ ЗА АВГУСТ



Примечание. Обозначение участков:

В БКкуст.мох.трав., ЮВ, 390 м – гора Вудъяврчорр, березовое криволесье кустарничковое-травяно-моховое, ЮВ экспозиция;

В, БК куст., СЗ, 392 м – гора Вудъяврчорр, березовое криволесье кустарничковое, СЗ экспозиция;

П СЕ лес, ЮЗ, 295 м – гора Партомчорр, сосново-еловый лес, ЮЗ экспозиции;

Р БК куст.мох, СЗ, 377м – гора Рисчорр, березовое криволесье кустарничковое-моховое, СЗ экспозиция;

Р ЕБ лес, СЗ, 295 м – гора Рисчорр, елово-березовый лес, СЗ экспозиция;

С БК куст.трав., З, 340 м – гора Суолайв, березовое криволесье, З экспозиция;

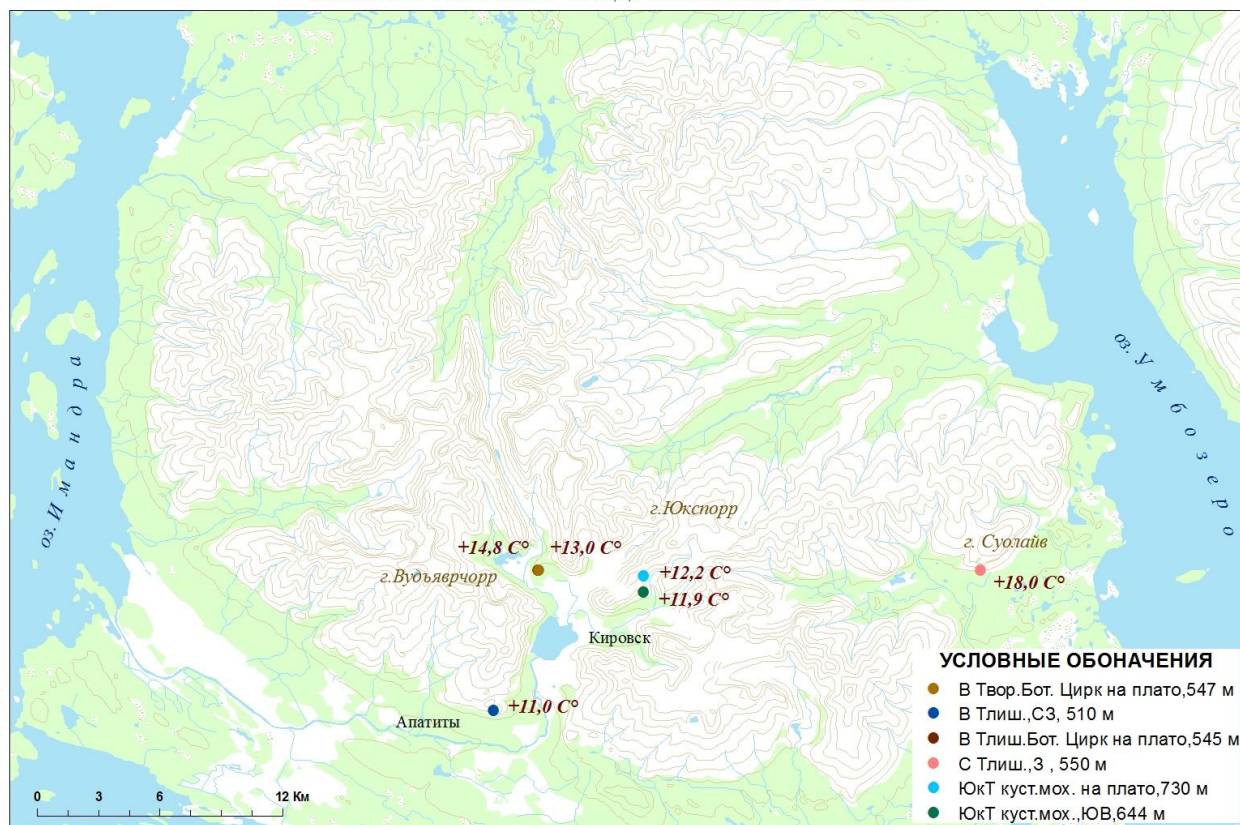
Юк БК куст., ЮВ, 490 м – гора Юкспорр, березовое криволесье, ЮВ экспозиция;

Долина р. Кун., С гор, 236 м – долина реки Кунийок, сосновый лес горелый;

Долина р. Кун., С куст.мох.лиш., 236 м - долина реки Кунийок, сосняк кустарничково-мохово-лишайниковый.

Карта среднеиюльской температуры в подстилках горно-тундровых поясов Хибин
(собственные данные за 2016 и 2017 гг.)

ТЕМПЕРАТУРА ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ПОЯСОВ ЗА ИЮЛЬ



Примечание. Обозначение участков:

В Твор.Бот. Цирк на плато, 547 м – гора Вудъяврчорр, тундра вороничная, площадка Ботанического цирка на плато, 547 м;

В Тлиш.Бот. Цирк на плато, 545 м – гора Вудъяврчорр, тундра лишайниковая, площадка Ботанического цирка на плато, 545 м;

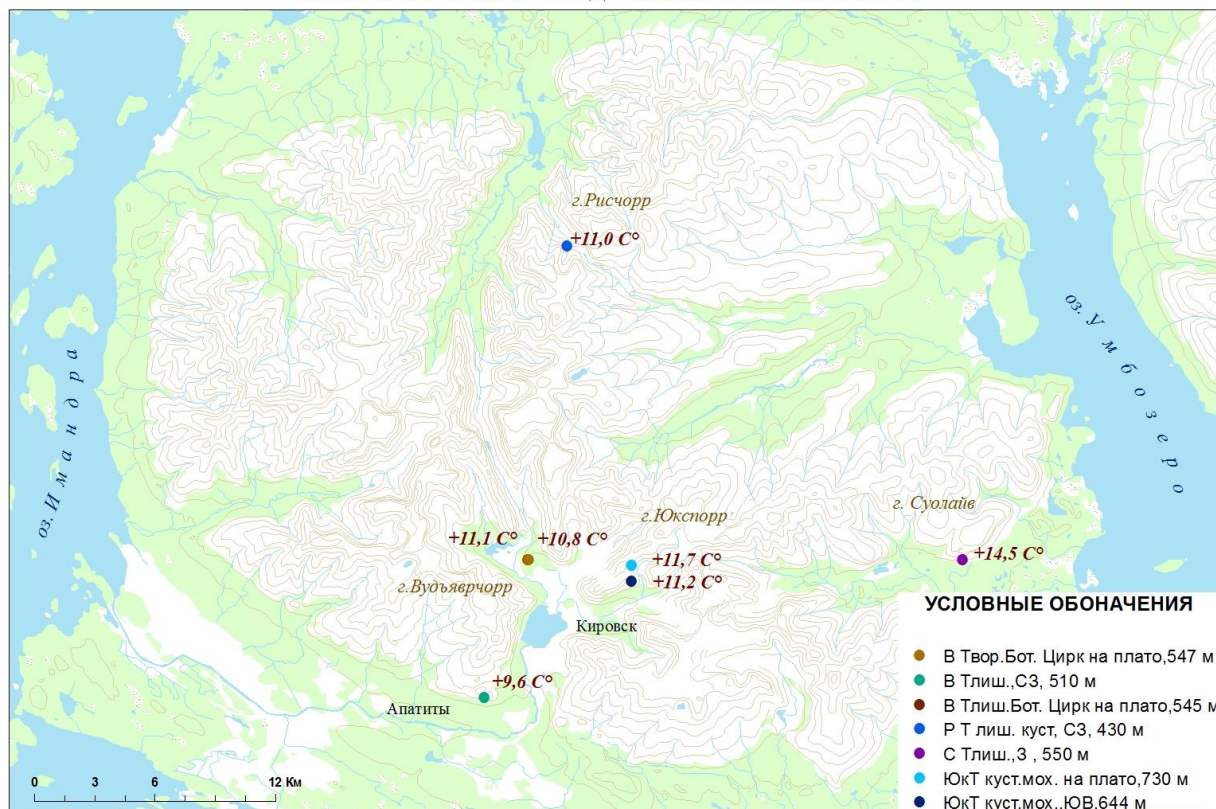
В Тлиш., СЗ, 510 м – гора Вудъяврчорр, тундра лишайниковая на склоне СЗ экспозиции ущелья Скальное;

Юк Т куст. мох., ЮВ, 644 м – гора Юкспорр, тундра кустарничково-моховая, ЮВ экспозиция;

Юк Т куст.мох. на плато, 730 м – гора Юкспорр, высокогорная тундра кустарничково-моховая на плато.

Карта среднеавгустовской температуры в подстилках горно-тундровых поясов Хибин
(собственные данные за 2016 и 2017 гг. и привлеченные данные 2013 г.)

ТЕМПЕРАТУРА ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ПОЯСОВ ЗА АВГУСТ



Примечание. Обозначение участков:

В Твор.Бот.Цирк на плато, 547 м – гора Вудъяврчорр, тундра вороничная, площадка Ботанического цирка на плато;

В Тлиш.Бот.Цирк на плато, 545 м – гора Вудъяврчорр, тундра лишайниковая, площадка Ботанического цирка на плато;

В Тлиш., СЗ, 510 м – гора Вудъяврчорр, тундра лишайниковая на склоне СЗ экспозиции ущелья Скальное;

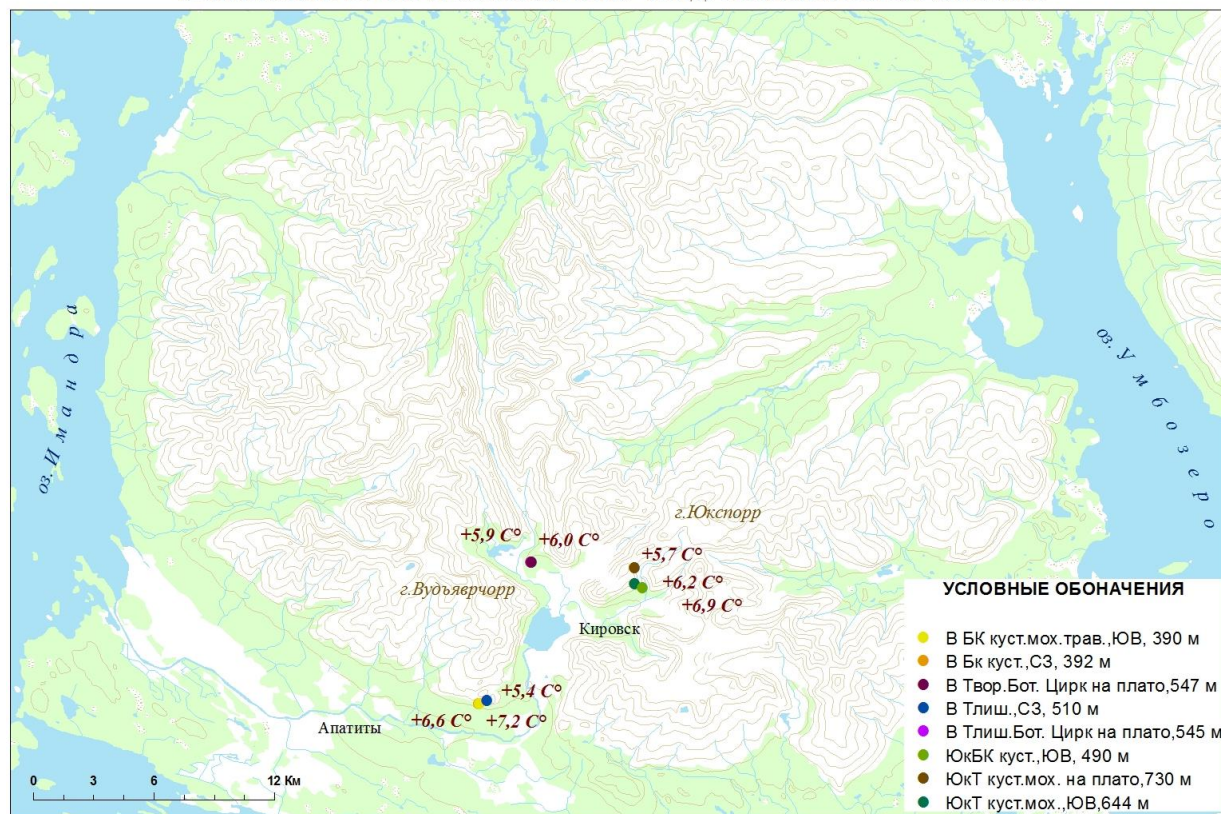
Юк Т куст.мох., ЮВ, 644 м – гора Юкспорр, тундра кустарничково-моховая, ЮВ экспозиция;

Юк Т куст.мох. на плато, 730 м – гора Юкспорр, высокогорная тундра кустарничково-моховая на плато;

Р Т лиш.куст., СЗ, 430 м – гора Рисчорр, тундра лишайниково-кустарничковая, СЗ экспозиция.

Карта среднесентябрьской температуры в подстилках горно-тундровых и горно-лесных поясов Хибин (собственные данные за 2016 и 2017 гг. и привлеченные данные 2013 г.)

ТЕМПЕРАТУРА ГОРНО-ЛЕСНЫХ И ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ПОЯСОВ ЗА СЕНТЯБРЬ



Примечание. Обозначение участков:

В БК куст.мох.трав., ЮВ, 390 м – гора Вудъяврчорр, березовое криволесье кустарничково-травяно-моховое, ЮВ экспозиция;

В, БК куст., СЗ, 392 м – гора Вудъяврчорр, березовое криволесье кустарничковое, СЗ экспозиция;

В Твор.Бот.Цирк на плато, 547 м – гора Вудъяврчорр, тундра вороничная, площадка Ботанического цирка на плато;

В Тлиш.Бот.Цирк на плато, 545 м – гора Вудъяврчорр, тундра лишайниковая, площадка Ботанического цирка на плато;

В Тлиш., СЗ, 510 м – гора Вудъяврчорр, тундра лишайниковая на склоне СЗ экспозиции ущелья Скальное;

Юк БК куст., ЮВ, 490 м – гора Юкспорр, березовое криволесье, ЮВ экспозиция;

Т куст.мох., ЮВ, 644 м – гора Юкспорр, тундра кустарничково-моховая, ЮВ экспозиция;

Юк Т куст.мох. на плато, 730 м – гора Юкспорр, высокогорная тундра кустарничково-моховая на плато.

Публикации автора по теме магистерской диссертации:

1. Штабровская, И. М. Сравнительная динамика температуры подстилки в лишайниковой и кустарничковой тундре Хибин / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Труды XIV Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН (Апатиты, 3-4 апр. 2017 г.). - Апатиты, 2017. - С. 461-464.

2. Штабровская, И. М. Исследование температуры горных почв хибин с использованием автоматических термодатчиков. / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Международная научно-практическая конференция. Использование современных информационных технологий в ботанических исследованиях Тезисы докладов. Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, Мурманское отделение Русского ботанического общества; Редакторы: Е.А. Боровичев, Д.А. Давыдов, Н.Е. Королева. 2017. С. 134-136.