

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФИЦ КНЦ РАН)
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА
(ИППЭС КНЦ РАН)

На правах рукописи



Шабровская Ирина Михайловна

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ И НАСЕЛЕНИЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ
ГОРНЫХ ПОЧВ ХИБИН**

1.5.15 Экология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
кандидат биологических наук,
доцент
Зенкова Ирина Викторовна

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА	11
1.1 Географическое положение	11
1.2 Рельеф и геологические особенности	12
1.3 Почвы и растительность	15
1.4 Горный микроклимат и температурный режим почв	25
1.5 Фауна и почвенное население	32
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ	35
2.1 Объекты исследования	35
2.1.1 Высотные профили гор Юкспорр, Суолайв, Юмечорр	35
2.1.2 Высотный градиент горы Куэльпорр	38
2.1.3 Холодные гольцовые пустыни на плато Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр	40
2.1.4 Горные вырубки и гари	41
2.1.5 Зональный сосняк на прихибинской равнине	43
2.2 Полевые методы	44
2.2.1 Инструментарий	44
2.2.2 Установка термохронов	45
2.2.3 Методы отлова беспозвоночных животных	46
2.3 Лабораторные методы	49
2.4 Математическая обработка и ГИС-картографирование данных	50
ГЛАВА 3. ТЕМПЕРАТУРЫ И НАСЕЛЕНИЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ПОЧВ ХИБИН	52
3.1 Тренды распределения почвенных температур и населения беспозвоночных на склонах разной экспозиции гор Юмечорр, Юкспорр и Суолайв	52
3.1.1 Почвенные температуры в высотных профилях трех гор	52
3.1.2 Население беспозвоночных трех гор	60
3.2 Тренды температуры и населения беспозвоночных в высотном градиенте горы Куэльпорр	77

3.2.1 Годовая динамика температуры в системе атмосферный воздух – поверхность почвы – толща подстилки	77
3.2.2 Летняя динамика температуры подстилки и высотное распространение беспозвоночных	83
3.3. Динамика температуры в петроземах холодных гольцовых пустынь и население беспозвоночных	97
3.3.1 Температурные различия петроземов под разными типами растительности	97
3.3.2 Население беспозвоночных холодных гольцовых пустынь	105
ГЛАВА 4. НАСЕЛЕНИЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И УСЛОВИЯ ИХ ОБИТАНИЯ НА ГОРНЫХ ВЫРУБКАХ И ГАРЯХ	112
4.1 Химические показатели как индикаторы нарушенных почв	112
4.2 Годовая динамика температуры почвенных профилей	114
4.3 Летняя динамика температуры подстилки	124
4.4 Динамика разнообразия беспозвоночных на горных вырубках и горях	127
ГЛАВА 5. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЗОНАЛЬНОГО ЛЕСНОГО ПОДЗОЛА НА ПРИХИБИНСКОЙ РАВНИНЕ	143
5.1 Многолетняя динамика температуры	143
5.2 Сравнение температурного режима зональных и горных почв	149
ГЛАВА 6. ТЕМПЕРАТУРНАЯ БАЗА ДАННЫХ ГОРНЫХ ПОЧВ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	165
РЕКОМЕНДАЦИИ	166
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЫ	166
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	167
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	168
ПРИЛОЖЕНИЯ А.1–Ж.1	195– 217

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Горные экосистемы, занимающие около 27% поверхности планеты, являются центрами биоразнообразия. Повышенное разнообразие горных флор и фаун связано с многообразием местообитаний, возникающим из-за сложного сочетания природных факторов: пересеченного рельефа, экспозиции склонов, высотной поясности почвенно-растительного покрова, формирования экотонных и аazonальных сообществ, специфического горного микроклимата с высотными градиентами метеопараметров, сезонной и суточной спецификой движения воздушных масс. Горные районы России – Хибины, Урал, Забайкалье, Северный Кавказ, Алтае-Саянская горная страна, горы юга Дальнего Востока – занимают четверть ее территории и представлены в 42 из 89 субъектов. Современные экосистемы Среднего и Южного Урала, юга Сибири и Северного Кавказа в результате длительного освоения являются антропогенными модификациями исходно богатого биоразнообразия; менее освоенные горы Средней и Восточной Сибири и Европейского Севера в большей степени сохранили природное разнообразие флоры и фауны (Большаков, 2004; Тишков, 2005).

Для заполярных Хибин повышенное разнообразие биоты подтверждено более чем вековой историей исследований от первых финских и шведских научных экспедиций по «Кольской Лапландии» конца XIX в. и работ Кольской Горной базы АН СССР в 30-х гг. XIX в. до современной научной деятельности Полярно-Альпийского Ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ КНЦ РАН) и Института проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС КНЦ РАН) (Porpius, 1905; Фридолин, 1936 а,б; обзоры: Королева, 2012; Зенкова, 2020; Боровичев и др., 2022).

Наряду с этим, заполярные горные экосистемы уязвимы к воздействию природных и антропогенных факторов и, следовательно, их компоненты являются индикаторами этих воздействий. В Хибинах деятельность горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, наносящая значительный экологический ущерб, ведется более 90 лет. Карьеры, отвалы, прокладка дорог, взрывные работы и загрязнение поверхностных и подземных вод приводят к деградации экосистем. Для сохранения эталонных комплексов заполярных горных лесов и тундр и их уникальной флоры и фауны в 2018 году 70% территории Хибин (84,8 тыс. га) вошли в состав Национального парка федерального значения, приоритетными задачами которого являются: ограничение хозяйственной деятельности, развитие экологического туризма, выявление и охрана

местообитаний редких видов растений и животных с узкими экологическими преферендами.

Среди природных факторов превалирующее влияние на уязвимые экосистемы заполярных гор оказывают климатические изменения. В ответ на увеличение климатической нормы среднегогодовой температуры воздуха в последнее тридцатилетие на 1 °С и годовой суммы осадков на 5% (Климатические нормы; Доклад..., 2023). в горных системах от Алтае-Саянской провинции на юге Сибири до высокоширотных Скандинавских гор, Приполярного Урала и Хибин регистрируется высотное продвижение границы лесов (Крючков, 1958 а, б; Шиятов, 2009; Моисеев и др., 2010, 2016; Петров и др., 2021; Тютюкова и др., 2021; Каверин, 2022; Kullman, 2007; Grigoriev et al., 2022). В Хибинах, на основе сравнения аэрофотоснимков 1958 г. и космоснимков Terra/ASTER 2001 г., выявлен подъем границы леса почти на 30 м (Кравцова, Лошкарева, 2010; Rees et. al, 2008). Эти изменения не могут не влиять на разнообразие и высотное распространение горной биоты и, следовательно, требуют их выявления и мониторинга, наряду с мониторингом окружающих температур (атмосферного воздуха, почвы и иных субстратов) как основного фактора жизнедеятельности организмов у северных границ видовых ареалов.

В Хибинах постоянные учеты температуры носят прикладной характер – ведутся на метеостанциях горнорудных предприятий и центра лавинной безопасности (Сапунов и др., 2006; Трошкина и др., 2009; Заика и др., 2012; Черноус, Михайленко, 2023). В научных целях температурные условия Хибин исследовались сотрудниками ПАБСИ КНЦ РАН для оценки их влияния на высотное-поясное распределение растительности, продуктивности фитомассы и запасов углерода (Мазыро, 1936; Иванова, Колосов, 1937; Крючков, 1957, 1958 а,б, 1962; Рябцева, 1975; Шмакова и др., 2008).

Почвенная фауна Хибин является объектом изучения специалистами по разным таксономическим группам на протяжении последних десятилетий (Россолимо, 1989, 1994; Зенкова и др., 2009, 2011 а, б; Лисковая, 2011; Пожарская, 2012; обзор: Зенкова, 2020), однако эти работы не сопровождались регулярными учетами температур. Как правило, при почвенно-зоологических исследованиях температуру измеряли лишь в даты экспедиционных выездов классическими приборами: атмосферного воздуха – срочным ртутным термометром, почв – коленчатым термометром Савинова ТМ-5. При этом сезонная и годовая динамика большинства температурных параметров, а также их

влияние на разнообразие и распределение почвенного населения в горах оставались неисследованными. Решению задачи пролонгированного учета температуры, мониторинга ее современной динамики и оценки влияния на распространение беспозвоночных в горных экосистемах способствуют регистраторы нового поколения – программируемые термохроны с автономным режимом работы, получившие в последние годы широкое применение в экологическом почвоведении и смежных дисциплинах, в том числе – при изучении почв мерзлотной зоны (Мажитова, 2008; Павлов, 2008; Каверин и др., 2014; Каверзнева и др., 2016; Федоров-Давыдов и др., 2018; Светлаков и др., 2021; Щербакова и др., 2022) и горных почв (Осокин и др., 2012; Зенкова, 2013 а, б, 2015; Шмакин и др., 2013; Моисеев, 2016; Старцев и др., 2016; Кашулина и др., 2020; Литвинова, Кашулина, 2021).

Цель работы – выявление современных трендов динамики температуры и распространения беспозвоночных животных в почвах заполярных гор в условиях климатических изменений и возрастающих антропогенных нагрузок (на примере Хибин).

Задачи:

- 1) Исследовать особенности распространения беспозвоночных в Хибинском горном массиве в зависимости от природных факторов: температуры воздуха и почвы, высотной поясности почвенно-растительного покрова, высоты над уровнем моря, экспозиции и расположения гор.
- 2) Исследовать динамику разнообразия беспозвоночных и условий их обитания в горных экосистемах, нарушенных разными типами воздействия (вырубки, пожары).
- 3) Сформировать на основе результатов исследований базы данных по разнообразию беспозвоночных и температуре горных почв Хибин.

В работе использовано понятие «население почвенных беспозвоночных», трактуемое как совокупность видов животных, населяющих одну территорию, и учитывающее динамику их численности и количественные соотношения (Чернов, 2008).

Научная новизна. Впервые на примере 35 биогеоценозов Хибин, исследованных в 2013–2023 гг., получены и сведены в информационную систему сезонные и годовые температурные ряды, характеризующие современную динамику температуры заполярных горных почв. Определены диапазоны и суммы температур холодного и теплого периодов года, при которых функционируют почвы Хибин и населяющая их

фауна. Выявлен высотный диапазон (340–500 м над ур. м.), в пределах которого выражены достоверные различия летних и зимних почвенных температур между склонами разной экспозиции и горно-растительными поясами и формируется наиболее разнообразное население беспозвоночных. Определены сроки «запаздывания» осеннего остывания подстилки ниже пороговых температур по сравнению с атмосферным воздухом, продлевающего период активности почвенной биоты. Впервые проведены исследования населения беспозвоночных и почвенных факторов на первых стадиях восстановления соседних вырубок и гарей Хибин и выявлены различия, связанные с типом нарушения почвенного покрова. Выявлен эффект длительного (не менее 10-ти лет) привлечения слабо зарастающими рубками и гарями нетипичных для горной фауны Хибин видов членистоногих с разными экологическими предпочтениями. Фауна членистоногое Хибин пополнена 131 новым видом.

Теоретическая значимость. Сформировано представление о современной динамике температуры горных почв северо-западного сектора АЗРФ. Подтверждена принадлежность зонального лесного подзола и почв всех горно-растительных поясов Хибин, включая слаборазвитые петроземы холодных гольцовых пустынь, к типу длительно сезоннопромерзающих, подтипу холодных почв (по классификации почв по температурному режиму (Димо, 1972). Прослежены общие для зональных и горных почв тренды, соответствующие климатическим изменениям (потеплению) последних десятилетий. Обосновано представление о гарях и рубках Хибин, как локальных участках повышенного фаунистического разнообразия. На примере нарушенных горных территорий сформировано представление о температурах вегетационного сезона, потенциально подходящих для привлечения теплолюбивых видов беспозвоночных. Подтверждена необходимость сохранения лесной подстилки для поддержания теплового и водного баланса и восстановления исходного (лесного) комплекса беспозвоночных и экологических функций нарушенных горных почв.

Практическая значимость. Выявленные особенности распределения беспозвоночных животных в горах от природных факторов (высоты над ур. м., экспозиции склонов и окружающих температур) позволяют: целенаправленно вести поиск новых местообитаний редких и охраняемых видов горной фауны; планировать природоохранные мероприятия и ограничивать хозяйственную деятельность и туризм на территории Нацпарка «Хибины» и региональных ООПТ. Организованная

мониторинговая сеть (горно-таежный лес и три варианта его трансформации), не имеющая аналогов в заполярных горах, служит основой долговременного сравнительного экологического мониторинга темпов и направлений сукцессионных преобразований нарушенных горных экосистем и населяющей их фауны. Списки выявленных на вырубках и гарях беспозвоночных (125 видов) могут использоваться как: чек-листы в экологическом мониторинге нарушенных почв заполярных районов и как основа для метаанализа и межрегиональной информационной системы по видам, колонизирующим нарушенные и горные заполярные экосистемы. Базы данных «Температурная база данных горных почв Кольской Субарктики» и «Локальная фауна муравьев (Hymenoptera, Formicidae) Хибинского горного массива» являются: инструментом научной аналитической работы в экологическом и климатическом мониторинге и природоохранных мероприятиях в Нацпарке «Хибины» и региональных горных ООПТ (заповедники «Пасвик» и «Лапландский», природный парк «Кораблекк»); основой выявления статистически достоверных трендов современной динамики и высотного распределения температур и беспозвоночных животных в горах Кольской Субарктики; основой прогноза изменений локальных горных фаун вследствие современных климатических процессов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Тренды распространения беспозвоночных животных на склонах Хибинских гор (нисходящие или восходящие) соответствуют высотным трендам распределения почвенных температур. Население беспозвоночных разнообразно и многочисленно в более прогреваемом высотном диапазоне 340–500 м над ур. м., независимо от горно-растительного пояса и положения гор в пределах массива. На разных высотах одного (горно-таежного) пояса могут преобладать почвенные сапрофаги, зависящие от температуры почв, или хищные членистоногие и насекомые–аэробии, связанные с прогревом воздуха.

2. Низовой пожар является более мощным фактором трансформации горно-таежных лесов по сравнению со сплошной вырубкой и приводит к формированию более разнообразного и специфического населения беспозвоночных. Эффект привлечения нарушенными горными территориями видов с разными экологическими предпочтениями, в том числе, – нехарактерных для местной фауны заполярных гор сохраняется на протяжении десятилетия после воздействия.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов обоснована большим объемом количественных данных, полученных за многолетний период исследований в значительном числе горных биогеоценозов с использованием сертифицированных измерительных приборов (Гос. реестр средств измерений РФ); обработкой данных в стандартных программных пакетах Excel и Statistica; публикацией результатов в рецензируемых научных изданиях; регистрацией баз данных в Федеральной службе по интеллектуальной собственности «Роспатент».

Апробация работы. Результаты работы представлены в виде устных докладов на международных и всероссийских научных конференциях: «Горные экосистемы и их компоненты» (Нальчик, 2024; 2021); «Природа Арктики в современных научных исследованиях» (Апатиты, 2024); «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» (Апатиты, 2024; 2019); «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования» (Москва, 2023); «Биомониторинг в Арктике – 2022» (Архангельск, 2022); «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии» (Апатиты, 2022); 50th International ARCTIC WORK SHOP (Colorado, 2021); «Актуальные вопросы изучения и сохранения растительного мира Арктики и горных районов» (Апатиты, 2021); «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны» (Москва, 2020); «Глобальные проблемы Арктики и Антарктики» (Архангельск, 2020); «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы» (Москва, 2019); «Математические исследования в естественных науках» (Апатиты, 2019), XVI Ферсмановской научной сессии (Апатиты, 2019).

Личный вклад автора. Автор участвовал в экспедиционных работах, учетах температуры и почвенной фауны в Хибинских горах и на прихибинской равнине, в разборе почвенных проб, ловушек и камеральной обработке зоологического материала; статистической обработке температурных рядов, формировании и наполнении температурной базы данных; в подготовке картографических материалов (ArcGIS, версия 10.4). Анализ, обобщение и интерпретация результатов выполнены автором лично или при его непосредственном участии.

Участие в проектах. Работа проведена в рамках тем Госзадания № 1021051803679–9 «Динамика восстановления биоразнообразия и функций наземных экосистем Субарктики в условиях комбинированного действия природных и

антропогенных факторов», 2018–2021 гг. и № 122022400120–2 «Биоразнообразие и мультифункциональность наземных экосистем Евро-Арктического региона», 2022–2024; Важнейшего инновационного проекта государственного значения № 123030300031–6 «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории РФ, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах», 2022–2024; гранта РНФ № 22–14–20002 «Биологическое разнообразие и функционирование горных арктических экосистем Кольского полуострова в эпоху глобальных климатических изменений», 2021–2024. Диссертационное исследование автора поддержано грантом РФФИ–Аспиранты № 20–34–90135 «Температурный режим почв как фактор разнообразия и активности почвенной биоты в горных экосистемах Кольской Субарктики», 2020–2022.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 из которых индексируются в международных базах WoS и Scopus.

Объем и структура работы. Диссертация включает введение, 6 глав, заключение, рекомендации, перспективы дальнейшей работы, список цитируемой литературы (282 источников: 42 на иностранном языке и 240 на русском), изложена на 217 страницах, содержит 76 рисунков, 23 таблицы и 8 приложений (20 таблиц, 2 рисунка).

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность к.б.н., доценту И.В. Зенковой за руководство работой, идеи, помощь при подготовке диссертации и таксономическом определении почвенных беспозвоночных, ценные советы и замечания. Автор признателен сотрудникам лаборатории Наземных экосистем ИППЭС КНЦ РАН за возможность проведения исследований на базе лаборатории, поддержку и ценные советы. Автор благодарит к.б.н. Н.Е. Королеву (ПАБСИ КНЦ РАН) – руководителя проекта РНФ и организатора горных экспедиций, в ходе которых была собрана значительная часть материала. Особую благодарность автор выражает д.б.н. Филиппову Б.Ю. (Архангельск), д.б.н. Макарову К.В. (Москва), к.б.н. Зубрий Н.А. (Архангельск), к.б.н. Юсупову З.М. (Нальчик), к.б.н. Дитц А.А. (Сыктывкар), к.б.н. Нехаевой А.А. (Москва) за видовое определение беспозвоночных, предоставленные данные и консультации. Отдельные слова благодарности автор выражает своим родным за веру и поддержку.

Глава 1. ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА

1.1 Географическое положение

Хибинский горный массив расположен в Мурманской области, которая географически охватывает территорию Кольского полуострова и часть материка, 68°02' с.ш. 34°34' в.д. (Кольская энциклопедия, 2008). Рельеф области отличается значительной пересеченностью, представляя собой систему впадин и возвышенностей, образованных движением ледника. Крупнейшие возвышенности расположены в центральной и западной частях области: Чуна тундра (1114 м. над ур. м.), Ловозерские тундры (1000 м), Сальные (997 м), Мончетундра (965 м), Волчьи (955 м), Колвицкие (636 м), Печенгские (631 м) и Панские тундры (629 м) (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Местоположение крупнейших возвышенностей на карте Мурманской области (Атлас..., 1971)

Хибины расположены между двумя озерами крупнейшими в регионе – Имандра и Умбозеро, на 150 км севернее Полярного круга (таблица 1.1). Сходным с Хибинами по заполярному расположению и высотным отметкам является Полярный (до 1472 м над ур. м.), Приполярный (1894 м) и Северный (1569 м) Урал – естественная граница европейской и азиатской частей России. Другие горные массивы России крупнее и сформированы в основном в восточных (Алтайские, Саянские горы и Камчатские сопки) и южных (Кавказ и Крымские горы) районах.

Таблица 1.1 – Крайние точки Хибинского горного массива

Горы	Север	Восток	Юг	Запад
	Северный Лявчорр	Коашкар	Айкуайвенчорр	Юмечорр
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, м над ур. м	787	575	1075	1097

Площадь Хибин оценивается в 1300 км², что составляет 0,89% от общей площади Мурманской области, равной 144,9 тыс. км² (Атлас ..., 1971).

Важным отличием Хибинского горного массива от Уральского является его не замкнутая кольцевая форма, которая напоминает две вложенные друг в друга подковы, открытые в восточной части. Из-за кольцевой формы массива формируется особый микроклимат, выражающийся в специфике движения атмосферных масс, особенности прогрева склонов разной экспозиции, перераспределении холодных и теплых воздушных потоков, различиях температурного режима на склонах сходной экспозиции и горах наружного и внутреннего колец.

1.2 Рельеф и геологические особенности

По современной геохронологической шкале IUCS (1996 г.), возраст Хибин составляет 365 млн лет, что соответствует верхнему девону (Боруцкий, 2010). Первые сведения о форме, размерах и горных породах Хибин получены финскими геологами Вильгельмом Рамзаем и Виктором Аксель Гакманом в 1887–1902 гг. Массив имеет округлую форму размером около 45 км на 35 км (Хибины..., 2022).

Хибины сложены щелочными породами: комплексы плутонических и вулканоплутонических ультраосновных пород, карбонатитами и нефелиновыми сиенитами (Гергелчев и др., 1974; Кононова, 1984). Наиболее распространёнными горными породами Хибинского массива являются нефелиновые сиениты – фойяиты, слагающие около 70 % площади массива (рисунок 1.2) (Коноплева и др., 2020). Главная кольцевая зона сложена фойдолитами, которые окаймлены нефелиновыми сиенитами (рисчорриты и не разнотермистые лявчорриты) обогащёнными калием. Малая дуга, еще одна полукольцевая зона Хибин, сложена мельтейгит-уртитам, мелкозернистыми щелочными малиньитами и нефелиновыми сиенитами (фенитов) с обломками

вулканогенно-осадочной горной породы. Известно, что нефелин содержит повышенное количество кремния и калия (Hamilton, 1961).

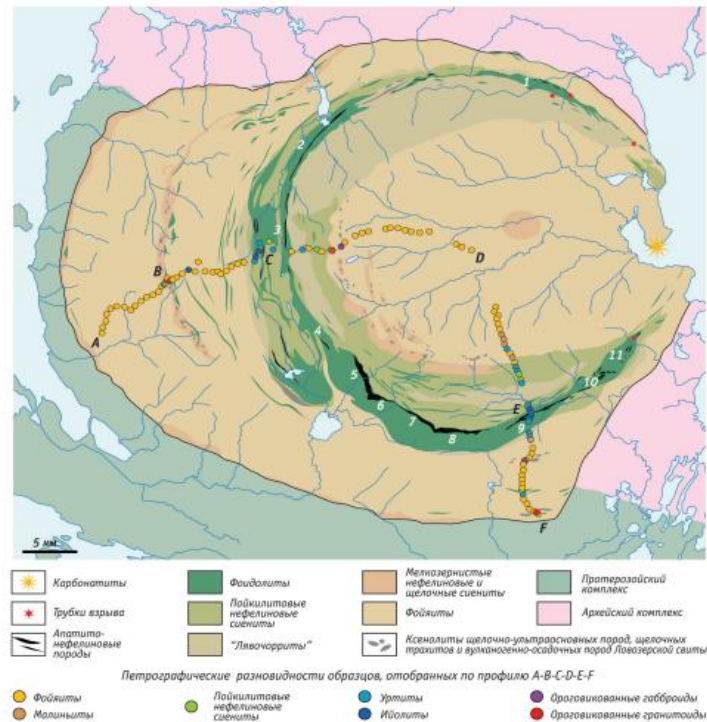


Рисунок 1.2 – Схема геологического строения Хибинского массива
(Сняtkова и др., 1983, с упрощениями)

Уникальность Хибин заключается в их минерально-сырьевой базе: десятая часть известных в мире минералов найдена на его территории. Более 100 минералов, найденных в Хибинах не встречается за пределами Мурманской области, а 25% мировых запасов редкоземельных элементов сосредоточены здесь (Кривовичев и др., 2019).

Дочетвертичный рельеф Кольского полуострова сформировался под влиянием тектонического фактора. Процессы выветривания, денудации и аккумуляции способствовали созданию более мелких форм рельефа, которые не затрагивали крупные черты рельефа (Лаврова, 1960). На формирование современного рельефа Хибин повлияли оледенения четвертичного периода. Ледники покрывали огромную территорию, и периоды их распространения сменялись теплыми межледниковыми потеплениями и периодами регресса ледника. В качестве примера можно привести последнее таяние Скандинавского ледника (около 12 тыс. лет назад) и резкого потепления (около 10 тыс. лет назад), когда морская береговая линия располагалась выше современной примерно на 100 м и происходили локальные поднятия земной коры (Хибины..., 2022). Все типичные формы рельефа, представленные в Хибинах,

сформировались в результате воздействия ледника – это флювиогляциальные террасы, цирки, долины, «бараньи лбы», желоба и др.

На формирование современного микрорельефа Хибин оказывают влияние физико-химические факторы – физическое и химическое выветривания (воздействие снега, мороза, ветра и воды). В рельефе Хибин выделяют три яруса (Арманд, 1964). Верхний ярус – это плато, одиночные высокие вершины и гребни (1000–1100 м); средний ярус рельефа – выровненные поверхности вершин, склонов и отрогов (от 300 до 800 м); нижний ярус – это подгорные и аккумулятивные равнины, долины крупных рек и озер (150–350 м), а в котловинах озер – до 60 м. Среднегорность определяет относительно «простую» высотную поясность Хибин в сравнении с более высокогорными массивами РФ. До высоты 300 – 350 м над ур. м. поднимается пояс горно-таежных редколесий (28 % территории Хибин), от 450 до 500 м – пояс березовых криволесий (27 %), от 800 до 900 м – пояс горных тундр (19 %), от 900 до 1200 м – пояс холодных гольцовых пустынь (20 %) (Алексеев и др., 2017).

Современный рельеф Хибин формируется под влиянием антропогенных факторов разной степени интенсивности. Сформированы новые техногенные формы рельефа (карьеры, отвалы, хвостохранилища), занимающие до 5% площади горного массива, территория которых сопоставима с площадью, занимаемой еловыми лесами (Хибины..., 2022).

История промышленного освоения Хибин насчитывает порядка 90 лет, на протяжении которых деятельность крупных предприятий по освоению хибинских месторождений и переработке минерального сырья. На территории Хибинского массива расположены крупнейшие месторождения апатит-нефелиновых руд. В настоящее время разработка полезных ископаемых проводится как подземным, так и открытым способами на 7 месторождениях: Коашва (Олений ручей), Кукисвумчорр и Юкспорр (Кировский рудник), Коашва и Ньоркпахк (Восточный рудник), Апатитовый цирк и плато Расвумчорр (Расвумчоррский рудник). На сегодняшний день – деятельность компаний ОАО «Апатит» и АО «Северо-Западная Фосфорная Компания» несет угрозу существования хрупкой и уникальной по своему биоразнообразию природе этого заполярного горного массива (Зенкова и др., 2020). После присвоения Хибинам статуса Национального парка в 2018 г. возросла актуальность задач сохранения уникальных природных объектов и эталонных комплексов хибинской горной тундры и северной

тайги, экологического мониторинга и восстановления территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью горнодобывающих компаний.

Таким образом, характерной геологической особенностью Хибинского массива является щелочная природа пород и дугообразное (кольцевое) строение. Большая часть массива сложена породами двух групп – нефелиновых сиенитов и фойдолитов, которые являются ключевыми почвообразующими породами Хибин (главным образом, элювий и элюво-делювий нефелиновых сиенитов) и определяющими специфику почвообразования, а также дифференциацию почвенного покрова.

1.3 Почвы и растительность

Согласно почвенно-географическому районированию (Иванова и др., 1958), 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 северо-таежной подзоны Центральной таежно-лесной области. Почвы территории Северной Норвегии, как части единого физико-географического пространства в пределах Северной Фенноскандии, подробно описал В. Н. Переверзев (2013).

Почвы природных зон в пределах Северной Фенноскандии относятся к единой генетической общности с некоторыми количественными различиями основных генетических показателей, которые позволяют выделить подтипы почв в типе подзолов. Тундра тянется неширокой полосой по берегу Баренцева моря и вдоль горла Белого моря и занимает 20% территории области (Хибины..., 2022). Лесная зона делится на две подзоны - лесотундровую и северотаежную. Леса Мурманской области расположены в границах северотаежной и лесотундровой подзон (Кольская энциклопедия..., 2008). В подзонах южной тундры, лесотундры и в лесном поясе горных массивов (Хибинского, Ловозерского и Кандалакшского) распространены иллювиально-гумусовые подзолы, а в подзоне северной тайги–иллювиально-железистые подзолы. В Мурманской области, в большей части территории лесной зоны, сложный макро и мезорельеф, следовательно, распределение тепла, влаги и интенсивность биогенной аккумуляции органического

вещества в почвах может существенно различаться на разных элементах рельефа (Белов, Барановская, 1969; Манаков, Никонов, 1981). Многообразие типов и подтипов почв, сформировавшихся на территории Северной Фенноскандии, приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Классификация почв Северной Фенноскандии, сформированных на рыхлых и кристаллических породах (Переверзев, 2013)

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

На рыхлых и кристаллических породах сформировались Al-Fe-гумусовые почвы разной степени гидроморфности, которые являются основой почвенного покрова региона. Другие типы почв занимают ограниченные ареалы или входят в состав комбинации с основными типами почв (Переверзев, 2013). Высотная поясность Хибинского горного массива соответствует широтной ландшафтной зональности Мурманской области, территория которой расположена в тундровой и бореальной (лесной) зонах.

Неоднородность почвообразующих пород Хибинского горного массива является важным фактором дифференциации почвенного покрова (Переверзев, 2010). Почвы Хибин генетически различаются по природным поясам, так как значительный перепад высот определяет проявление четкой вертикальной зональности (высотная поясность) в виде смены от подножия к вершинам состава почвообразующих пород, типов почв, растительного покрова, разнообразия и распределения фауны. В Хибинах выделяется 4 основных горно-растительных пояса: горно-таежных редколесий, березовых криволесий, горно-тундровый и холодных гольцовых пустынь. Большое количество

работ было посвящено исследованию как зональных почв (Мазыро, 1936; Иванова, Колосов, 1937; Пономарева, 1940; Левина, 1969; Манаков, Никонов, 1979; Подольская, Владыченский, 2003; Владыченский, Богомолова, 2004), так и почв Хибинского горного массива (Мазыро, 1936; Иванова, Колосов, 1937; Пономарева, 1940, 1964; Белов, Брановская, 1969; Чепурко, 1971; Манаков, Ушакова, 1975; Подольская, 2005; Маслов и др., 2021). Авторами показаны особенности почвообразования на породах разного происхождения и отмечено наличие в Хибинах почв без осветленного горизонта, которые сформировались на элюво-делювии нефелиновых сиенитов и диагностированы как скрытоподзолистые иллювиально – гумусовые почвы. Исследования авторов, в основном, были направлены на изучение почв в горно-таежных редколесьях и березовых криволесьях.

В горно-таежных редколесьях и березовых криволесьях, в условиях свободного внутреннего дренажа, обусловленного положением в рельефе, сформировались типичные подзолы (*Albic Podzols*), которые занимают автоморфные позиции без дополнительного (поверхностного или внутрипочвенного) увлажнения. Для типичных подзолов характерно присутствие в профиле белесого горизонта, серого или грязно-серого цвета. По классификации 2004 года подзолы представлены профилем: О (0–10 см) – Е (2 см) – Vfh (до 20–30 см) – С (30–60 см) (Классификация..., 2004).

В горно-тундровом поясе сформировались подбуры (*Entic Podzols*) на почвообразующих породах, элювий нефелиновых сиенитов, со свободным внутренним дренажем с профилем – О (0–3 см) – Bhf (Bh) (3–10 см), Vf (10–20 см) – ВС (20–40 см) – С (40–50 см). Подбуры образовались без явно выраженного подзолистого горизонта с содержанием кремнезема, не превышающего 55 % (Переверзев, 2013).

В поясе холодных гольцовых пустынь сформировались типичные петроземы (*Leptosols*) с укороченным почвенным профилем (О–R) и с маломощной подстилкой до 3 см. По химическим и физико-химическим свойствам они близки к сухоторфяно подбурам, сформированным в поясе горных тундр под кустарничковой растительностью (Маслов и др., 2021).

Большое влияние на формирование горных почв Хибин оказывают условия увлажнения, которые определяются как почвенными факторами (гранулометрический состав), так и внешними факторами (характер рельефа местности, уровень грунтовых вод). Почвы всех горно-растительных поясов Хибин характеризуются большой

каменистостью как элювиальных отложений, так и делювиальных отложений, особенно в конусах выноса (скопление валунов, песка, и других материалов) материала водными потоками в обширных цирках (Переверзев, 2010). Гранулометрический состав горных почв отражает формирование рыхлых отложений в суровых климатических и сложных орографических условиях. В природных поясах он однородный (частицы < 1 мм). Все почвы относятся к песчаным, за исключением почв горной тундры – они сложены супесчаным материалом.

Почвы горно-растительных поясов Хибин дифференцируются по содержанию кремнезема, так как формировались на разных по происхождению и составу горных породах. Более богатым химическим составом отличаются почвы холодных гольцовых пустынь и тундрового пояса, сформированных на элювии нефелиновых сиенитов, и менее богатым – почвы лесотундры и пояса горно-таежных редколесий, сформированных на породах, в составе которых присутствует мореный материал. Почвы горно-таежных редколесий и березовых криволесий отличаются четкой дифференцированностью генетических горизонтов. С переходом к биогеоценозам горных тундр и гольцовых пустынь наблюдается уменьшение продуктивности растительных сообществ, биологической активности и мощности почв, а также увеличение их щебнистости.

Состав гумуса почв Хибин в отличие от почв равнинной части Кольского полуострова характеризуется своими особыми тенденциями, так как образовались на породах разного генезиса и состава (Белов, Барановская, 1969; Манаков, 1970, 1972). Почвы равнинных территорий развиваются на хорошо водопроницаемых сильнозавалуненных супесчаных грубозернистых моренных водно-ледниковых отложениях, которые относятся к типу иллювиально-гумусовых подзолистых почв. В природных условиях зональные почвы в разных районах Мурманской области не имеют существенных различий. Для них характерны одинаковые подстилающие и почвообразующие породы, дренированность, сходные климатические условия, мелкоконтурность и пестрота почвенного покрова, идентичные сочетания почвенных подтипов (Меньшикова, 1990; Ушакова, 1997; Переверзев, 2004).

От горно-таежных к горно-тундровым биогеоценозам отмечаются тренды к усилению обогащения почв гумусом и переходом гуминовых кислот к фульвокислотам (Манаков, Никонов, 1979).

Растения в процессе жизнедеятельности могут изменять почвенные свойства через поглощение элементов питания, поступление органического вещества в почвы из растительного опада или корневых выделений (Макаров и др., 2020). Географическое положение и мягкий климат Мурманской области определяют развитие преимущественно бореальных типов растительности: хвойных лесов и бореальных болот, которые сменяются при продвижении на север и с увеличением высоты местности березовыми редколесьями, криофильными кустарничковыми и лишайниковыми сообществами (тундрами), а также горными арктическими пустынями (Цинзерлинг, 1934; Раменская, 1983).

Растительность горного массива активно изучается с начала освоения Кольского полуострова, но до сих пор нет единого мнения о структуре и составе наиболее крупных единиц. 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. В пределах горно-тундрового пояса он выделял подпояса – нижний (кустарниковых и кустарничковых тундр), средний (приснеговых лугов и лишайниковых тундр) и верхний (разреженных кустарничково-лишайниковых тундр). В исследованиях Р. Н. Шлякова (1961), пояс выше границы древесной растительности носит название гольцового, что более соответствует структуре и составу растительного покрова. Раменская М. Л. (1983) выделяла в Хибинах горно-тундровый пояс, расположенный выше границы древесной растительности (от 350–400 м над ур. м.), а на самых высоких вершинах и плато – пояс горных арктических пустынь. Н. А. Алексеенко с соавторами (2017), в свою очередь, картографически определили площадь холодных гольцовых пустынь в Хибинах. По этим исследованиям около 20% площади приходится на гольцовые пустыни, 27% – на берёзовые редколесья и криволесья, 19% – на горную тундру, 13% – на сосновые леса, 8% – на мелколиственно-хвойные леса, 7% – на еловые леса, при этом 1% занимают водные объекты, а 5% – антропогенно преобразованные территории (Алексеенко и др., 2017).

Горно-таежный пояс (редкостойных сосновых и еловых лесов) занимает высоты от 314 до 370–380 м, реже до 390 м над ур. м., местами, особенно на крутых склонах, может быть, вовсе не представлен. Особенно резко выражены черты зоны северной тайги. Основная лесообразующая порода – ель сибирская *Picea obovata* (Ledeb.).

Произрастает редко в связи с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями. Следовательно, создаются условия для постоянной и значительной примеси березы мозолистой *Betula callosa* (Noto ex Lindq.). Реже встречается береза извилистая *Betula tortuosa* (Ledeb.). Древесный ярус отличается низкой продуктивностью, а подлесок не образует выраженного яруса (Козупеева и др., 1984).

По данным Н. Е. Королевой (2001) основная часть еловых и елово-березовых лесов горнолесного пояса принадлежит к ассоциации *Eu-Piceetum abietis* (Caj. 1921) К.-Lund 1962, которая объединяет североевропейские бореальные леса на минеральных почвах. Иногда они составляют верхнюю границу леса в районах распространения сосны. Представлен древостой различной сомкнутости – от 0,2...0,3 до 0,8. Помимо ели сибирской преобладают берёза пушистая *Betula pubescens* (Ehrh.), берёза субарктическая *Betula Subarctica* (N. I. Orlova), а также рябина Городкова *Sorbus gorodkovii* (Pojark.) и ольха Кольская *Alnus kolaensis* (N. I. Orlova).

В подлеске пояса горно-таежных редколесий встречаются можжевельник сибирский *Juniperus sibirica* (Burgsd.), жимолость голубая *Lonicera caerulea* (L.), смородина красная *Ribes acidum* (Turcz. Ex Pojark.). В травяно-кустарничковом ярусе преобладают черника обыкновенная *Vaccinium myrtillus* (L.), водяника обоеполая *Empetrum hermaphroditum* (Hagerup), филлодоце голубая *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab., дёрен шведский *Cornus suecica* (L.), линнея северная *Linnaea borealis* (L.) и седмичник европейский *Trientalis europaea* (L.). В ельниках на нижних горных террасах встречаются герань лесная *Geranium sylvaticum* (L.) и голокучник обыкновенный *Gymnocarpium linneanum* (L.), которые местами доминируют в травяном ярусе (Эколого-экономическое..., 2014). Моховой покров хорошо развит, в нем преобладают плевроциевые и дикрановые мхи (*Dicranum scoparium* (Hedw.), *D. Majus* (Turner), кукушкин лён обыкновенный *Polytrichum commune* (Hedw.)) и печеночники (барбилофозия плауновидная *Barbilophozia lycopodioides* (Wallr.) Loeske, obtusifolium тупой *Obtusifolium obtusum* (Lindb.) S. W. Arnell.). Из лишайников встречаются представители рода *Peltigera* – пельтигера пупырчатая *P. aphthosa* (L.) Willd., пельтигера собачья *P. Canina* (L.) Willd., пельтигера многопальчатая *P. polydactyla* (Neck) Hoffm, а также нефрома арктическая *Nephroma arcticum* (L.) Torss.

Сосновые леса встречаются в северных предгорьях Хибин, по долине реки Кунийок. Они образованы в основном сосной Фриза *Pinus friesiana* (Wich.) с примесью

березы пушистой и елью сибирской. Они могут быть отнесены к союзу *Phyllodoco-Vaccinion myrtillin* Nordh. 1936, который объединяет лесные и тундровые сообщества на олиготрофных местообитаниях в холодно-гумидных и горных районах Северной Европы с преобладанием эрикоидных кустарничков: водяника, голубика и в травяно-кустарничковом ярусе – филлодоце голубая (Эколого-экономическое..., 2014).

Травяно-кустарничковый ярус хорошо развит, в нем встречаются черника, водяника черная *Empetrum nigrum* (L.), брусника *Vaccinium vitis-idaea* (L.), луговик извилистый *Avenella flexuosa* (L.) Drejer, грушанка круглолистная *Pyrola rotundifolia* (L.), седмичник европейский *Trientalis europaea* (L.), плаун годичный *Lycopodium annotinum* (L.). Для мохово-лишайникового яруса характерна высокая мозаичность. В нем встречаются плевроциум Шребера *Pleurozium schreberi* (Willd. Ex Brid.) Mitt., политрихум можжевельниковидный *Polytrichum juniperinum* (Hedw.), политрихум волосоносный *P. piliferum* (Hedw.), реже - гиелокомиум блестящий *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruchet al., дикранум скученный *Dicranum congestum* (Brid.), дикранум метловидный *D. scoparium* (Hedw.), барбилофозия плауновидная *Barbilophozia lycopodioides* (Wallr.) Loeske.

Лишайниковый покров чаще несплошной (покрытие не превышает 50 %) и маломощный. Лишайники распространены пятнами, формируя мозаичный покров, это, в основном, представители рода *Cladonia* – кладония звездчатая *C. stellaris* (Opiz), кладония рангиферина *C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg., кладония мягкая *C. mitis* (Sandst.), кладония дюймовая *C. uncialis* (L.) Weber ex F. H. Wigg., реже – пельтигера пупырчатая.

Пояс березовых криволесий расположен на высотах от (330) 370 – 380 до 440 м, а по склонам южных экспозиций до 500 и даже до 600 м над ур. м. Характерная черта пояса – преобладание в древесном ярусе искривленных берез: березы мозолистой и в значительно меньшей степени березы извилистой. Ели встречаются лишь в единичном экземпляре, преимущественно в нижней части пояса (Козупеева и др., 1984). Пояс березовых криволесий не имеет четких границ, часто распадается на отдельные пятна, чередующиеся с горно-тундровой растительностью. В его пределах встречаются ивняки, расположенные в долинах рек и ручьев, и горно-луговые участки.

В верхней части пояса фрагменты криволесья чередуются с участками тундры, образуя березовую лесотундру. Могут встречаться участки березового редколесья, в котором березы разбросаны по фону тундровой растительности или чаще по фону

кустарников – ивняков и зарослей карликовой березы (ерника). Вверх по склону возрастает участие березы Черепанова *Betula czerepanovii* (N. I. Orlova) и формируются сообщества *Betula czerepanovii*-var, в которых возрастает участие лишайников рода кладония, а также флавоцетрария *Flavocetraria* (Kärnefelt et A. Thell) – флавоцетрария снежная *F. Nivalis* (L. Kärnefelt et A. Thell), флавоцетрария клубочковая *F. Cucullata* (Bellardi Kärnefelt et A. Thell). В кустарничковом ярусе доминируют водяника, толокнянка альпийская *Arctous alpina* (L. Nied.), толокнянка обыкновенная *Arctous taphylosuva-ursi* (L. Spreng).

В горных березняках основным доминантом древесного яруса является береза Черепанова *Betula czerepanovii*-var (N. I. Orlova), а в подлеске – можжевельник обыкновенный *Juniperus communis* (L.), береза карликовая *Betula nana* (L.), ива козья *Salix caprea* (L.), реже встречается кизильник киноварно-красный *Cotoneaster cinnabarinus* (Juz.). В травяно-кустарничковом ярусе представлены те же виды, что и в расположенных ниже елово-березовых лесах: водяника, голубика, филлодоце голубая, из расположенных выше горно-тундровых сообществ появляется толокнянка альпийская *Arctous alpina* (L. Nied.). А в мохово-лишайниковом ярусе доминируют плевроциевые, дикрановые мхи и листоватые лишайники рода *Peltigera* (L.), нефрома арктическая, а также лишайники рода кладония *Cladonia* (P. Browne) (Эколого-экономическое..., 2014). В местах, где поздно сходит снег, развиваются специфические сообщества с преобладанием криофильных видов, например, таких как: сушеница приземистая *Gnaphalium supinum* (L.), гарриманелла моховидная *Harrimanella hypnoides* (L. Cov.), сиббальдия распростертая *Sibbaldia procumbens* (L.) и ивы полярной *Salix polaris* (Wahlenb.).

Горно-тундровый пояс занимает высоты от 380–400 до 700–750 м над ур. м, с отдельными пятнами до 900–950 м. Его подразделяют на два подпояса: нижний (кустарниково-тундровый, или гемикриофитный) и верхний (тундровый или эукриофитный). Для нижнего подпояса характерны мелкоерниковые тундры. Прослеживается невысокий ярус березы карликовой (10–40, редко 50 см) различной густоты (от 20–25 до 70 % и более) с примесью ив, главным образом ивы сизой *Salix glauca* (L.) (Козупеева и др., 1984).

Нижняя граница тундрового пояса начинается неширокой полосой кустарниковых тундр, в которых доминант – 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 горной тундры занимают сообщества союза *Phyllodoco-Vaccinionmyrtilli* (Nord. 1936) с ассоциациями *Arctos taphyloalpini-Empetretum hermaphroditi* (Цинзерлинг, 1935), *Phyllodoco-Vaccinietum myrtilli* (Nordh. 1943), *Empetro-Betuletum nanae* (Nordh, 1943) (Королева, 2001).

В кустарничковом ярусе горной тундры присутствуют водяника, толокнянка альпийская, голубика болотная, черника, брусника *V. vitis-idaea* (L.), береза карликовая, если не образует выраженного кустарничкового яруса, также представлена бартсия альпийская *Bartsia alpina* (L.), мытник лапландский *Pedicularis lapponica* (L.), овсяница овечья *Festuca ovina* (L.), осока Бигелоу *Carex bigelowii* (Torr. Ex Schwein.).

Особенность сообществ ассоциации, по мнению, Н. Е. Королевой – хорошо развитый мохово-лишайниковый покров, в котором представлены: плевроциум Шребера, дикранум большой *Dicranum majus* (Turner), дикранум каштановый *D. Spadiceum* (J. E. Zetterst), дикранум скупенный *D. Congestum* (Brid.), дикранум метловидный *D. Scoparium* (Hedw.), ритидий морщинистый *Rhytidium rugosum* ((Hedw.) Kindb.), аулакомниум вздутый *Aulacomnium turgidum* ((Wahlenb.) Schwägr.), среди печеночников – птилидиум реснитчатый *Ptilidium ciliare* ((L.) Hampe), барбилофозия плауновидная *Barbilophozia lycopodioides* ((Wallr.) Loeske), из лишайников наиболее часты цетрария исландская *Cetraria islandica* ((L.) Ach.), неформа арктическая *Nephroma arcticum* ((L.) Torss.), а также виды родов пельтигера *Peltigera* (Willd.) и кладония *Cladonia* (P. Browne).

В травяно-кустарничковом ярусе доминируют черника, голубика, брусника, филлодце голубая, водяника обоеполая, золотарник обыкновенный *Solidago lapponica* (With.), луговик извилистый *Avenella flexuosa* ((L.) Drejer), в мохово-лишайниковом ярусе преобладают Киэрия Штарка *Kiaeria starkei* ((F. Weber & D. Mohr) I. Hagen),

плевроциум Шребера, гилокомиум блестящий *Hylocomium splendens* ((Hedw.) Bruch et al.), дикранум коротколистный *Dicranum brevifolium* (Lindb.), цетрария исландская *Cetraria islandica* ((L.) Ach.). Постоянно встречаются лишайники родов кладония и рангеферина *Cladina* – *C. Rangiferina* ((L.) Nyl.), кладония звездчатая *C. Stellaris* ((Opiz) Brodo), кладония дюймовая *Cladonia uncialis* ((L.) Weber ex F. H. Wigg.), кладония мягкая *Cladonia arbuscula ssp. mitis* ((Sandst.) Ruoss) (Королева, 2001).

Мхи немногочисленны, в основном это политрихум волосоносный *Polytrichum piliferum* (Hedw.), ракомитриум *Racomitrium spp.* (Brid.). Сосудистые растения представлены осокой Бигелоу, овсяницей овечьей *Festuca ovina* (L.), водяникой, голубикой, брусникой, кальмией лежащей *Loiseleuria procumbens* ((L.) Desv.), смолёвкой бесстебельной *Silenea caulis* ((L.) Jacq.) (Королева, 2001).

Пояс холодных гольцовых пустынь – пояс растительности, который располагается на плато и вершинах (от 950–970 м до 1200 м), для Хибинского горного массива – это максимальные высотные отметки. Следует отметить, что чаще гольцовые пустыни рассматривают как ландшафтный аналог зоны полярных пустынь Арктики (Хибины..., 2022). Пояса холодных 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 – 15–35° (Алексеев и др., 2017, стр. 88).

Главной особенностью гольцовых пустынь являются экстремальные климатические условия местообитаний растений: низкие температуры, сильные ветра, неравномерное распределение снега, чрезмерное воздействие солнечного ультрафиолетового излучения в вегетационный период, выветривание субстрата (Данилова, Королева, 2020).

Преобладают каменистые поля, общая площадь покрытия растительностью составляет 1–25% (Алексеев и др., 2017). Растительность представлена несколькими видами сосудистых растений: ожика изогнутая *Luzula arcuata* ((Wahlenb.) Sw.), ситник трехраздельный *Juncus trifidus* (L.), овсяница овечья, филлодце голубая, смолевка бесстебельная *Silenea caulis* ((L.) Jacq.), гарриманелла моховидная *Harrimanella hypnoides* ((L.) Coville). Иногда встречается камнеломка супротивнолистная *Saxifraga*

oppositifolia (L.), ожика колосистая *Luzula spicata* ((L.) DC.) (Козупеева и др., 1984). Слабое развитие имеют мхи, а наибольшее – накипные лишайники: цетрария снежная *Flavocetraria nivalis* ((L.) Kärnefelt et A. Thell) и цетрария исландская *Cetraria islandica* ((L.) Ach.).

На сегодняшний день в поясе холодных гольцовых пустынь отмечено 70 видов флоры. В поясе гольцовых пустынь преобладает арктическая фракция (65 %) против гипоарктической (21%), арктобореальной (4%) и полизональной (10%) (Данилова и др., 2022). На камнях встречаются и некоторые листоватые лишайники: виды родов умбиликария *Umbilicaria* (Hoffm.) и пармелия *Parmelia* (Ach.). Из мхов на камнях обычны: андрея скальная *Andreaea rupestris* (Hedw.) и ракомитриум мелкоплодный *Racomitrium microcarpum* ((Hedw.) Brid.).

Таким образом, пояса в Хибинах повторяют чередование природных зон на Кольском полуострове. При продвижении снизу-вверх сменяют друг друга пояс хвойных лесов (горно-таежный), березовых криволесий, тундр и холодных гольцовых пустынь. Почвы Хибин сформированы на породах разного происхождения (моренных, морских, элювиально-делювиальных). В горно-таежных редколесьях и поясе березовых криволесий – иллювиально-гумусовые подзолы (*Albic Podzols*) с коротким профилем О–Е–ВНН–ВС–С, а на богатых по химическому составу породах в горно-тундровом поясе – подбуры (*Entic Podzols*) на элювии нефелиновых сиенитов (почвы с неоподзоленным профилем), а в поясе холодных гольцовых пустынь – типичные петроземы (*Leptosols*). В пределах каждого пояса растительность распределяется в зависимости от увлажнения местообитания и богатства почв элементами питания. В настоящее время растительность Хибин сильно изменена и местами полностью уничтожена деятельностью человека в результате горной добычи, пожаров, вырубки лесов, рекреационной активности. Нарушенные территории преобладают в горнолесном поясе, и их доля составляет 5%, что сопоставимо с площадью еловых лесов Хибин.

1.4 Горный микроклимат и температурный режим почв

В Хибинах сочетаются черты регионального и местного горного климата. На нижние части склонов температурное влияние оказывают окружающие предгорные равнины. По классификации климата Б. А. Алисова (1956) территория Мурманской

области относится к атлантико-арктической тундровой и атлантико-арктической лесной области умеренного пояса.

Главной особенностью климата Мурманской области является смягчающее влияние Нордкапской ветви теплого Атлантического течения. Благодаря этому средняя годовая температура воздуха значительно выше, чем в восточных районах тех же климатических областей. Влияние Атлантики также проявляется в увеличении влажности воздуха и усилении циклонической деятельности. Зональные различия климатических показателей видны из таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Средние климатические показатели природных зон Мурманской области (Переверзев, 2004)

Природная зона	Температура воздуха, °С			Осадки, мм	
	V–IX	X–IV	Год	V–IX	X–IV
Тундра	6,9	– 4,8	– 0,2	268	368
Тайга	9,1	– 7,2	– 0,5	283	278

В тундровой зоне в теплое время года выпадает большее количество осадков (на 90 мм), чем в лесной зоне. В холодный период в тундре осадков выпадает больше, чем в тайге. Высокими показателями годового количества и мощным конденсатором осадков отличаются крупные горные массивы – Хибинский и Ловозерский, которые являются естественным препятствием на пути воздушных масс, приходящих с Атлантики. По данным метеостанции Юкспорр (902 м) за год в Хибинах выпадает до 1000 мм осадков (Переверзев, 2004).

Роль циркуляции атмосферы в климате Хибин проявляется в значительном отепляющем воздействии Атлантики. Зимой циклоны продвигаются к востоку и проходят над Норвежским и Баренцевым морями, поэтому преобладает слабоморозная погода. Теплые воздушные массы сменяются в конце августа – холодными, которые поступают из Сибири с южной периферии с северо-западной части с образованием антициклонов и циклонов, соответственно (Яковлев, 1961).

По климатическому районированию территории Мурманской области Хибинские и Ловозерские горы выделяют в самостоятельный климатический район (один из пяти) (Яковлев, 1961). Климат Хибин резко изменяется при поднятии воздушных масс вдоль склонов: с высотой понижается температура воздуха, увеличивается продолжительность

зимнего периода, скорость ветра, облачность и количество атмосферных осадков. Экстремальные погодные условия отмечаются в Хибинах только при нарушениях атмосферной циркуляции. Холодные зимы – результат отклонения циклонов к югу, когда арктический воздух длительно находится над Кольским полуостровом. Аномально теплая погода зимой обуславливается отклонением путей циклонов к северу от полуострова. Летом особенно теплые условия возникают за счет выноса континентальных воздушных масс с юга, а холодные условия – при устойчивой адвекции с севера, когда атлантические циклоны препятствуют проникновению теплых континентальных воздушных масс.

Многие особенности микроклимата Хибин связаны с радиационным балансом. Максимальная величина приходящей коротковолновой радиации достигается при безоблачном небе. На широте Хибин она равна 113 ккал/см² год (Беленький, 1967). Плато Хибин получают меньше тепла, чем предгорья за счет более длительного залегания снега, который отражает коротковолновую радиацию. При этом экспозиционные различия многих природных явлений (расположение верхней границы леса, сход лавин и др.) проявляются за счет распределения суммарной радиации. В течение весенне-летнего сезона максимум солнечной радиации наблюдается в июне-июле, а к сентябрю снижается в 2–3 раза (Шмакова и др., 2008). Главной особенностью светового режима Хибин является период белых ночей, который составляет 51 день, (1 мая – 31 мая и 13 июля – 13 августа), непрерывный полуторамесячный полярный день (с 31 мая по 13 июля), и полярная ночь с продолжительностью 13 дней (15 по 27 декабря). В период белых ночей и полярного дня солнце опускается за горизонт не ниже, чем на 180° (Ежегодный доклад..., 2021).

Значительный вклад в распределение температур вносит фактор – рельеф, с которым связано явление температурных инверсий (Хибины..., 2022). Температурные инверсии в Хибинах отмечаются в ясные ночи, когда температура на горных склонах значительно выше, чем в понижениях рельефа (скатывание холодных воздушных масс с вершин в горные долины), что объясняется большим нагреванием крутых каменистых склонов. В ночные часы солнце не освещает долины, но освещает северные склоны гор, которые оказываются более нагретыми, чем понижения рельефа.

Температурный режим зимы в Хибинах – мягкий. Средняя температура самого холодного месяца февраля около минус 12–13 °С, преобладают ветры южных

направлений, а летом – северных (Шмакова и др., 2008). Летом и в переходные сезоны, в период прогрева воздушных масс, формируются вертикальные градиенты температуры. Характерной особенностью климата Хибин, по сравнению с его предгорными территориями, является относительно холодное лето, весна и осень (Яковлев, 1961). Оттепели в предгорьях Хибин начинаются в марте или апреле, а на высокогорных плато – на месяц позже. В некоторые годы летом на плато бывают заморозки, которых не бывает в предгорьях (Беленький, 1967).

Осадки в Хибинах обильны. По данным метеостанции «Юкспорр» (902 м) годовые суммы осадков превышают 900 мм, что более чем в два раза больше количества осадков в предгорьях и на равнинах. С высотой количество осадков возрастает неравномерно: между станцией Хибины (в 6 км к востоку от железнодорожной станции Хибины на высоте 761 м) и плато Юкспорр (вблизи г. Кировска на высоте более 1000 м) градиент равен 80 мм/100 м, между Юкспорр и Расвумчорр – 180 мм/ 100 м (Яковлев, 1961). Максимальное количество осадков выпадает в конце лета и осенью, а минимальное – в феврале (Яковлев, 1961). Устойчивый снежный покров в Хибинах образуется в начале октября, продолжительность его залегания составляет от 240 до 280 дней. Высота снежного покрова в горно-таежных редколесьях и поясе березовых криволесий достигает в среднем 100 – 200 см за счет метелевой концентрации снега (снегозапас 300 – 500 мм), а в горно-тундровом поясе высота снежного покрова достигает от 200 до 500 см (снегозапас 100 – 500 мм) (Трошкина и др., 2009).

Относительная влажность в Хибинах в годовом цикле приближается к морским побережьям и выше, чем в окружающих равнинах. Повышение ее в горах связано с подъемом и одновременным охлаждением атмосферного воздуха вдоль склонов гор (Эколого-экономическое..., 2014). Однако летом, в период преобладания антициклональной погоды, влажность воздуха в горах ниже, чем на морском побережье. Дни с относительной влажностью (около 50%) бывают реже, чем на предгорных равнинах. Для Хибин характерны сильные ветра: средняя за год скорость – более 5 м/с; средняя за месяц – 8–9 м/с; число дней со скоростью ветра более 15 м/с – около 40 суток в году. Большую часть года наблюдаются порывистые ветры, скорость которых достигает 60–80 м/с (Эколого-экономическое..., 2014). В целом, климат Хибин характеризуется относительно более теплой и ровной зимой и относительно холодным, но менее устойчивым летом. В этом отношении климат Хибин более близок к морскому,

но отличается основными периодами годового хода температуры в горном районе, которые не запаздывают как над Баренцевым морем и над морскими акваториями в высоких широтах.

Изучение температуры почв становится актуальным в связи с современным изменением климата, которое ведёт к изменению температурного режима почв, смене растительных ассоциаций и изменению ландшафтного облика территории. Температурный режим почвы – это распределение температуры в почвенном профиле и непрерывное изменение этого распределения во времени (Полевые..., 2001). Температурным режимом почвы называют еще физическое отражение характеристик климата и климатических изменений, влияющих на все биогеохимические процессы в почвах (Архангельская, 2012). Температура почвы является чувствительным климатическим индикатором во всех физических, биологических и микробиологических процессах, происходящих в почве (Дюкарев, 2012; Решоткин, Худяков, 2017; Худяков, Решоткин, 2017). Температура контролирует фазовые переходы в системе «почва → почвенный раствор → почвенный воздух», а также процессы растворения солей, газов и др. Изучение тепловых свойств почв и хода годовой динамики их температур необходимы при детальном исследовании всех процессов, протекающих в почвах (Белицина и др., 1988). Наибольшие колебания температуры и влажности наблюдаются именно в поверхностном корнеобитаемом слое (Дюкарев, 2012). Характер распределения температуры в верхнем слое почвы важен для жизни растений и почвенного населения.

На температурный режим горных почв оказывают влияние не только свойства самих почв, но и экзогенные факторы: рельеф (Сапожников, 1950; Лысак, 1957; Воейков, 1957; Худяков, 1984; Radke et al., 1993; Conant et al., 2000), экспозиция горных склонов (Волобуев, 1983; Тыртиков, 1962; Sharratt, 1996), растительность, которая создает затеняющий эффект, изменение подвижности воздуха, уменьшение интенсивности конвекционного обмена «почва – воздух», изменение затраты тепла на эвапотранспирацию (Horton et al., 1984; Oliver et al., 1987; Карпачевский и др., 2003; Алифанов и др., 2006; Ding et al., 2007).

Исследования температуры горных систем Хибин (Крючков, 1957, 1958 а, б, 1962; Шмакова и др., 2008; Зенкова, 2015; Штабровская, Зенкова 2017, 2018, 2019 а, 2021, 2022) и зональных почв Мурманской области (Крючков, 1958 а, б; Семко, Сергеев, 1974;

Семко, 1980, 1982) выполнялись учеными в разных областях: физиологами, ботаниками, геофизиками, экологами, зоологами и специалистами в области охраны окружающей среды, в том числе в горных почвах заповедника «Пасвик» (Зенкова, 2013 б). В горно-растительных поясах Хибин и фитоценозах Мурманской области температурный режим изучался в связи с решением проблемы безлесья тундры. По данным В. В. Крючкова (1957, 1958 а, б) для площадок высокогорной тундры на плато и у верхней границы березового криволесья на горе Юкспорр установлены следующие закономерности: 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 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 над ур. м.) прогревается сильнее, чем на дне долины.

Подобные исследования температуры органогенных горизонтов в высотном градиенте гор Приполярного Урала проводили сотрудники Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Старцев и др., 2016; Старцев, 2021). Авторами установлено достоверное влияние факторов высотной поясности, экспозиции горных склонов, высоты над уровнем моря, наличия и величины снежного покрова на различие динамики температур органогенных горизонтов. Выявлены закономерные расхождения в температурных режимах почв разных горных поясов.

Наиболее «холодными» являются подбуры глееватые иллювиально-гумусовые на верхнем пределе горно-тундрового пояса, «теплыми» – светлоземы иллювиально-железистые под лиственничниками кустарничково-зеленомошными в горнолесном поясе. Лесной покров препятствует прогреву почвы в летний период за счет снижения количества солнечной радиации, но при этом способствует меньшему охлаждению почвы. Подстилки почв горно-тундрового пояса и почв с многолетними мерзлыми породами, получают больше солнечной радиации в летний период, поскольку располагаются на открытых участках. В зимний период органогенный горизонт почвы горно-тундрового пояса охлаждается сильнее за счет меньшего снегонакопления. Наличие устойчивого снежного покрова снижает теплообмен между воздушными массами и поверхностью почвы, тем самым несколько увеличивая ее температуру. Выявлено, что почвы на верхнем пределе горно-тундрового пояса и в нижних частях

склонов с подстилением многолетних мерзлых пород формируются в более суровых климатических условиях, чем почвы горнолесного пояса (Старцев, 2021).

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 различной модификации – термохронов (Термохроны..., 2024). Технические характеристики популярных моделей термохронов приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Основные технические характеристики термохронов различной модификации

Модель	Диапазон $T^{\circ}C$	Погрешность, $T^{\circ}C$	Предельное кол-во измерений	Диапазон измерений влажн. %	Дискретность измерения $T^{\circ}C$
TP-1, DS1921G-F5*	-40 ... 85	$\pm 0,5$	до 2048	—	0,5
TP-2*, DS1922L-F5	-40 ... 85	$\pm 0,5$	до 8192	—	0,0625
TPB-2*, DS1923-F5	-20 ... 85	$\pm 0,5$	до 8192	0 ... 100	0,0625
DS1921Z-F5	-5 ... 26	$\pm 1,0$	до 2048	—	0,125
TP-1p «БИО», DS1921H-F5	15 ... 46	$\pm 1,0$	до 2048	—	0,125
DS1922E-F5	15 ... 140	до $\pm 1,5$	до 8192	—	0,0625
DS1922T-F5	0 ... 125	до ± 2	до 8192	—	0,0625

Примечание: * - модели, используемые в диссертационной работе для температурных исследований, прочерк – не измеряется значение

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 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 (кодový), текстовый (символьный) или защищённый шифрованный файл данных для её дальнейшего хранения, транспортировки, анализа и обработки с помощью стандартных программных средств (Microsoft Excel и др.). Некоторые термохроны имеют функцию регистрации влажности воздуха одновременно с регистрацией температуры или по выбору одной из этих функций.

1.5. Фауна и почвенное население

Фауна Хибин представлена практически всеми видами млекопитающих Мурманской области (30 видов), 138 видами птиц, за исключением приморских и некоторых залетных видов, 2 вида пресмыкающихся и 1 видом земноводных (Хибины..., 2022).

Распределение фауны наземных позвоночных в Хибинах мозаично, носит очаговый характер и обусловлено естественными и антропогенными факторами. К естественным факторам относят высотную поясность и сложность рельефа. Большую часть площади в Хибинском горном массиве занимают экосистемы тундровых и гольцовых пустынь, что осложняет присутствие равнинных видов, которые осваивают небольшие лесные территории горно-таежных редколесий и березовых криволесий. Условия горной местности определяют высокую мозаичность ландшафта – приводит к появлению островного эффекта (Эколого-экономическое ..., 2014). Этот ряд естественных факторов определяет уникальность территорий, которая проявляется в виде присутствия и сосуществования на небольшой территории представителей фауны наземных позвоночных. К антропогенным факторам относят нарушенность территории разработкой полезных ископаемых (открытые карьеры, отвалы горных пород, отводные каналы и транспортные пути), шумовое и пылевое загрязнение при взрывных работах, уничтожение растительного и угнетение покрова, изменение гидрологического режима вод и неконтролируемый туризм.

На сегодняшний день фауна наземных беспозвоночных Хибин хорошо изучена. Первые научные исследования по фауне насекомых Хибинского горного массива проводили финские и шведские энтомологи с 1861 по 1913: К. Е. Inberg, J. Sahlberg, R. Envald, K. Edgren, J. Palmén, B. Poppius, R. Fray и W. Hellen (Rantala, 2010) и обобщены в энтомологических трудах Б. Поппиуса и Лидрота (Poppius, 1905; Lindroth, 1992). Целенаправленные исследования фауны Хибин проводились с 1930 г. и показали

богатое для заполярных широт разнообразие видов и их зоогеографических ареалов (Фридолин, 1936 а, б).

В последующие десятилетия фаунистические исследования в Хибинах носили эпизодический характер и касались отдельных таксонов: дождевых червей (Перель, 1979; Рыбалов, 2006; Камаев et al., 2010), жуужелиц и стафилинид (Россолимо, 1989, 1994), цикадовых (Ануфриев, 2000), чешуекрылых (Татаринов, Кулакова, 2009), шмелей (Потапов, Колосова, 2011), панцирных клещей (Karppinen, Krivolutsky, 1982; Леонов, Рахлеева, 2011, 2015; Леонов, 2016), пауков (Камаев, 2010, 2012; Танасевич, Камаев, 2011; Rybalov, Камаев, 2012; Нехаева, 2015). Исследования, проведённые в 2009 году, показали, что в Хибинах представлены 4 вида дождевых червей (Lumbricidae), 17 видов жуужелиц (Carabidae), 15 стафилинид (Staphylinidae) и 4 вида жуков-долгоносиков (Curculionidae) (Зенкова и др., 2009). В работе (Зенкова и др., 2011) описано семь видов жуков-щелкунов (Elateridae), которые были классифицированы как виды, обитающие в горной тундре. Была подтверждена общая зоогеографическая закономерность: видовое разнообразие энтомофауны северной Евразии уменьшается с востока на запад (Зенкова и др., 2011).

Регулярные комплексные почвенно-зоологические исследования Хибин проводятся с 2008 года сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН совместно со специалистами из других НИИ РАН (Зенкова и др., 2009, 2011; Пожарская, 2012; Зенкова, Таскаева, 2012, 2013; Зенкова, Мелехина, 2014; Zenkova, Rapoport, 2014; Зенкова, Юсупов, 2016; Нехаева, 2015; Zenkova, 2016; Zenkova, Filippov, 2019). За этот период было идентифицировано более 400 видов беспозвоночных: 6 видов дождевых червей, 5 видов моллюсков, 2 вида многоножек, коллембол более 50 видов, 13 видов щелкунов. Больше 40 видов являются новыми для Мурманской области. В 2023–2024 гг видовые списки были дополнены для пауков (172 вида), жуужелиц (45 видов), муравьев (18 видов) и стафилинид (127 видов).

По высотному распределению почвенной фауны Хибин было показано, что горные тундры отличаются от зональных тундр повышенными значениями численности и таксономическим разнообразием беспозвоночных, которые сопоставимы с северо-таежными подзолами (Зенкова и др., 2011). 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. Для ряда групп высотно-поясное

распределение сходно с широтно-зональным распространением в пределах Мурманской области. Подтверждена смена таежных видов тундровыми при переходе от пояса горно-таежного к березовым криволесьям и горной тундре. Во всех поясах по составу и численности преобладают виды с лесной преференцией (Пожарская, 2012).

В целом, почвенная фауна Хибин имеет бореальный облик. Присутствие видов с разными преференциями (кальцефильных, свето- и тенелюбивых, мезо- и гигрофильных, холодолюбивых и термофильных) свидетельствует о гетерогенности условий обитания в пределах заполярного горного массива. Специфика распределения почвенных беспозвоночных Хибин обусловлена как естественными, так и антропогенными причинами и в основном, носит мозаичный и очаговый характер распространения.

Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

2.1 Объекты исследования

Комплексные исследования почвенных $T^{\circ}C$ и населения беспозвоночных животных проводили в 2013–2023 гг. в природных и нарушенных биогеоценозах Хибин и в зональном сосновом лесу на прихибинской равнине, удаленном от обследованных горных биогеоценозов на расстояние 12–33 км. Природные горные почвы исследовали в четырех основных горно-растительных поясах (горно-таёжные редколесья, березовые криволесья, горные тундры и холодные гольцовые пустыни), в диапазоне высот 220–1060 м над ур. м., на склонах разной экспозиции, плато и цирках 8-ми хибинских гор (рисунок 2.1, таблица 2.1).

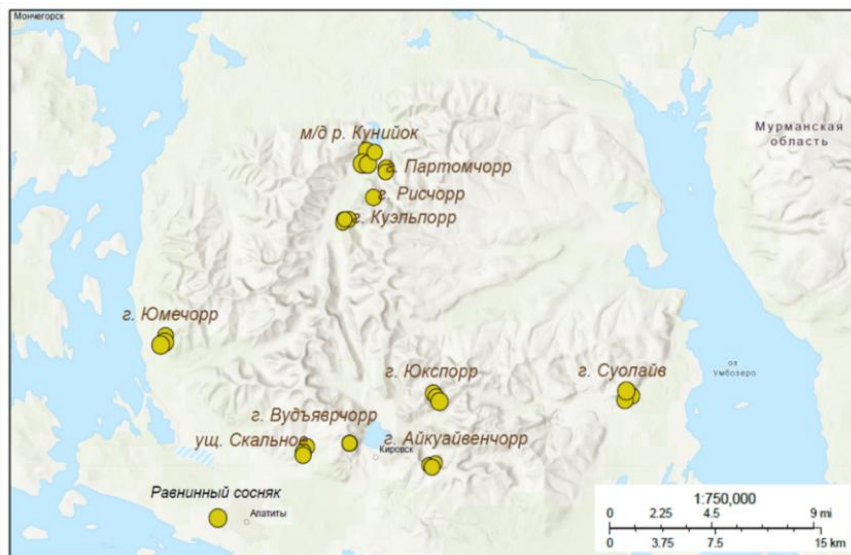


Рисунок 2.1 – Районы проведения температурных исследований в Хибинах и на прихибинской равнине в 2013–2023 гг.

2.1.1 Высотные профили гор Юкспорр, Суолайв, Юмечорр

Высотно-поясные тренды распределения почвенных $T^{\circ}C$ и населения беспозвоночных анализировали в один полевой сезон на примере трёх гор, расположенных на сходной широте, но в разных частях Хибинского массива: высокогорной центральной (гора Юмечорр) и низкогорных окраинах – западной (гора Юкспорр) и восточной (гора Суолайв) (таблица 2.1, рисунок 2.2).

Таблица 2.1 – Характеристика биогеоценозов, исследованных в Хибинах и на прихилибинской равнине в 2013–2023 гг.

Гора	Экспозиция склона*	Горно-растительный пояс	Координаты*	Высота, м над ур. м.*	Обозначение биогеоценозов
Природные горные биогеоценозы					
Айкуайвенчорр	Плато	Гольцовые пустыни	67°36'29" с.ш. _ 33°46'40" в.д.	1055–1060	АГли, АГзл, АГмх, АГмх-ли, АГли-пч
Вудъяврчорр	Плато	Гольцовые пустыни	67°38'24.9" _ 33°36'50.2"	1021–1023	ВГли, ВГзл
Юкспорр	Плато	Горные тундры	67°39'06" _ 33°46'44"	730	ЮsBT
	Ю	Горные тундры	67°39'06" _ 33°46'44"	640	ЮsT
	Ю	Березовые криволеся	67°38'59" _ 33°47'17"	490	ЮsБК
Суолайв	З	Горные тундры	67°39'32" _ 34°10'03"	360	СwT
		Березовое криволеся	67°39'30" _ 34°10'13"	340	СwБК
		Еловые редколесья	67°39'26" _ 34°10'14"	270	СwE
Юмечорр	ЮЗ	Горные тундры	67°42'27" _ 33°15'10"	505	ЮmswT
		Березовые криволеся	67°42'23" _ 33°15'10"	380	ЮmswБК
		Сосновые редколесья	67°42'03" _ 33°14'06"	315	ЮmswC
Куэльпорр	З	Горные тундры	67°47'22,3" _ 33°36'45,2"	500	КwT
		Березовые криволеся	67°47'23,2" _ 33°36'40,0"	450	КwБК
		Еловые редколесья	67°47'23–26" _ 33°36'20–34"	300, 350, 400	КwE300, КwE350, КwE400
Нарушенные горные территории					
Долина реки Кунийок между горами Путеличорр и Партомчорр	Долина	Сосновое редколесье	67°50'13,9" _ 33°39'35,1"	236	С
		Горелый лес	67°50'16,9" _ 33°39'23,7"	235	ГС
		Вырубка	67°49'49,4" _ 33°39'00,9"	227	В
		Горелая вырубка	67°49'51,6" _ 33°38'46,2"	221	ГВ
Предгорная равнина	Плакор	Зональный сосняк	67°34'43,6" _ 33°17'51,8"	145	РС

Примечание. * Данные получены по GPS-навигатору Garmin Trex Touch–35

Горы различались экспозиций склонов (южная, западная и юго-западная) и растительными поясами. Горно-таежный пояс был сформирован сосновыми и еловыми редколесьями на горах Юмечорр ($Ю_{MSWC}$) и Суолайв (C_{WE}); на склонах всех гор были выражены пояса березовых криволесий ($Ю_{MSWBK}$, $Ю_{SBK}$, C_{WBK}) и горной тундры ($Ю_{MSWT}$, $Ю_{ST}$, C_{WT}), а высокогорная тундра ($Ю_{SBT}$) – только на плато горы Юкспорр (рисунок 2.2).

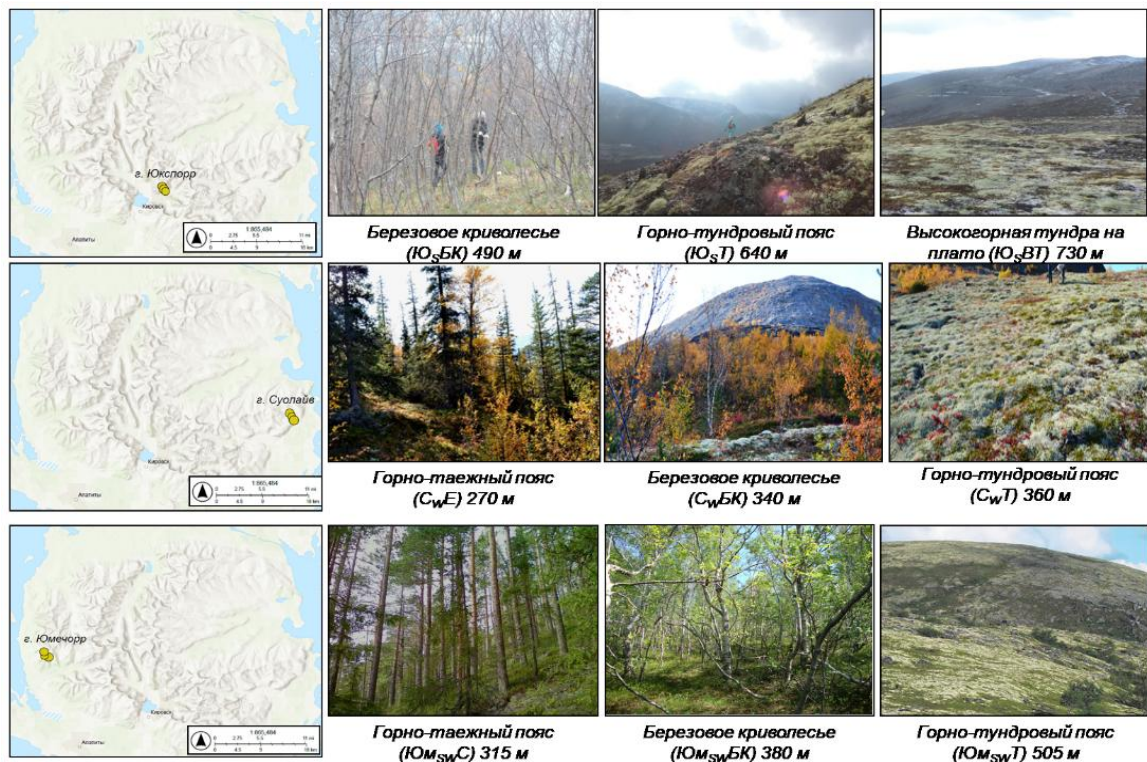


Рисунок 2.2 – Участки, исследованные на склонах южной, западной и юго-западной экспозиции гор Юмечорр ($Ю_{MSWC315}$ – $Ю_{MSWT505}$), Юкспорр ($Ю_{SBK490}$ – $Ю_{SBT730}$) и Суолайв (C_{WE270} – C_{WT390})

Пояс *горно-таежных редколесий* исследовали на высотах 270 (Суолайв) и 315 (Юмечорр) м над ур. м. Древетой представлен елью сибирской и лапландской формой сосны обыкновенной *Pinus friesiana* (Wich.). Подстилка сформирована эрикоидными кустарничками, в основном, черникой, вороникой, голубикой и брусникой. Разнотравье – цицербитой альпийской *Cicerbita alpina* (L. Wallr.), марьянниками лесным и луговым, золотарником лапландским *Solidago lapponica* (With).

Пояс *березовых криволесий* на склоне западной экспозиции горы Суолайв исследован на высоте 340 м, а на склонах южной и юго-западной экспозиции гор Юмечорр и Юкспорр расположен и исследован выше: 380–490 м. Древесный ярус

сформирован кривоствольной формой берёзы извилистой, березами мозолистой *Betula callosa* (Noto ex Lindq.), пушистой, субарктической и карликовой. В кустарничковом ярусе – черника, филлодоце голубой *Phyllodoce caerulea* (L. Bab.), подбел многолистный *Andromeda polifolia* (L.), разнотравье: цицербита альпийская, герань лесная *Geranium sylvaticum* (L.), гравилат речной *Geum rivale* (L.), манжетка клубочковая *Alchemilla glomerulans* (Bus.), грушанка круглолистная *Pyrola rotundifolia* (L.) и др.

Пояс *горной тундры* был исследован на склоне западной экспозиции горы Суолайв на высоте 360 м, на склонах южной и юго-западной экспозиции гор Юмечорр и Юкспорр – на 550–640 м и на высотном плато Юкспорр – на 730 м. В напочвенном покрове преобладали мхи: плевроциум Шребера, гилокомиум блестящий *Hylocomium splendens* (Hedw. Bruch et al.), дикранум коротколистный *Dicranum brevifolium* (Lindb) и лишайники – цетрария исландская *Cetraria islandica* (L. Ach.), виды родов *Peltigera* и *Cladonia*. Из трав и кустарничков встречались золотарник обыкновенный, луговик извилистый *A. flexuosa*, филлодце, эрикоидные кустарнички родов *Vaccinium* и *Empetrum*. На плато Юкспорр лишайники и мхи преобладали над кустарничками.

2.1.2 Высотный градиент горы Куэльпорр

Склон западной экспозиции горы Куэльпорр с хорошо выраженным поясом старовозрастных лесов из ели сибирской *Picea obovata* (L.), представленным не на всех Хибинских горах, был выбран для анализа трендов изменения $T^{\circ}C$ атмосферного воздуха, поверхности и толщи подстилки и населения беспозвоночных в высотном градиенте с шагом 50 метров: 300 → 350 → 400 → 450 → 500 м над ур. м. (рисунок 2.3) и исследован в полевой сезон 2019 г. Исследование этого склона горы Куэльпорр, открывающегося в долину реки Кунийок, также представляло интерес в плане сравнения с нарушенными вырубкой и пожаром участками горной тайги, расположенными в долине в 5 км от горы (рисунок 2.1).

В основании склона, на высоте 300 м, произрастал густой и влажный старовозрастный еловый лес (K_{WE300}), переходящий на высотах 350 и 400 м (K_{WE350} и K_{WE400}) в елово-мелколиственный лес с примесью березы извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.), осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) и рябины (*Sorbus aucuparia* L.), а на 450 м – в березовое криволесье (K_{WBK}) и на высотах более 500 м – в горную тундру (K_{WT}) на платообразном выступе горных пород.

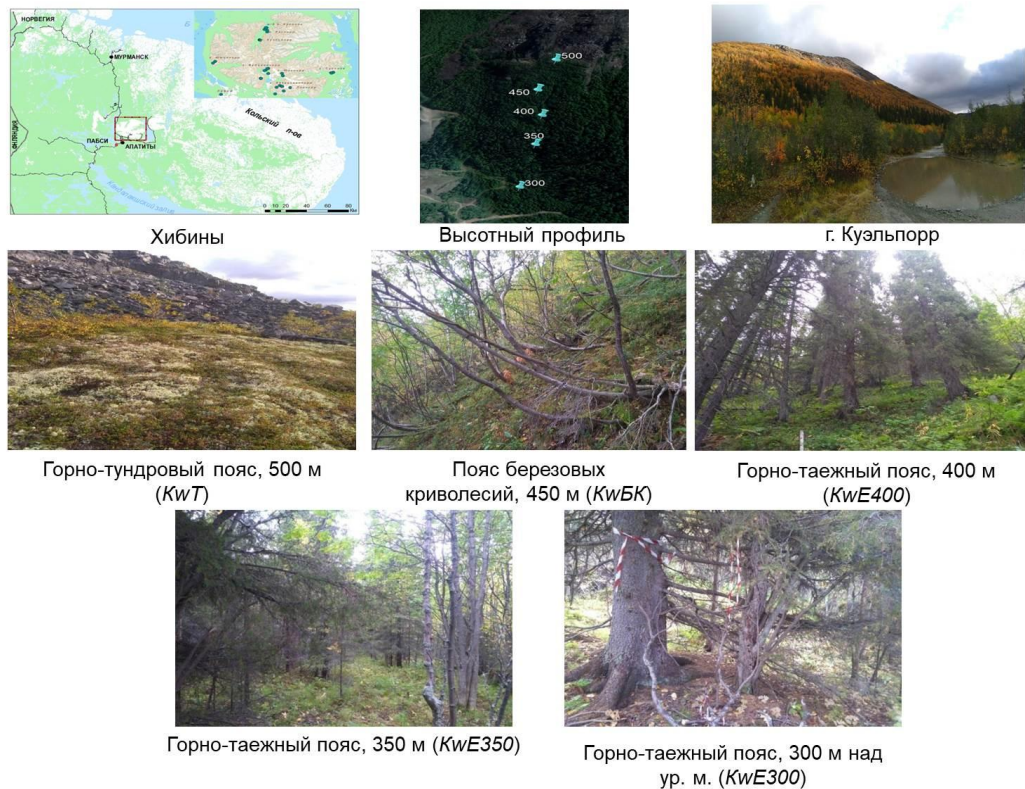


Рисунок 2.3 – Участки, исследованные на склоне западной экспозиции горы Куэльпорр в высотном градиенте 300→350→400→450→500 м над ур. м.

Во влажном напочвенном покрове в основании склона преобладали мхи плевроциум Шребера *Pleurozium schreberi* (Willd. Ex Brid. Mitt), встречались кустарнички черники *Vaccinium myrtillus* (L.), голубики *V. uliginosum* (L.) и водяники черной *Empetrum nigrum* (L.), луговик извилистый *Avenella flexuosa* (L. Drej.) и папоротник щитовник Линнея *Dryopteris linnaeana* (L.). В кустарничковом ярусе ельника на высоте 350 м было более выражено разнотравье: марьянники лесной *Melampyrum sylvaticum* (L.) и луговой *M. pratense* (L.), луговик извилистый, седмичник европейский *Trientalis europaea* (L.). Ельник кустарничково-травяной на высотной отметке 400 м имел наиболее гетерогенный покров: папоротник голокучник трехраздельный *Gymnocarpium dryopteris* (L. Newm.), дерен шведский *Chamaeperic lymenumsuecicum* (L. Aschers. Et Graebn.), черника, вороника, голубика, брусника *Vaccinium vitis-idaea* (L.).

Древесный ярус березового криволесья на 450 м был сформирован березами извилистой и субарктической *B. subarctica* (Orlova). Развит кустарничково-травяной и моховый покров, в подлеске – можжевельник обыкновенный *Juniperus communis* (L.), карликовая береза *Betula nana* (L.) и ива козья *Salix caprea* (L.). В горно-тундровом

поясе на 500 м преобладала карликовая береза. Растительный покров сформирован лишайниками и мхами, встречались кустарнички вороники, черники, брусники.

2.1.3 Холодные гольцовые пустыни на плато Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр

Динамику $T^{\circ}C$ подстилки и атмосферного воздуха в поясе холодных гольцовых пустынь на предельных высотных отметках Хибин >1000 м, наряду с разнообразием и обилием населения беспозвоночных, исследовали на платообразных вершинах двух гор: Вудъяврчорр (1020–1023 м над ур. м.) и Айкуайвенчорр (1055–1060 м), удаленных друг от друга на 7 км. Учеты годовой и летней динамики $T^{\circ}C$ проводили на этих плато в 2017/2018 гг. и с 2019 по 2023 гг. соответственно, под основными типами фрагментарной растительности: подушками лишайников, мхов, куртинами ожики и злаков (рисунок 2.4).

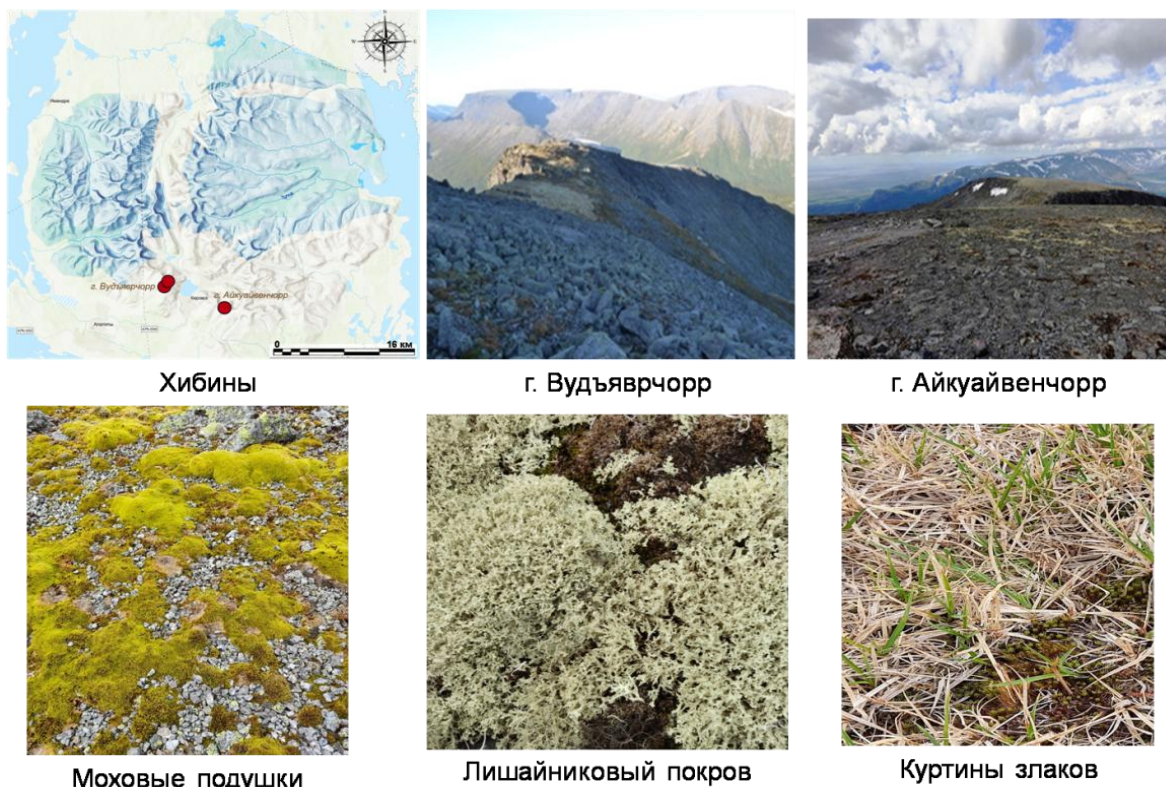


Рисунок 2.4 – Участки пояса холодных гольцовых пустынь Хибин, исследованные на плато гор Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр

Для пояса каменистых гольцовых пустынь Хибин характерны несомкнутые растительные группировки с площадью покрытия от 1 до 25% (Данилова, Королева, 2020; Маслов и др., 2021; Данилова и др., 2022). Фиторазнообразие пояса представлено 176-ю видами, из них: лишайников – 80 видов, сосудистых растений – 54, мохообразных

– 43 (23 вида мхов и 20 – печеночников) (Королева, 2014). Моховые (ракомитриевые) группировки–подушки с преобладанием видов *Bucklandiella macrocarpa* (Hedw) и *Andrea rupestris* (Hedw), реже *Racomitrium lanuginosum* Hedw. Brid. Основу лишайниковых подушек составляют виды родов *Flavocetraria* снежной и кlobучковой, *Alectoria* (Ach.) бледно-охряной и черноватой, цетрарии исландской, с присутствием мхов родов *Racomitrium* и *Polytrichastrum*. Мохово-кустарничково-осоковые группировки представлены дерновинами ожик Бигелоу *Carex bigelowii* (Torr. Ex Schwein.) и изогнутой *Luzula arcuate* (Wahlenb. Sw.), ситника трёхраздельного *Juncus trifidus* (Wahlenb. Sw.), ивки полярной *Salix polaris* (Wahlenb.) и филлодоце.

2.1.4 Горные вырубки и гари

Температурный режим и население беспозвоночных горных почв, нарушенных разными видами воздействия, исследовали в межгорной долине Кунийок на севере Хибин, где после промышленной рубки горно-таежных лесов в 2012 году на площади ~ 100 га под строительство горно-обоганительной фабрики, летом 2013 г. возник низовой пожар, охвативший вырубку и прилегающие леса на общей площади 8 га.

В 2015 году в горно-таежном лесу (*С*, контроль) и трех вариантах его трансформации – горелом сосняке (*ГС*), вырубке (*В*) и горелой вырубке (*ГВ*) нами была заложена мониторинговая сеть из двух пар участков по принципу «горелый – не горелый»: пара лесных участков «*ГС – С*» и пара вырубок «*ГВ – В*». Расстояние между участками в каждой паре составляло 300 м: по 150 м от разделяющей их грунтовой дороги, ограничившей распространение пожара; расстояние между парами участков равнялось 1 км (рисунок 2.5 а).

Летние (с июля по сентябрь) учеты $T^{\circ}C$ и влажности подстилки и населения беспозвоночных проводили с трехлетней периодичностью: в 2015, 2018 и 2021 гг., т.е. спустя 2 года после рубки и 3 года после пожара, 5–6 и 8–9 после воздействия. В отобранных в эти сроки для зоологического анализа образцах подстилки определяли ряд химических и физико-химических показателей (раздел 2.3). Годовую динамику $T^{\circ}C$ почвенных профилей регистрировали в 2022 и 2023 гг., спустя 9–10 лет и 10–11 после воздействия.

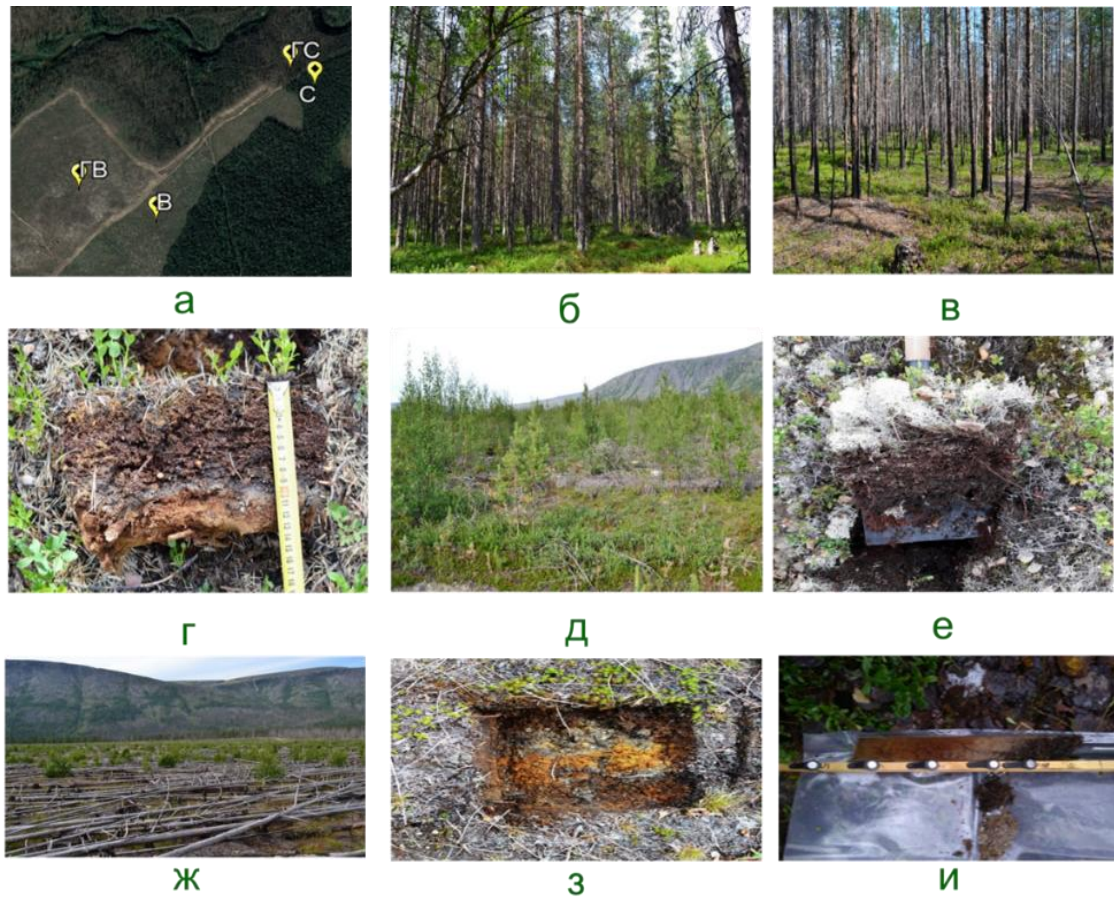


Рисунок 2.5 – Мониторинговые участки в долине реки Кунийок на севере Хибин:
а – схема мониторинговой сети; б – контрольный сосняк, С; в – горелый сосняк, ГС;
г – протлевшая подстилка ГС; д – вырубка, В; е – подстилка вырубki; ж – дважды
нарушенная горелая вырубка, ГВ; з – эродированный почвенный покров ГВ; и –
закладка серии термохронов в почвенный профиль

Участок контрольного соснового леса (С) характеризовался мощной подстилкой (до 10 см) и развитым гетерогенным ярусом из кустарничков, мхов и лишайников (рисунок 2.5 б). В горелом сосняке (ГС), в 2021 г., то есть спустя 9 лет после воздействия, наблюдалось активное зарастание черникой и брусникой (рисунок 2.5 в, г). Встречался редкий подрост березы высотой до 40 см. Высота нагара на стволах сосен достигала 2,5–3,5 м, их большая часть лишилась крон. На вырубке (В), заваленной стволами и ветками (рисунок 2.5 д, е), сохранилась подстилка, в покрове преобладали кустарнички, мхи и лишайники, произошло активное зарастание березой. Горелая вырубка (ГВ), которая испытала воздействие два года подряд, даже через 9 лет выглядела наиболее нарушенной. Территория оставалась заваленной сухими стволами деревьев, почвенный покров был сведен полностью до минерального горизонта

(рисунок 2.5 ж, з). Между поваленными стволами сосен наблюдалось очаговое зарастание злаками и мхами, отдельно встречался иван-чай и пятна печеночных мхов, слабый подрост березы отмечался в основном вдоль обочины дороги.

Первичная оценка влияния пожара на $T^{\circ}C$ лесной подстилки и населяющую ее фауну была проведена летом 2015 г. на участке горелого леса в сравнении с контрольным сосняком. В 2018 и 2021 гг. объем исследований расширили и охватили сгоревшую и негорелую вырубку. С 2021 г. появилась техническая возможность установки серии термодатчиков в почвенных профилях 4-х мониторинговых участков (рисунок 2.5 и), что позволило получить данные по годовой динамике $T^{\circ}C$ в разных почвенных горизонтах и оценить влияние разных видов трансформации на степень их промерзания – оттаивания – прогрева в годовом цикле.

2.1.5 Зональный сосняк на прихибинской равнине

Для сравнения с горными почвами исследовали температурный режим зонального подзола под северо-таежным сосново-мелколиственным лесом на прихибинской равнине, $67^{\circ}34'12,3''$ с.ш., $33^{\circ}17'48''$ в.д., в 12–33 км от обследованных горных биогеоценозов (рисунок 2.6).

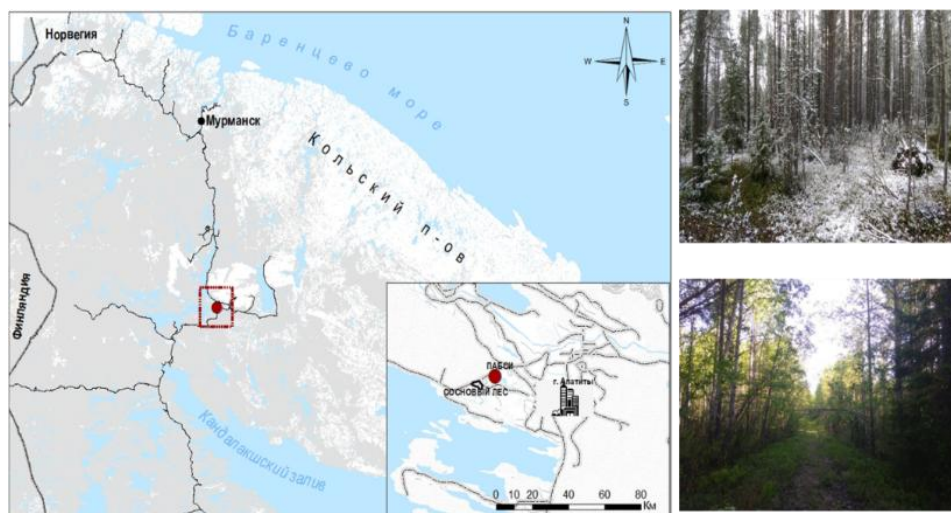


Рисунок 2.6 – Местоположение зонального сосняка на прихибинской равнине

Сосняк кустарничковый с примесью осины, березы и можжевельника в разные годы был объектом изучения сотрудников Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ КНЦ РАН) и Института проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС КНЦ РАН). Здесь выполнялись работы по почвоведению, агрохимии,

почвенной фауне и микробиоте (Балаганская и др., 1983; Ушакова, 1997, Евдокимова, Мозгова, 2001; Зенкова, 2003). В 1971–1983 гг. целинный подзол сосняка был объектом многолетнего температурного мониторинга, проводимого метеорологом ПАБСИ А. П. Семко (Семко, 1982), что позволило нам сравнить собственные температурные исследования 2016–2023 гг. с его данными 40–50-летней давности.

Фиторазнообразие сосняка представлено 54 видами, из них 4 вида водорослей, 18 видов мохообразных, 32 вида сосудистых растений (7 – в древесном ярусе, 3 – в кустарниковом, 22 – в травяно-кустарничковом ярусе). Из водорослей в подстилке доминируют *Sporotetras polydermatica* (Kütz.) I. Kostikov et al. и *Pseudococcomyxa* cf. *simplex* (Mainx) Fott. Среди мохообразных преобладают: гилокомиум *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. In B.S.G., плевроциум Шребера, птилидиум реснитчатый *Ptilidium ciliare* (L.) Hampe, барбилофозия бородастая *Barbilophozia barbata* (Schmidel ex Schreb.) Loeske, виды родов ритидиадельфус *Rhytidiadelphus* spp. и дикранум *Dicranum* spp. Напочвенные лишайники единичны, это представители родов *Peltigera* и *Cladonia* (Зенкова и др., 2016).

Почва – типичный Al-Fe-гумусовый песчаный подзол, характеризуется укороченным генетическим профилем О–Е–ВНФ–ВС–С, легким механическим составом, четкой элювиально-иллювиальной дифференциацией органического вещества и профилеобразующих элементов – Fe и Al. Мощность лесной подстилки варьирует в пределах участка от 5 до 9 см (Ушакова, 1997).

В зональном сосняке исследовали годовую (за шесть лет: 2016, 2019, 2020, 2021, 2022 и 2023 гг.), сезонную и суточную динамику $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха и органогенного горизонта. $T^{\circ}\text{C}$ почвенного профиля на глубинах 10, 15, 20 и 40 см исследовали в 2021–2023 гг.

2.2 Полевые методы

2.2.1 Инструментарий

Температуру измеряли сертифицированными программируемыми термохронами DS1921G–F5 (гос. реестр средств измерений РФ) с автономным режимом работы (до 2048 показаний) и предельным диапазоном измерений от – 40 до 80 $^{\circ}\text{C}$ (Термохроны, 2024). Запуск термохронов для снятия показаний (с периодичностью 2–4 часа) проводили на месте полевых работ при помощи портативного устройства «Термохрон-

аудитор» со встроенным комбинированным «USB/1-Wire» разъемом, графическим дисплеем, двумя функциональными кнопками «меню» и «включение/выключение» и двухцветным светодиодом (рисунок 2.7).

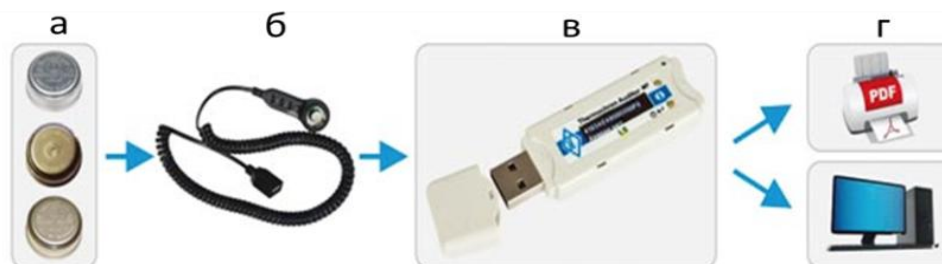


Рисунок 2.7 – Схема работы с термохронами: а – термохроны; б – зонд «USB – iButton»; в – считывающее устройство «Термохрон Аудитор»; г – перенос первичных показаний с термохронов на компьютер

При подключении термохрона через переходник «USB–iButton» устройство «Термохрон-аудитор» считывает данные с регистратора, сохраняя их в виде бинарных файлов TRL, которые используются для формирования отчетов в виде графиков температурной динамики и таблиц. Прибор позволяет управлять следующими миссиями: считывание данных, запуск, перезапуск, остановка миссии, импорт данных.

2.2.2 Установка термохронов

Температуру атмосферного воздуха измеряли на высоте 2 м над поверхностью почвы, температуру подстилки – на глубине 5 см, минерального почвенного профиля – на глубинах 10, 15, 20 и 40 см. Для исследования $T^{\circ}\text{C}$ почвенных профилей датчики прикручивали к деревянным рейкам с шагом 5 см. Рейки углубляли в почву при помощи металлического почвенного бура диаметром 2 см (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Установка термохронов для измерения температуры воздуха, поверхности почвы, и почвенного профиля на глубинах 5 см (подстилка), 10, 15, 20 и 40 см

Общий объем температурных измерений, выполненных в горных и зональных почвах представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Объем температурных измерений, выполненных в горных и зональных почвах за период исследований с 2014 по 2023 гг.

Гора	Биогеоценозы	Число термохронов	Даты измерений температуры	Объект исследования
Айкуайвенчорр	<i>АГли, АГэл, АГмх, АГмх-ли, АГли-пч</i>	6	IX.2019–IX.2020 VII.2022–IX.2023	Атмосферный воздух Подстилка
Вудъяврчорр	<i>ВГли, ВГэл</i>	2	IX.2017–VIII.2018	Подстилка Воздух (метеостанция г. Ловчорр)
Юкспорр	<i>ЮsBT, ЮsT, ЮsБК</i>	3	VI–IX.2014	Подстилка
Суолайв	<i>СwT, СwБК, СwE</i>	3	VI–IX.2014	Подстилка
Юмечорр	<i>ЮmswT, ЮmswБК, ЮmswC</i>	3	VI–VII.2014	Подстилка
Куэльпорр	<i>KwT KwБК KwE₃₀₀–KwE₄₀₀</i>	15	IX.2018– IX.2019	Атмосферный воздух Поверхность почвы Подстилка
Долина реки Кунийок	<i>C ГC B ГB</i>	2 (2015) 4 (2018) 22 (2021) 22 (2022)	VII–IX.2015 VII–IX.2018 VII.2021–IX.2022 VII.2022–IX.2023	Атмосферный воздух Подстилка Почвенный профиль
Предгорная равнина	<i>PC</i>	6	Круглогодично с 2016 по н.в.	Атмосферный воздух Подстилка Почвенный профиль

Летняя динамика $T^{\circ}C$ подстилки (за период не менее 70 сут) исследована для 35 биогеоценозов, годовая динамика $T^{\circ}C$ подстилки – для 16.

2.2.3 Методы отлова беспозвоночных животных

Для учета беспозвоночных разных размерных и экологических групп (почвенной и герпетобионтной макрофауны и микроартропод) использовали стандартные методы отлова: отбор образцов подстилки (25×25 см²) и установку почвенных ловушек (Количественные методы ..., 1987; Barber, 1931).

Образцы подстилки размером 25×25 см² в 7–10-кратной повторности отбирали в горных биогеоценозах в даты закладки термохронов. Серии почвенных ловушек

объемом 500 мл с 5% раствором гистологического формалина устанавливали не менее чем в 15-ти кратной повторности в три ловушко-линии, с расстоянием между ловушко-линиями и ловушками в каждой линии по 10 метров (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Методы учета беспозвоночных: а – схема установки почвенных ловушек; б – 500 мл ловушка с формалином; в – закладка ловушко-линии с шагом 10 м; г – отбор почвенных проб 25х25 см²

На горных вырубках и гарях в каждый исследованный сезон (2015, 2018 и 2021 гг.) использовали серии из тридцати ловушек на каждом участке: три ряда по 10 ловушек с расстоянием 10 м между рядами и между ловушками в ряду, что соответствовало общей площади отлова 0.18 га (рисунок 2.10).

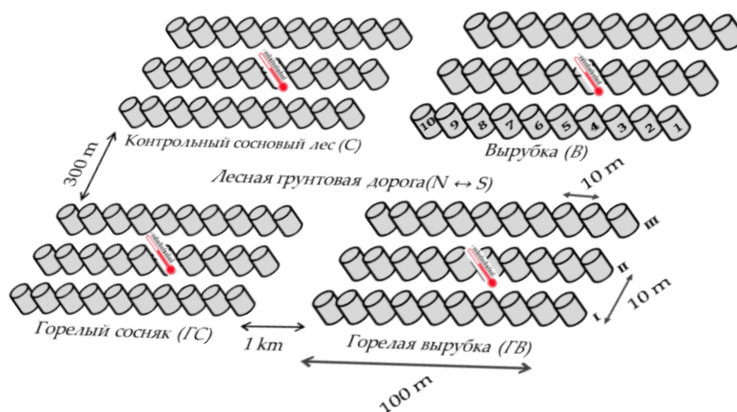


Рисунок 2.10 – Схема размещения ловушек и термохронов на мониторинговой сети участков в долине Кунийок. I–III – по три линии ловушек на каждом участке. 1–10 – по десять ловушек в каждой линии

В поясе холодных гольцовых пустынь образцы маломощной подстилки вместе с фрагментарной растительностью отбирали металлическим цилиндром диаметром 10 см и высотой 5 см в 7-ми кратной повторности (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Отбор подстилки почвенным цилиндром под фрагментами злаков и мхов в поясе гольцовых пустынь

Данные по срокам и методам отлова беспозвоночных сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Сроки и методы учета беспозвоночных в биогеоценозах Хибин

Гора	Биогеоценоз	Срок учета	Число суток	Повторность
Вудъяврчорр	<i>ВГли</i> <i>ВГзл</i>	сентябрь 2017	1	14 почв/проб
Айкуайвенчорр	<i>АГли</i>	июль 2020	1	14 почв/проб
	<i>АГзл</i>	сентябрь 2021	1	14 почв/проб
	<i>АГли</i> <i>АГмх</i> <i>АГмх-ли</i> <i>АГли-пч</i>	июль–сентябрь 2023	60	5 ловушек 5 ловушек 5 ловушек 5 ловушек
Куэльпорр	<i>К_WT</i> <i>К_WE₄₀₀</i> <i>К_WE₃₅₀</i> <i>К_WE₃₀₀</i>	июль–сентябрь 2019	60	10 ловушек 10 ловушек 10 ловушек 10 ловушек
Юкспорр	<i>Ю_SBT</i> <i>Ю_ST</i> <i>Ю_SBK</i>	июнь–сентябрь 2014	95	10 ловушек 10 ловушек 10 ловушек
Суолайв	<i>С_WT</i> <i>С_WBK</i> <i>С_WE</i>	июнь–сентябрь 2014	70	10 ловушек 10 ловушек 10 ловушек
Юмечорр	<i>Ю_MSWT</i>	июнь–июль 2014	20	30 ловушек
	<i>Ю_MSWBK</i> <i>Ю_MSWC</i>	июль 2014	1	24 почв/пробы
Долина Кунийок	<i>С</i>	июль–сентябрь	70	300 ловушек 64 почв/пробы
	<i>ГС</i>	2015/2018/2021	1	
	<i>В и ГВ</i>	июль 2015, июль 2018	1	

Сроки работы ловушек и термохронов совпадали: их установка была приурочена к сходу снега (с середины-конца мая в равнинном сосняке и с конца июня – начала июля в горах); осенние сроки выемки ловушек и перепрограммирования датчиков – к первым заморозкам (середина – конец сентября).

2.3 Лабораторные методы

В лабораторных условиях образцы подстилки и содержимое ловушек разбирали вручную. Подстилку затем прогревали под электролампами мощностью 40 Вт в течение нескольких суток до полного высушивания и выгонки беспозвоночных в спирт (Гиляров, 1975, 1978) (рисунок 2.12). Особей из почвенных проб пересчитывали в экз./м² (показатель численности), из ловушек – в экз. на 100 ловушко–суток (показатель динамической плотности). Рассчитывали относительную численность и степень доминирования беспозвоночных: доминанты – $\geq 10\%$ от общей численности (плотности) в биогеоценозе; субдоминанты – от 5 до 10%, малочисленные – от 1 до 5%, редкие – менее 1% (Southwood, 1978).



Рисунок 2.12 – Ручной разбор почвенных проб (а) и электропрогрев почвы для выгонки мелких беспозвоночных (б)

Разбор образцов и ловушек, фиксацию, таксономическое определение и подсчет беспозвоночных проведены под руководством в.н.с. ИППЭС КНЦ РАН, к.б.н. И.В. Зенковой, геоботаническое описание напочвенной растительности в горах – под руководством с.н.с. Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина, к.б.н. Н.Е. Королевой. Видовое определение доминирующих таксонов беспозвоночных, выполнено специалистами по данным группам – д.б.н. К. В. Макаровым, д.б.н. Б.Ю. Филипповым и к.б.н. Н.А. Зубрий (жужелицы, Carabidae), к.б.н. Дитц А.А. (стафилиниды, Staphylinidae), к.б.н. З.М. Юсуповым (муравьи, Formicidae), к.б.н. А. А. Нехаевой (пауки, Aranei). Собранный и зафиксированный зоологический материал хранится в лаборатории Наземных экосистем ИППЭС КНЦ РАН.

Анализ химических и физико-химических показателей почв выполнен в аккредитованной аналитической лаборатории (ИППЭС КНЦ РАН). В почвах определялись следующие показатели (на абсолютно сухую массу): величина рН

(потенциометрическим титрованием), органическое вещество/зольность (прокаливанием в муфельной печи при температуре 525 ± 25 °C в течение 2 часов), содержание биогенных элементов: кальция и калия (атомно-абсорбционным спектрофотометрическим методом на приборе «Анализатор-800»), фосфора (фотоколориметрическим методом), общего азота (метод Кьельдаля), органического углерода (метод Тюрина).

2.4 Математическая обработка и ГИС-картографирование данных

На основе первичных измерений термохронов с периодичностью 2–4 часа в сутки рассчитывали *среднесуточные* $T^{\circ}\text{C}$. По усредненным среднесуточным вычисляли *среднемесячные* $T^{\circ}\text{C}$ значения, по усредненным за июнь – август – *среднелетние* значения, усредненным за май – сентябрь (октябрь) – *средние* $T^{\circ}\text{C}$ *вегетационного сезона*. Определяли *максимальные и минимальные внутри- и среднесуточные (абсолютные максимумы и минимумы), среднелетние и среднегодовые* $T^{\circ}\text{C}$, *суммы эффективных, активных, положительных и отрицательных* $T^{\circ}\text{C}$. Все оцениваемые температурные параметры сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Расчетные температурные показатели, полученные на основе первичных данных термохронов

Показатели	Динамика температуры			
	Суточная	Месячная	Летняя, VI–VIII	Годовая
T средняя, °C	$T_{\text{сут}}$	$T_{\text{мес}}$	$T_{\text{л}}$	$T_{\text{г}}$
T минимальная, °C		T_{min}		
T максимальная, °C		T_{max}		
Амплитуда, °C		$T_{\text{min}} - T_{\text{max}}$		
Варьирование CV, %		CV		
<i>Сумма температур</i>				
$T < 0$ °C	–	$\sum T_{\text{м}} < 0$	$\sum T_{\text{л}} < 0$	$\sum T_{\text{г}} < 0$
$T \geq 0$ °C	–	$\sum T_{\text{м}} \geq 0$	–	$\sum T_{\text{г}} \geq 0$
$0 \leq T < 5$ °C	–	$\sum (0 \leq T_{\text{м}} < 5)$	$\sum (0 \leq T_{\text{л}} < 5)$	$\sum (0 \leq T_{\text{г}} < 5)$
$5 \leq T < 10$ °C	–	$\sum (5 \leq T_{\text{м}} < 10)$	$\sum (5 \leq T_{\text{л}} < 10)$	$\sum (5 \leq T_{\text{г}} < 10)$
$T \geq 10$ °C	–	$\sum (T_{\text{м}} \geq 10)$	$\sum (T_{\text{л}} \geq 10)$	$\sum (T_{\text{г}} \geq 10)$
<i>Число суток с температурой, n</i>				
$T < 0$ °C	–	$n(T_{\text{м}} < 0)$	$n(T_{\text{л}} < 0)$	$n(T_{\text{г}} < 0)$
$T \geq 0$ °C	–	$n(T_{\text{м}} \geq 0)$	$n(T_{\text{л}} \geq 0)$	$n(T_{\text{г}} \geq 0)$
$0 \leq T < 5$ °C	–	$n(0 \leq T_{\text{м}} < 5)$	$n(0 \leq T_{\text{л}} < 5)$	$n(0 \leq T_{\text{г}} < 5)$
$T < 10$ °C	–	$n(5 \leq T_{\text{м}} < 10)$	$n(5 \leq T_{\text{л}} < 10)$	$n(5 \leq T_{\text{г}} < 10)$
$T \geq 10$ °C	–	$n(T_{\text{м}} \geq 10)$	$n(T_{\text{л}} \geq 10)$	$n(T_{\text{г}} \geq 10)$

Примечание. $T_{\text{сут}}$ – среднесуточная температура; $T_{\text{мес}}$ – среднемесячная; $T_{\text{л}}$ – среднелетняя; $T_{\text{г}}$ – среднегодовая. Прочерк – данные не рассматривали.

Сравнение средних значений температурных показателей между одноименными и соседними горно-растительными поясами и между разными сезонами проводили с использованием *t*-критерия Стьюдента, сравнение температурной динамики – методом дисперсионного анализа ANOVA (*F*-критерий Фишера). Оценку сопряженной динамики (годовой, ежемесячной и летней) $T^{\circ}\text{C}$ почв и атмосферного воздуха, а также влияние температурных параметров на распределение численности беспозвоночных животных проводили с помощью корреляционного анализа (коэф. *r*). Влияние факторов высоты, экспозиции горных склонов и горно-растительного пояса на температурные параметры и распределение беспозвоночных анализировали методами многофакторного дисперсионного анализа MANOVA, множественной регрессии (SPSS) и анализа главных компонент (PCA). Предварительно выполняли стандартизацию первичных значений по формуле $x = (N - N_{av}) / SD$ (Халафян, 2007). Для сходства/различия горных биогеоценозов по таксономическому составу и численности беспозвоночных применяли кластерный анализ. Все расчеты выполняли в программных пакетах Statistica 10 и Excel. Все полученные температурные данные за 2013–2023 гг сведены в единую информационную систему в программном пакете Excel. Построение карт с районами исследования выполнено автором в программном пакете ArcGIS (версия 10.4) компании ESRI.

Глава 3. ТЕМПЕРАТУРЫ И НАСЕЛЕНИЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ПОЧВ ХИБИН

Обсуждаются результаты исследований почвенных температур и населения беспозвоночных в основных горно-растительных поясах (горно-таежном, поясе березовых криволесий, горно-тундровом и поясе холодных гольцовых пустынь) пяти хибинских гор. На примере гор Юмечорр, Юкспорр и Суолайв проанализированы высотные изменения температурных и фаунистических показателей в зависимости от экспозиции склона (юго-западная, западная и южная) и расположения гор в разных частях Хибинского массива (высокогорная центральная и низкогорные окраины – западная и восточная). На горе Куэльэпорр с хорошо выраженным поясом спелых еловых лесов, представленных не на всех склонах Хибин, рассмотрено распространение беспозвоночных и окружающих температур в градиенте высот с шагом 50 м над ур. м. На плато гор Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр, удаленных на расстоянии 7 км, на предельных для Хибин отметках выше 1000 м, исследованы температуры и население беспозвоночных пояса холодных гольцовых пустынь.

3.1 Тренды распределения почвенных температур и населения беспозвоночных на склонах разной экспозиции и локализации гор Юмечорр, Юкспорр и Суолайв

3.1.1 Почвенные температуры в высотных профилях трех гор

При сравнении температурных рядов за сходный период с конца июня по начало сентября 2014 г. (всего 70 сут) на склонах разной высоты и экспозиции гор Юкспорр и Суолайв, расположенных на одной широте ($67^{\circ}39'$), но в разных частях Хибин на удалении 17 км друг от друга, общими оказались:

- сроки и степень максимального прогрева подстилки: до *среднесуточных* $T^{\circ}C \geq 16,0^{\circ}C$ при продолжительности наиболее теплого периода с *активными* $T \geq 10^{\circ}C$ не менее 43 суток на протяжении июля–августа;
- осеннее снижение $T^{\circ}C$ подстилки $< 10^{\circ}C$ с конца августа (29.VIII);
- усиление вариабельности $T^{\circ}C$ подстилки и ее зависимости от $T^{\circ}C$ атмосферного воздуха в горно-тундровых поясах по сравнению с горно-лесными.

На эти сходные для двух склонов проявления температурной динамики накладывались различия, связанные с экспозицией и высотой над уровнем моря. Они

отражали наибольший прогрев горных почв в высотном диапазоне 340–490 м над ур. м., которому соответствовали пояса березовых криволесий и горных тундр, при достоверном лучшем летнем прогреве этих поясов на склоне западной экспозиции горы Суолайв по сравнению со склоном южной экспозиции горы Юкспорр.

Склон западной экспозиции горы Суолайв был теплее по следующим показателям подстилки: *минимальные и максимальные $T^{\circ}C$ июля и августа, сумма и число суток с активными $T^{\circ}C$, среднелетние $T^{\circ}C$* (Приложение А.1). Подстилка в березовом криволесье ($C_{WBK_{340}}$) и горной тундре ($C_{WT_{390}}$) этого склона прогревалась до T_{max} 18,0...22,7 °C в общую дату (6.VII), что было на 9 суток раньше по сравнению с березовым криволесьем ($Ю_{SBK_{490}}$) на склоне южной экспозиции горы Юкспорр (до 15,9 °C, 15.VII) и на месяц раньше в сравнении с тундровыми почвами этого более высотного склона ($Ю_{ST_{640}}$ и $Ю_{SBT_{730}}$), которые достигали T_{max} 16,4...16,6 °C лишь к концу первой недели августа (6–7.VIII).

Прогрев подстилки до *абсолютных максимумов* 16,0...18,0 °C в горно-лесных поясах обеих гор (ельник $C_{WE_{270}}$ и березовые криволесья $C_{WBK_{340}}$ и $Ю_{SBK_{490}}$) отмечался в первую неделю июля (6.VII) и в середине месяца (15.VII) при сходной продолжительности в этих поясах периода *активных $T^{\circ}C$* (48–49 сут) и, напротив, значительно различался в горных тундрах в пользу склона западной экспозиции: 55 сут при прогреве подстилки до 22,7 °C ($C_{WT_{390}}$) против 43–45 сут при меньшем прогреве до 16,4...16,6 °C ($Ю_{ST_{640}}$ и $Ю_{SBT_{730}}$).

Минимальные $T^{\circ}C$ июля в подстилке всех исследованных поясов на склонах западной и южной экспозиции регистрировались в сходные даты (1–4.VII) и были сопоставимы в лесных поясах: 7,8 и 8,8 °C (ельник $C_{WE_{270}}$ и березовое криволесье $C_{WBK_{340}}$) и 8,6 °C ($Ю_{SBK_{490}}$), что отражало общую для основания склонов двух гор, удаленных на 17 км, динамику $T^{\circ}C$ атмосферного воздуха и органогенного горизонта. Но в тундровом поясе *минимальные $T^{\circ}C$* были выше на склоне западной экспозиции по сравнению с южной и плато: 10,6 °C ($C_{WT_{390}}$) против 7,0 °C ($Ю_{ST_{640}}$) и 5,7 °C ($Ю_{SBT_{730}}$). Эти усиливающиеся с высотой различия в прогреве почв на склонах разной экспозиции соответствовали представлениям о большей зависимости климатических параметров в верхних поясах от атмосферных циркуляционных процессов (Яковлев, 1961) по сравнению с нижележащими поясами, подверженными преимущественно влиянию радиационных процессов и различиям в поступлении солнечной радиации на склоны

разной крутизны и экспозиции (Шмакова, 2008). При небольшой высоте горных склонов Хибин их крутизна варьирует от 8 до 35°, а в центральной части – более 35° (Алексеев и др., 2017). В течение вегетационного сезона максимум солнечной радиации наблюдается в июне–июле, при этом приток тепла на нижние части горных склонов меньше, чем в средних и верхних частях, так как солнце в полуденные часы не поднимается выше 45–46° (Шмакова и др., 2008).

Среднелетние $T^{\circ}\text{C}$ подстилки во всех поясах склона западной экспозиции были достоверно (на 1,0...3,5 °C) выше, чем на склоне южной экспозиции ($T_{st} \geq 2,55$ при $p < 0,05$) (рисунок 3.1). Лучший прогрев подстилки в растительных поясах горы Суолайв можно было бы объяснить их расположением на меньших высотах (340–390 м), по сравнению с одноименными поясами на горе Юкспорр (490–730 м). В то же время ельник (C_{WE270}) в нижней части склона Суолайв прогревался в июле слабее березового криволесья (C_{WBK340}), расположенного на 70 м выше по склону, и по величине среднемесячной и максимальной $T^{\circ}\text{C}$ июля был схож с березовым криволесьем горы Юкспорр ($Ю_{SBK490}$), также произрастающим в основании склона.

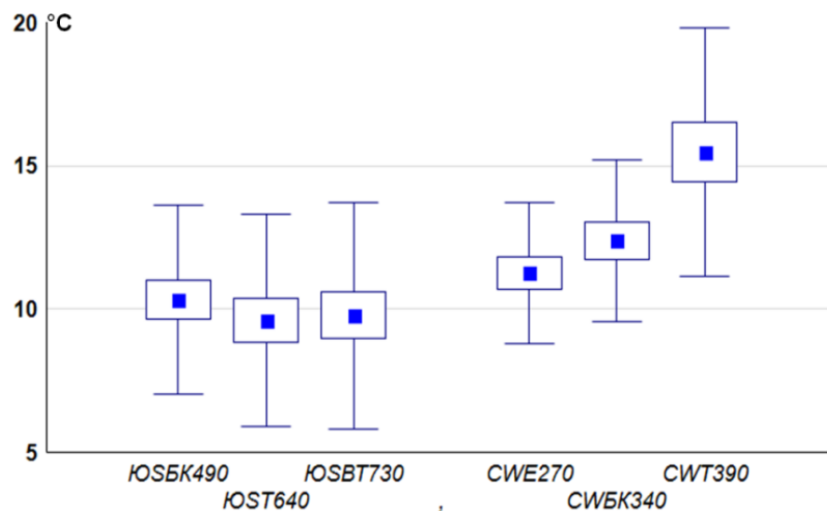


Рисунок 3.1 – Средняя за конец июня – начало сентября температура в подстилке высотных поясов гор Юкспорр и Суолайв. Участки: $Ю_{SBK490}$, $Ю_{ST640}$, $Ю_{SBT730}$ – березовое криволесье, горная тундра на склоне южной экспозиции и высокогорная тундра на плато горы Юкспорр (центральная часть Хибин); C_{WE270} , C_{WBK340} , C_{WT390} – еловое редколесье, березовое криволесье и горная тундра на склоне западной экспозиции горы Суолайв (восточная окраина Хибин)

Следовательно, меньший прогрев горных почв наблюдался в основании склонов, независимо от их экспозиции, положения над уровнем моря и принадлежности к растительному поясу (горно-таежному или березовых криволесий). Это можно объяснить характерным для Хибин явлением температурных инверсий – подъемом теплых воздушных масс вверх по склонам и стеканием более плотного холодного воздуха к основанию склонов с образованием «озёр» холодного воздуха (Горичев, 2014).

На склоне южной экспозиции горы Юкспорр, несмотря на бóльшую высотную разницу между поясами (90–240 м), достоверные различия между ними отсутствовали как по *средним* $T^{\circ}C$ подстилки в каждый из трех полных исследованных месяцев (июль, август, сентябрь, $Tst < 1,68$ при $p > 0,51$), так и в динамике $T^{\circ}C$ в эти месяцы ($F \leq 2,10$, $p \geq 0,15$). Исключением была достоверная сентябрьская разница $T^{\circ}C$ между поясами $Ю_СБК_{490}$ и $Ю_СВТ_{730}$, когда под пологом березового леса подстилка достоверно дольше, на 12 суток, сохраняла тепло по сравнению с тундрой на высотном плато ($F = 3,36$ при $p = 0,07$).

В целом для 45 рассчитанных показателей $T^{\circ}C$ подстилки выявлены противоположные тренды их изменения на склонах разной экспозиции под влиянием фактора высотной поясности:

- тренд снижения с высотой – от пояса березовых криволесий ($Ю_СБК_{490}$) к верхнему поясу тундры ($Ю_СВТ_{730}$) прослежен для небольшого числа температурных показателей на склоне южной экспозиции горы Юкспорр (для 14 из 45, в т. ч.: *средней* T_{VII} , *числа суток с активными* $T^{\circ}C$ августа, *суммы положительных и активных* $T^{\circ}C$ августа и вегетационного сезона, T_{min} сентября);

- тренд увеличения большинства показателей от горно-лесных поясов ($С_ВЕ_{270}$ и $С_ВБК_{340}$) к горно-тундровому ($С_ВТ_{390}$) на склоне западной экспозиции горы Суолайв (33 из 45 показателей, в т.ч.: *средней, минимальной и максимальной* $T^{\circ}C$ августа, *числа суток и суммы активных* $T^{\circ}C$ августа, *амплитуды и variability* $T^{\circ}C$ в августе, *средней и максимальной* $T_{VII-VIII}$ и др.).

Высотный тренд *максимальных* $T^{\circ}C$ был восходящим на обеих горах – почвы тундрового пояса на высотах 340–730 м над ур. м. прогревались лучше лесных почв на высотах 270–490 м:

$$\begin{aligned} Ю_СБК_{490} (15,9^{\circ}C) &\rightarrow Ю_СТ_{640} (16,7^{\circ}C) \rightarrow Ю_СВТ_{730} (16,4^{\circ}C), \\ С_ВЕ_{270} (16,2^{\circ}C) &\rightarrow С_ВБК_{340} (18,1^{\circ}C) \rightarrow С_ВТ_{390} (22,7^{\circ}C). \end{aligned}$$

Высотные тренды минимальных $T^{\circ}\text{C}$ вегетационного сезона были противоположными: восходящий на склоне западной экспозиции и нисходящий, в виде снижения $T_{\min}$ подстилки с высотой, на склоне южной экспозиции:

$$CWE_{270} (7,8^{\circ}\text{C}) \rightarrow CWBK_{340} (8,8^{\circ}\text{C}) \rightarrow CWT_{390} (9,1^{\circ}\text{C}),$$

$$ЮSBK_{490} (8,6^{\circ}\text{C}) \rightarrow ЮST_{640} (6,4^{\circ}\text{C}) \rightarrow ЮSBT_{730} (5,7^{\circ}\text{C}).$$

Несмотря на эти противоположные высотные тренды, сравнение летней динамики среднесуточной $T^{\circ}\text{C}$ подстилки показало усиление ее корреляционной зависимости от $T^{\circ}\text{C}$ воздуха в высотном профиле обеих гор (рисунок 3.9), что свидетельствовало о большей зависимости $T^{\circ}\text{C}$ горно-тундровых почв на склонах разной экспозиции и локализации от $T^{\circ}\text{C}$ воздуха по сравнению с горно-лесными почвами:

$$CWE_{270} (r = 0,83) \rightarrow CWBK_{340} (0,90) \rightarrow CWT_{390} (0,91),$$

$$ЮSBK_{490} (r = 0,79) \rightarrow ЮST_{640} (0,81) \rightarrow ЮSBT_{730} (0,82).$$

При этом на склоне западной экспозиции горы Суолайв корреляция $T^{\circ}\text{C}$ подстилки и воздуха в разных поясах была выше, чем на склоне южной экспозиции горы Юкспорр, несмотря на то что метеостанция расположена ближе ко второй горе. Общей особенностью температурной динамики на двух горах был переход на эффективные $T^{\circ}\text{C}$ подстилки во всех поясах $< 10^{\circ}\text{C}$ с конца августа (рисунок 3.2).

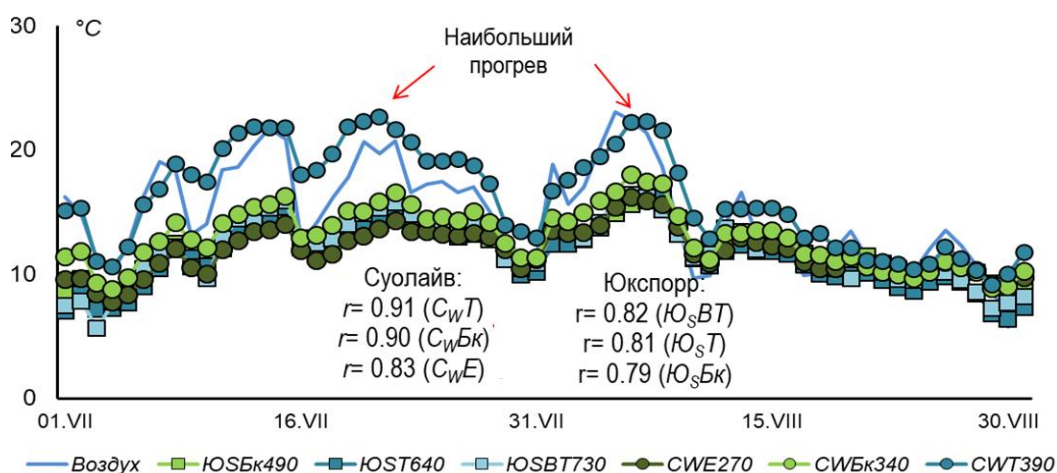


Рисунок 3.2 – Зависимость динамики среднесуточной температуры подстилки от атмосферного воздуха на склонах разной экспозиции гор Юкспорр и Суолайв в июле – сентябре 2014 г. Обозначение участков как на рис 3.1, r – коэффициент корреляции среднесуточных температуры подстилки и атмосферного воздуха

На склоне юго-западной экспозиции горы Юмечорр, расположенной на внешней, западной, окраине Хибин на сходной широте с горами Юкспорр и Суолайв на удалении от них на 23 и 37 км соответственно (рисунок 3.3), температурные данные были получены в тот же сезон 2014 г., но за меньший период в конце июня–июле из-за технического сбоя датчиков.

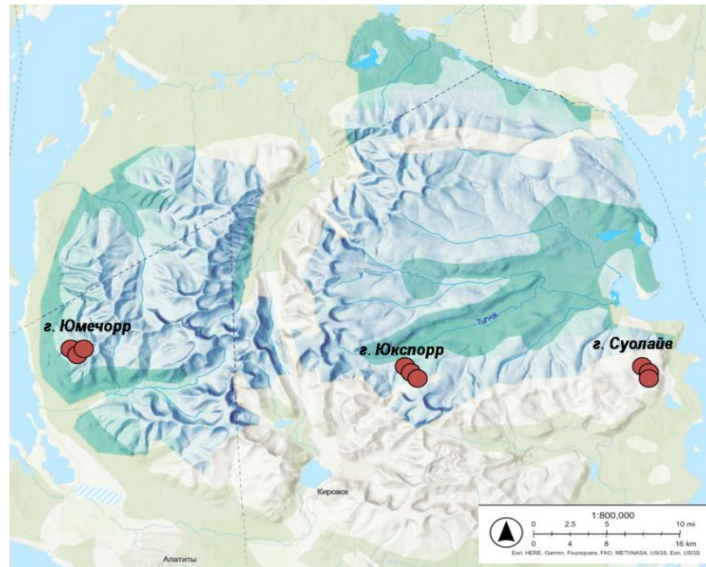


Рисунок 3.3 – Местоположение в пределах Хибинского массива гор Юмечорр (западная окраина, $67^{\circ}42'$ с.ш., $33^{\circ}15'$ в.д.), Юкспорр (центральная часть, $67^{\circ}39'$, $33^{\circ}46'$) и Суолайв (восточная окраина, $67^{\circ}39'$, $34^{\circ}10'$). Красными кругами обозначены биогеоценозы, исследованные в трех растительных поясах каждой горы

Сравнение трех гор за этот непродолжительный период показало большее сходство $T^{\circ}\text{C}$ подстилки в поясах двух более удаленных гор, лежащих на противоположных окраинах Хибин, но имеющих меньшие высоты и ориентированные на запад склоны (315–505 м над ур. м. на склоне юго-западной экспозиции горы Юмечорр и 270–390 м на склоне западной экспозиции горы Суолайв) по сравнению со склоном южной экспозиции горы Юкспорр (490–730 м) из более высотной центральной части массива.

На ориентированных на запад склонах двух гор, удаленных на 37 км, биогеоценозы горно-таежного пояса в основании склонов на высотах 270–315 м над ур. м. (сосняк $Ю_{мsw}C_{315}$ на горе Юмечорр и ельник $С_{wE_{270}}$ на горе Суолайв) при сопоставимых средних $T^{\circ}\text{C}$ подстилки $8,2...8,3^{\circ}\text{C}$ отличались меньшим прогревом от березовых криволесий этих же склонов на высотах 340–380 м ($Ю_{мsw}BK_{380}$ и $С_{wBK_{340}}$), а также

березового криволеся $Ю_СБК_{490}$ в основании более высотного южного склона горы Юкспорр (рисунок 3.3).

При сходных во всех поясах трех гор T_{min} подстилки (5,3...5,9 °C), подстилка хвойных лесов прогревались до меньших T_{max} (9,6...10,9 °C против 11,5...12,7 °C в березовых криволесях) и была незначительно теплее только в сравнении с тундровыми на отметках 640–730 м горы Юкспорр ($Ю_СТ_{640}$ и $Ю_СВТ_{730}$). При сходном прогреве подстилки в березовых криволесях двух гор на окраинах массива (Юмечорр и Суолайв) на высотах 340–380 м ($С_ВБК_{340}$ и $Ю_{МСВБК}_{380}$), различия между горами проявлялись в достоверно лучшем прогреве горной тундры $С_ВТ_{390}$ на склоне западной экспозиции на восточной окраине Хибин по сравнению с тундрой $Ю_{МСВТ}_{505}$ на юго-западном склоне на западной окраине: до *средней* $T^{\circ}C$ подстилки 12,3 против 9,5 °C и до T_{max} 16,9 против 11,9 °C ($T_{st} \geq 2,68$ при $p < 0,05$) (рисунок 3.4) при в 2 раза бóльшей сумме активных $T^{\circ}C$: 108 против 56 °C (рисунок 3.5).

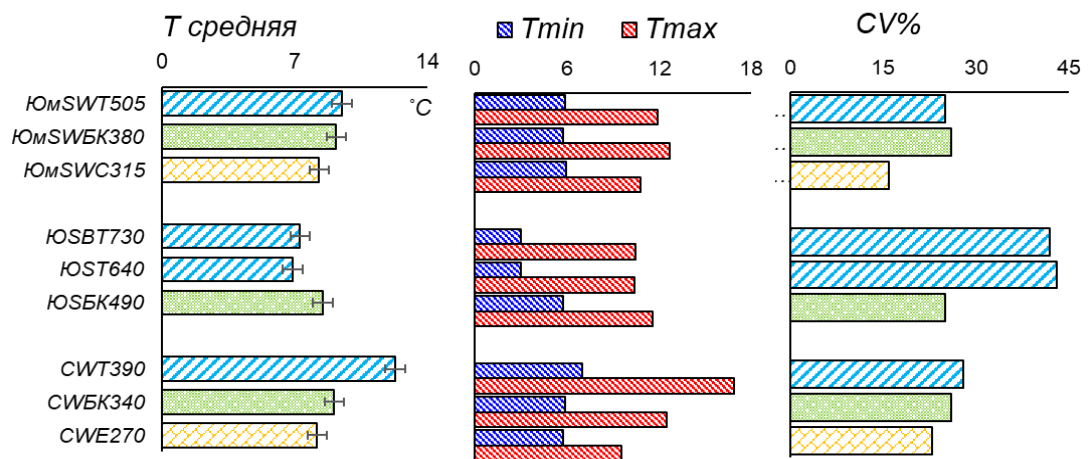


Рисунок 3.4 – Температурные показатели подстилки в высотных поясах гор Юмечорр, Юкспорр, Суолайв. Участки: $Ю_{МСВС}_{315}$, $Ю_{МСВБК}_{380}$, $Ю_{МСВТ}_{505}$ – сосновое редколесье, березовое криволестье и горная тундра на склоне юго-западной экспозиции горы Юмечорр (западная часть Хибин); $Ю_СБК_{490}$, $Ю_СТ_{640}$, $Ю_СВТ_{730}$ – березовое криволестье, горная тундра на склоне южной экспозиции и высокогорная тундра на плато горы Юкспорр (центральная часть Хибин); $С_ВЕ_{270}$, $С_ВБК_{340}$, $С_ВТ_{390}$ – еловое редколесье, березовое криволестье и горная тундра на склоне западной экспозиции горы Суолайв (восточная часть Хибин)

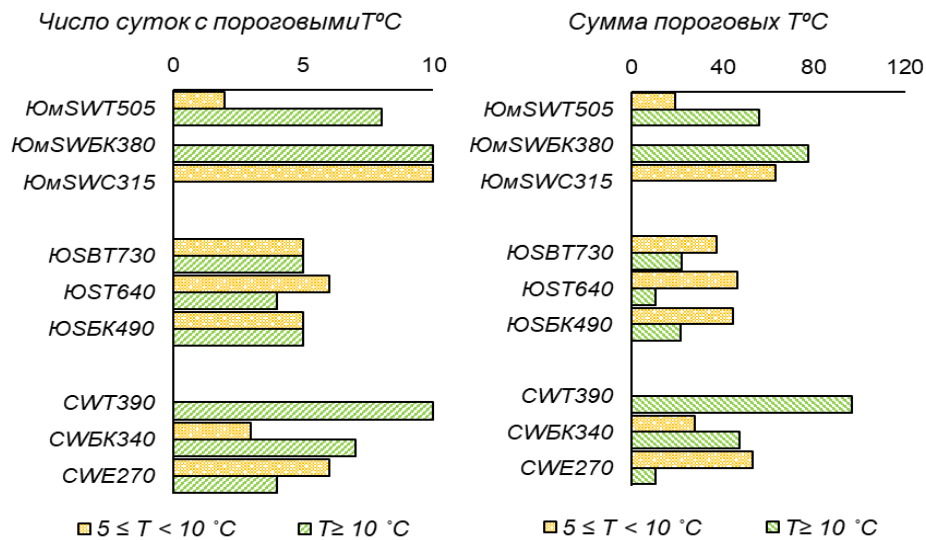


Рисунок 3.5 – Число суток и суммы пороговых температур подстилки в высотных поясах гор Юмечорр, Юкспорр и Суолайв за сходный период измерений.

При сравнении трех гор Юкспорр, Юмечорр и Суолайв за сходный период выявлены разные высотные тренды изменения $T^{\circ}\text{C}$ подстилки, обособляющие склоны западной экспозиции с восходящим трендом температур и лучшим прогревом горных тундр и склон южной экспозиции с нисходящим трендом и лучшим прогревом нижнего пояса березовых криволесий (рисунок 3.4):

- увеличение в высотном профиле гор Юмечорр и Суолайв в западной и восточной частях Хибин температурных показателей, отражающих лучший прогрев горно-тундровых почв по сравнению с горно-лесными (*среднелетние $T^{\circ}\text{C}$, T_{max} , T_{min} , амплитуда $T^{\circ}\text{C}$, число суток и сумма активных $T^{\circ}\text{C}$*);

- максимальные показатели $T^{\circ}\text{C}$ в поясе березовых криволесий по сравнению с горными тундрами на склоне южной экспозиции горы Юкспорр (*среднелетние $T^{\circ}\text{C}$, T_{max} , T_{min} , сумма и число суток с активными $T^{\circ}\text{C}$*).

*Средние $T^{\circ}\text{C}$ подстилки за сходный период измерений были сопоставимы в горно-лесных поясах трех гор: 8,2...8,3 °C в горно-таежных редколесьях (ЮмSWC315 и СвЕ270) и 8,5...9,2 °C в березовых криволесьях (ЮмSWБК380, ЮсБК490, СвБК340) (различия не достоверны: $T_{\text{st}} < 1,69$ при $p < 0,05$). Для горных тундр различия *средней $T^{\circ}\text{C}$ подстилки были достоверны ($T_{\text{st}} \geq 2,68$ при $p \geq 0,05$): выше на склоне западной экспозиции по сравнению со склонами южной и юго-западной экспозиции: 12,3 °C (СвТ390) против 6,7...7,2 °C (ЮсТ640 и ЮсBT730) и 9,5 °C (ЮмSWT505).**

По сумме *активных* $T^{\circ}\text{C}$ и величине T_{max} лучшим летним прогревом отличались участки березового криволесья ($Ю_{MSW}BK_{380}$) и горной тундры ($С_{WT}T_{390}$) на сходных высотах склонов юго-западной и западной экспозиции гор Юмечорр и Суолайв: 78...108 $^{\circ}\text{C}$ против 0...11 $^{\circ}\text{C}$ в горно-таежном поясе ($Ю_{MSW}C_{315}$ и $С_{WE}E_{270}$), 22...48 $^{\circ}\text{C}$ в поясе березовых криволесий ($Ю_{SBK}K_{490}$ и $С_{WBK}K_{340}$) и 11...56 $^{\circ}\text{C}$ в горных тундрах ($Ю_{ST}T_{640}$, $Ю_{SBT}T_{730}$, $Ю_{MSW}T_{505}$); при T_{max} 12,7...16,9 $^{\circ}\text{C}$ против 9,6...10,8 $^{\circ}\text{C}$, 11,6...12,5 $^{\circ}\text{C}$ и 10,4...11,9 $^{\circ}\text{C}$ соответственно.

3.1.2 Население беспозвоночных трех гор

Исходя из выявленных особенностей летнего прогрева исследованных горных почв, можно было бы ожидать наиболее высоких значений разнообразия и численности беспозвоночных на достоверно лучше прогреваемых склонах западной экспозиции гор Юмечорр и Суолайв в высотном диапазоне 380–390 м над ур. м., которому соответствуют пояса березовых криволесий и горных тундр ($Ю_{MSW}BK_{380}$ и $С_{WT}T_{390}$).

Суммарно на склонах трех гор выявлены беспозвоночные из 32 таксономических групп, большинство из которых (20) было отловлено как в пробах подстилки, так и в почвенных ловушках. Только в подстилке учтены нематоды Nematoda и энхитреиды Enchytraeidae; только в ловушках обнаружены представители 30 из 35 групп (таблица 3.1).

Наибольшее число таксонов беспозвоночных (от 24 до 27 в разных поясах) выявлено в почвенных ловушках наиболее высотного склона южной экспозиции горы Юкспорр в центральной части Хибин, главным образом, за счет насекомых разных трофических групп. Только в пределах этого склона отловлены аэробиионтные фитофаги (чешуекрылые Lepidoptera, тли Aphididae, листоблошки Psyllidae), хищные божьи коровки Coccinilidae, а также влаголюбивые обитатели подстилки – сосущие фитофаги кокциды Coccidae, микофаги щитовки Ortheziidae, бриофаги бореиды Mecoptera и грызущие фито-сапрофаги тараканы Blattoptera. В подстилке только южного склона, наряду с дождевыми червями Lumbricidae, были учтены нематоды Nematoda и энхитреиды Enchytraeidae (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Таксономический состав беспозвоночных на склонах разной экспозиции трех гор (по результатам учета почвенными ловушками и пробами подстилки)

Беспозвоночные	Подстилка, экз./м ²						Ловушки, экз./100 лов-сут								
	Юмечорр, ЮЗ			Юкспорр, Ю			Юмечорр, ЮЗ			Юкспорр, Ю			Суолайв, З		
	<i>C</i> ₃₁₅	<i>BK</i> ₃₈₀	<i>T</i> ₅₀₅	<i>BK</i> ₄₉₀	<i>T</i> ₆₄₀	<i>BT</i> ₇₃₀	<i>C</i> ₃₁₅	<i>BK</i> ₃₈₀	<i>T</i> ₅₀₅	<i>BK</i> ₄₉₀	<i>T</i> ₆₄₀	<i>BT</i> ₇₃₀	<i>E</i> ₂₇₀	<i>BK</i> ₃₄₀	<i>T</i> ₃₉₀
Нематоды (Nematoda)	–	–	–	25,1	–	2,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Энхитреиды (Enchytraeidae)	8,0	105,1	42,0	20,6	6,0	2,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Дождевые черви (Lumbricidae)	4,0	6,9	2,0	4,6	6,0	2,3	–	–	<1	<1	–	<1	<1	<1	–
Моллюски (Gastropoda)	4,0	–	2,0	–	2,0	6,9	<1	<1	–	<1	<1	<1	1,0	<1	<1
Многоножки (Lithobiidae)	28,0	25,1	6,0	22,9	24,0	6,9	<1	<1	–	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Пауки (Aranei)	68,0	29,7	18,0	–	14,0	29,7	54,2	108,2	78,4	37,1	28,6	20,0	–	3,6	18,4
Сенокосцы (Opiliones)	–	–	–	–	–	–	4,5	1,9	<1	1,0	<1	2,3	<1	<1	<1
Тараканы (Blattoptera)	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	<1	<1	–	–	–	–
Кузнечиковые (Tettigonioidae)	–	–	–	–	–	–	–	<1	<1	–	–	–	–	–	–
Скорпионовые мухи (Mecoptera)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	<1	–	–	–
Клопы (Hemiptera)	8,0	6,9	–	–	4,0	6,9	1,2	<1	<1	<1	<1	1,4	<1	–	<1
Щитовки (Ortheziidae)	–	–	–	–	18,0	29,7	–	–	–	–	<1	<1	–	–	<1
Кокциды (Coccidae)	–	–	–	2,3	–	–	–	–	–	<1	–	<1	–	–	–
Цикадки (Cicadellidae)	–	–	–	–	–	–	<1	–	<1	<1	2,8	1,4	–	–	1,0
Листоблошки (Psyllidae)	–	–	–	32,0	–	2,3	–	–	–	<1	–	<1	–	–	–
Тли (Aphididae)	–	–	–	–	–	29,7	<1	–	–	<1	8,1	<1	<1	<1	<1
Трипсы (Thysanoptera)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	<1	–	–	<1
Жужелицы (Carabidae)	4,0	4,6	4,0	2,3	–	–	19,3	3,2	2,6	6,1	1,8	1,8	9,6	4,3	1,4
Стафилины (Staphylinidae)	24,0	11,4	16,0	98,3	8,0	–	1,8	1,1	1,2	5,8	<1	1,0	5,6	3,5	4,1
Щелкуны (Elateridae)	44,0	–	20,0	20,6	–	2,3	<1	1,1	6,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Мертвоеды (Silphidae)	–	–	–	–	–	–	1,5	–	–	<1	–	–	–	<1	<1
Мягкотелки (Cantharidae)	44,0	36,6	28,0	–	46,0	2,3	–	–	<1	<1	<1	<1	–	<1	<1
Божьи коровки (Coccinellidae)	–	–	–	–	–	–	–	<1	<1	–	<1	<1	–	–	–
Долгоносики (Curculionidae)	2,0	–	2,0	–	2,0	2,3	1,3	<1	–	<1	1,5	4,2	–	<1	<1
Пилюльщики (Byrridae)	–	–	–	155,4	–	2,3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	–	–	<1
Листоеды (Crysomelidae)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<1	–	<1	<1
Муравьи (Formicidae)	6,0	20,6	–	–	2,0	–	33,0	51,4	65,9	7,6	1,6	<1	–	7,3	33,3
Пилильщики (Pamphilidae)	–	–	–	–	–	–	–	<1	<1	<1	<1	1,7	–	–	<1
Шмели (Apidae, <i>Bombus</i>)	–	–	–	–	–	–	<1	1,3	1,6	<1	<1	<1	–	–	–
Прочие перепончатокрылые (Hymenoptera)	8,0	–	2,0	–	–	–	<1	–	4	4,0	2,5	3,1	<1	<1	1,7
Двукрылые (Diptera)	26,0	68,6	40,0	–	28,0	–	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Чешуекрылые (Lepidoptera)	–	–	–	–	–	–	1,0	<1	–	<1	4,0	4,7	–	–	–
Всего групп по поясам на склоне	15	11	13	13	15	19	20	20	20	26	24	27	11	17	22
		15			20			25			30			23	
Общая численность / плотность	278	316	182	384	160	128	127	177	165	70	58	48	20	25	67

Разнообразие насекомых соответствовало высокому обилию их потребителей – пауков *Aranei*. Пауки преобладали в уловах всех поясов южного склона Юкспорр с динамической плотностью от 20 до 37 экз./100 лов-сут и степенью доминирования от 44 до 55% от общей плотности беспозвоночных 48–70 экз./100 лов-сут в поясах березовых криволесий, горной тундры на склоне и высокогорной тундры на плато. Плотность и обилие субдоминантов (хищников – жуужелиц *Carabidae*, стафилинид *Staphylinidae*, муравьев *Formicidae* и прочих перепончатокрылых *Coleoptera* sp. в поясе березовых криволесий *Ю_{SBK}490* и фитофагов – тлей *Aphididae*, цикадок *Cicadellidae*, долгоносиков *Curculionidae* и чешуекрылых *Lepidoptera* в тундрах *Ю_{ST}640* и *Ю_{SBT}730*) не превысили 8 экз./100 лов-сут и 14% соответственно. Остальные таксоны (т.е. подавляющее число) были малочисленными или единичными, с долей в уловах менее 1% (рисунок 3.6, таблица 3.1).

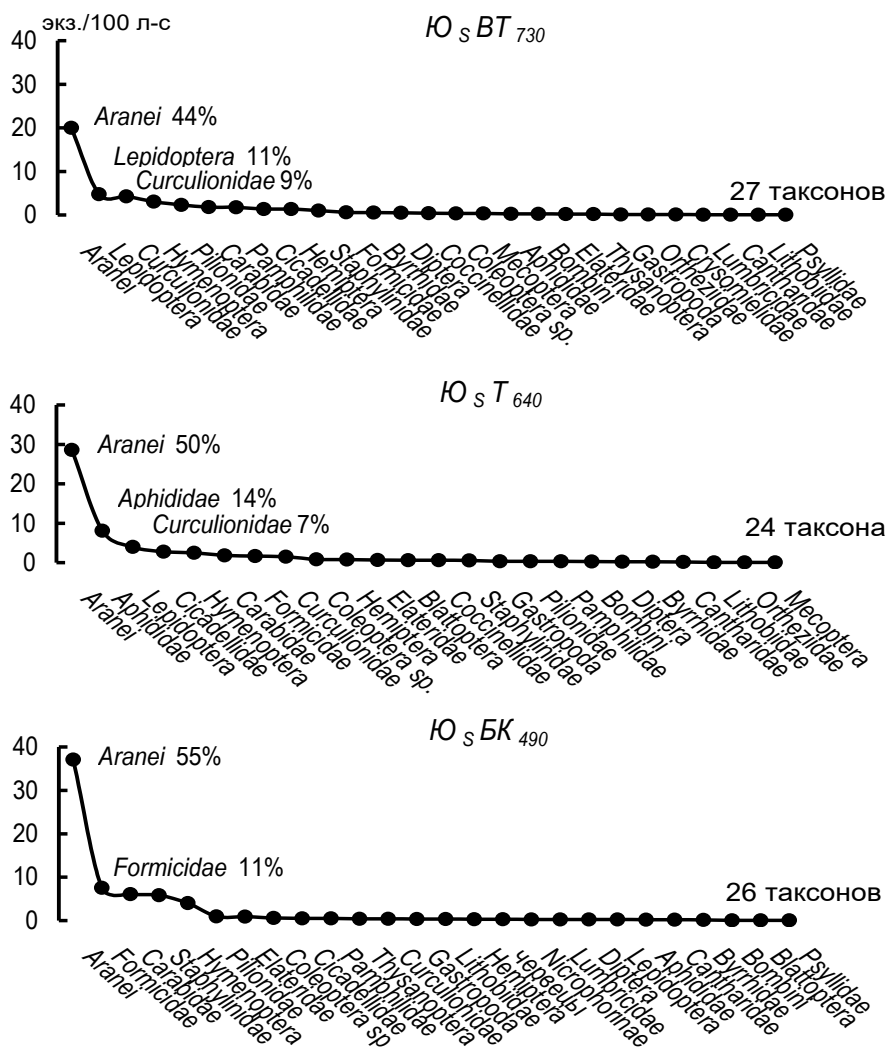


Рисунок 3.6 – Распределение беспозвоночных животных в высотном профиле склона южной экспозиции горы Юкспорр (метод почвенных ловушек)

Следует отметить, что чешуекрылые на горе Юкспорр были представлены преимущественно одним специфически темноокрашенным горно-луговым видом дневных бабочек – пестрянкой альпийской *Zygaena exulans* (рисунок 3.7), распространенной в Западной Палеарктике и известной в Альпах и Пиренеях с высот 1800–2400 м над ур. м. (<https://www.gbif.org>). Более двух сотен имаго и гусениц этой бабочки попали в ловушки нижнего ($Ю_{ST640}$) и верхнего ($Ю_{SBT730}$) поясов горной тундры за сезон с 28.06 по 30.09.2014 при прогреве почв нижнего пояса до 8,5...12,0 °С (абсолютный максимум 16,6 °С) и почв верхнего пояса до 5,6...11,4 °С (абсолютный максимум 16,4 °С). Этот массовый вылов, приуроченным именно к тундровому поясу наиболее высокогорной центральной части Хибин, оказался единственным за многолетний период наших почвенно-зоологических исследований массива.



Рисунок 3.7 – Пестрянка альпийская *Zygaena (Agrumenia) exulans* (Hohenwarth, 1792) в тундровом поясе Хибин (фото Н.Е. Королевой)

В образцах подстилки южного склона Юкспорра преобладали типичные для таежных почв личинки жесткокрылых Coleoptera и двукрылых Diptera, многоножки Lithobiidae, пауки Aranei и щитовки Ortheziidae при общей численности беспозвоночных 128–384 экз./м² (таблица 3.1). Перераспределение их доминирования в высотном профиле (в % от общей численности в образцах) отражено на следующей схеме:

$Ю_{SBT730}$: Aranei = Ortheziidae (23) > Diptera (14) > Staphylinidae (7) > Lithobiidae = Gastropoda = Hemiptera (5%);

$Ю_{ST640}$: Cantharidae (28) > Diptera (17) > Lithobiidae (15) > Ortheziidae (11) > Aranei (9) > Staphylinidae (5);

$Ю_{SBK490}$: Staphylinidae (34) > Cantharidae = Diptera (11) > Coccidae = Nematoda (9) > Lithobiidae (8) > Enchytraeidae = Elateridae (7).

В целом, из 30 групп, выявленной двумя методами на южном склоне Юкспорр, встречаемость и обилие 10 таксонов снижались в тундровом поясе по сравнению с поясом березовых криволесий (нематоды Nematoda, энхитрииды Enchytraeidae, пауки Aranei, тараканы Blattoptera, жужелицы Carabidae, стафилиниды Staphylinidae, шелкоуны Elateridae, пиллюльщики Byrridae, муравьи Formicidae, перепончатокрылые Hymenoptera), у 13 таксонов – возрастали (дождевые черви Lumbricidae, моллюски Gastropoda, сенокосцы Opiliones, скорпионовые мухи Mecoptera, щитовки Ortheziidae, цикадки Cicadellidae, тли Aphididae, мягкотелки Cantharidae, кокциды Coccinilidae, долгоносики Curculionidae, пилильщики Pamphilidae, двукрылые Diptera и чешуекрылые Lepidoptera), из них 5 таксонов (дождевые черви Lumbricidae, цикадки Cicadellidae, тли Aphididae, мягкотелки Cantharidae, двукрылые Diptera) были наиболее многочисленны в нижнем поясе тундры ЮСТ₆₄₀. Показатели общей численности и плотности снижались в тундровом поясе по сравнению с поясом березовых криволесий (таблица 3.1).

На склоне юго-западной экспозиции горы Юмечорр, как и на южном склоне Юкспорр, во всех поясах в ловушках преобладали пауки Aranei (42–62%), еще более многочисленные, чем на Юкспорре: 54–108 экз./100 лов-сут. Наряду с пауками высокой динамической плотности (33–66 экз./100 лов-сут) и доли в уловах (26–40%) достигали муравьи Formicidae. Среди прочих групп беспозвоночных в ловушках лесных поясов (ЮМСWС₃₁₅ и ЮМСWБК₃₈₀) превалировали жужелицы Carabidae, в тундровом поясе (ЮМСWТ₅₀₅) – шелкоуны Elateridae (таблица 3.1, рисунок 3.8).

В пробах подстилки по профилю Юмечорр отсутствовали насекомые–фитофаги (тли Aphididae, щитовки Ortheziidae, кокциды Coccidae, гусеницы чешуекрылых Lepidoptera), а в тундровом поясе ЮМСWТ₅₀₅ еще и клопы Hemiptera, разнообразные и многочисленные в почвах южного склона Юкспорр, при сопоставимой для склонов численности долгоносиков Curculionidae (таблица 3.1).

Хищные членистоногие (пауки Aranei, многоножки Lithobiidae, мягкотелки Cantharidae, стафилины Staphylinidae) исчислялись десятками экз./м² в подстилке всех поясов обоих склонов.

Среди почвенных сапрофагов численность дождевых червей Lumbricidae была невысокой и сопоставимой во всех поясах обеих гор (2–7 экз./м²). Нематоды Nematoda, многочисленные в почве березовых криволесий Юкспорра ЮМСWБК₃₈₀ (25 экз./м²), в почвах Юмечорра отсутствовали, тогда как сапротрофные черви–энхитреиды

Enchytraeidae в наиболее прогретых почвах березовых криволесий и горных тундр юго-западного склона Юмечорр ($Ю_{MSWБК380}$ и $Ю_{MSWT505}$) были обильнее, чем в почвах Юкспорра, на один–два порядка, а личинки двукрылых Diptera – примерно в два раза, что свидетельствовало о более высокой биологической активности почв этих поясов.

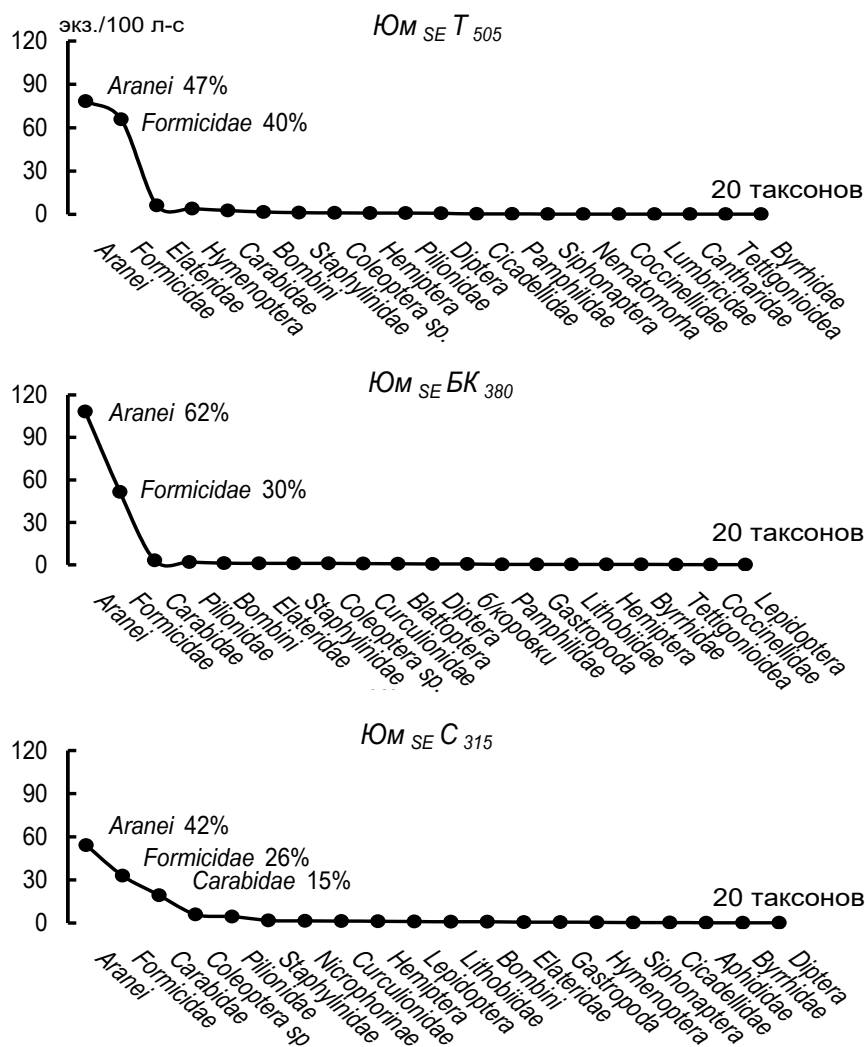


Рисунок 3.8 – Распределение беспозвоночных животных в высотном профиле склона юго-западной экспозиции горы Юмечорр (метод почвенных ловушек)

В целом, представители 5 групп (энхитрииды Enchytraeidae, дождевые черви Lumbricidae, жуки Carabidae, муравьи Formicidae и двукрылые Diptera) были наиболее многочисленны по результатам учета почвенных проб в поясе березовых криволесий $Ю_{MSWБК380}$ и только 1 группа почвенными ловушками (пауки Aranei). В поясе горных тундр $Ю_{MSWT505}$ только 4 таксона были наиболее обильны в почвенных ловушках (щелкуны Elateridae, муравьи Formicidae, шмели Bombus и перепончатокрылые Hymenoptera). Таким образом, высотные тренды лучшего прогрева

подстилки березового криволеся лучше отражал метод почвенных проб, позволивший учесть многочисленных в этом поясе почвенных сапрофагов; обильные в горных тундрах герпето- и аэробиионтные беспозвоночные лучше учитывались почвенными ловушками.

Доминирование муравьев Formicidae (34–50%) и пауков Aranei (17–28%) на западном склоне Суолайв отмечалось только в прогреваемых поясах березового криволеся и горной тундры. В ельнике C_{WE270} в нижней части склона преобладали жуки Carabidae (53%) и стафилиниды Staphylinidae (31%) (таблица 3.1, рисунок 3.9).

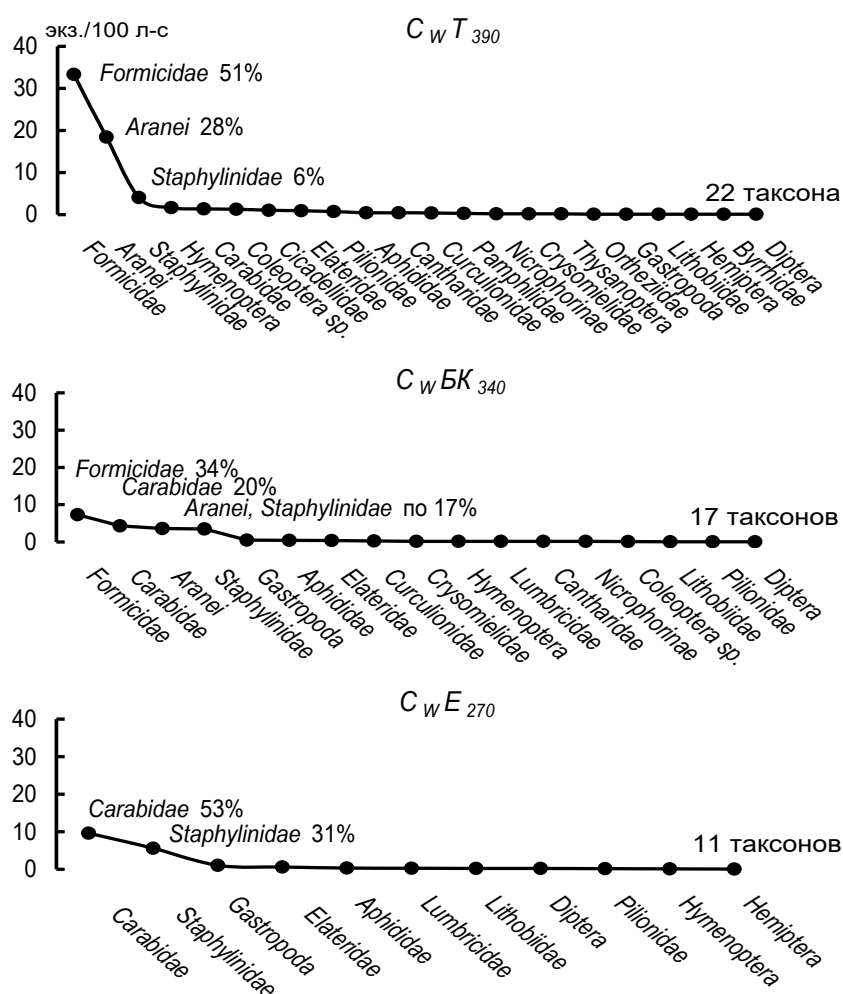


Рисунок 3.9 – Распределение беспозвоночных животных в высотном профиле склона западной экспозиции горы Суолайв (метод почвенных ловушек)

Таким образом, в большинстве биогеоценозов, исследованных в разных горно-растительных поясах на склонах разной экспозиции трех гор, расположенных в разных частях Хибинского массива, в структуре населения беспозвоночных преобладали пауки

Агапеі, а на склонах западной экспозиции гор Юмечорр и Суолайв на противоположных окраинах Хибин конкуренцию этим хищникам составляли муравьи Formicidae.

Фауна пауков в Хибинских горах изучена довольно хорошо, разнообразна и по последним оценкам насчитывает 169 видов из 41 рода и 12 семейств (Камаев, 2010; Танасевич, Камаев, 2011; Нехаева, 2015; Rybalov, Kamayev, 2012; Zenkova et al., 2024). Сведения по муравьям Хибин прежде ограничивались перечнем 11-ти видов, найденных в разных частях массива за время работы Горной научной базы АН СССР в 30-х годах 20 века (Фридолин, 1936 а), а в конце 1990-х годов были дополнены двумя видами в ходе недельного энтомологического обследования массива при подготовке эколого-экономического обоснования проектируемого нацпарка «Хибины» (Зрянин, 1999).

Наши исследования склонов разной экспозиции 4-х гор (Юмечорр, Юкспорр, Суолайв и Куэльпорр), а также вырубков и гарей в межгорной долине Кунийок на севере Хибин (Глава 4) в вегетационные сезоны 2014–2018 гг. выявили 18 видов муравьёв из 4 родов и 2 подсемейств при доминирующем разнообразии подсемейства Formicinae (13 видов), но более широком распространении в Хибинах холодоустойчивых видов подсемейства Myrmicinae (Зенкова, Юсупов, 2016; Зенкова и др., 2021; Zenkova et al., 2021, Зенкова и др., 2021). Семь видов рода *Formica* были указаны для Хибин впервые: *F. aquilonia*, *F. forsslundi*, *F. polychaeta*, *F. rufibarbis*, *F. sanguinea*, *F. suecica*, *F. truncorum*. Среди них 4 вида имеют охранный статус: *F. aquilonia*, *F. lugubris* и *F. polychaeta* включены в Красный список МСОП (1996) как «находящиеся под угрозой исчезновения» (near threatened, NT) и в Европейский Красный список (1992) как «уязвимые» (vulnerable, VU). Вид *F. suecica* в Красной книге Финляндии (2010) имеет статус «под угрозой исчезновения, NT». В Мурманской области известен лишь по находкам вековой давности на южном, беломорском побережье (Frey, 1915). Обнаружение *F. suecica* в Хибинах – в березовых криволесьях Юм_{SW}БК₃₈₀ и кустарничково-лишайниковой тундре Юм_{SW}Т₅₀₅ на юго-западном склоне г. Юмечорр, 440–505 м над ур. м. (Zenkova et al., 2021, Зенкова и др., 2021) – совпадают с выявлением новых местообитаний этого вида в Финской Лапландии (Sorvari, 2021). На основании наших находок в Хибинах муравей *F. suecica* впервые включен в новое издание Красной книги Мурманской области (2024) в категории «уязвимый» (vulnerable, VU). Находки трех видов формицин (*Formica picea*, *F. pratensis* и *F. rufa*), известных из работ В.Ю. Фридолина (1936 а) в определении К.В. Арнольди, пока не подтверждены в Хибинах.

Карто-схема распространения выявленных видов муравьев свидетельствует об их низком видовом разнообразии в естественных биогеоценозах внутренних районов Хибин (1–3 вида в одном местообитании) и его увеличении до 9–11 видов на внешних склонах окраин массива, в особенности – на склонах западной экспозиции, подверженных отепляющему воздействию атлантических воздушных масс (рисунок 3.10). Это соответствует представлениям о миграционном пути формирования локальной мирмекофауны Хибин в послеледниковый период и подтверждает вывод о продолжающейся экспансии фауны в условиях сложно пересеченного горного рельефа (Фридолин, 1936 а).

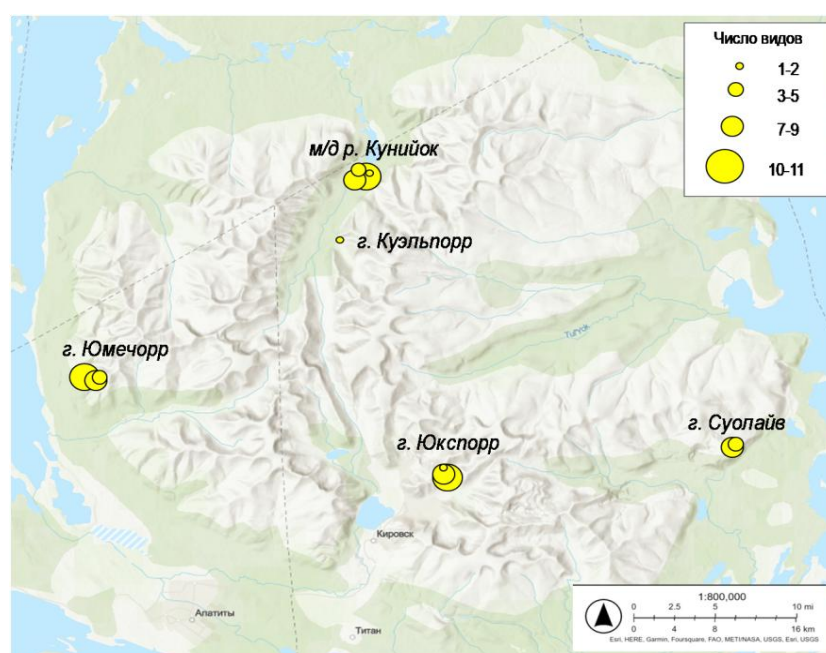


Рисунок 3.10 – Карто-схема распределения числа видов муравьев
в высотных профилях исследованных Хибинских гор

Обобщенная схема высотно-поясного распространения муравьев в Хибинах отражает обитание во всех горно-растительных поясах только семи из 18-ти видов (в порядке убывания встречаемости в биогеоценозах): *Leptothorax acervorum*, *Myrmica lobicornis*, *M. ruginodis*, *M. sulcinodis*, *Formica lemani*, *F. gagatoides* и самого крупного представителя – *Camponotus herculeanus* (рисунок 3.11). Три вида, *L. acervorum*, *M. lobicornis* и *F. gagatoides*, обитают по всему высотному градиенту, а четыре вида, *M. ruginodis*, *M. sulcinodis*, *F. lemani* и *C. herculeanus*, населяют все горно-растительные пояса, за исключением высокогорных плато. Наибольшее число видов (14) суммарно по

разным горам выявлено в поясе березовых криволесий как экотонном между таежным и тундровым горными поясами (по 12 видов в каждом).

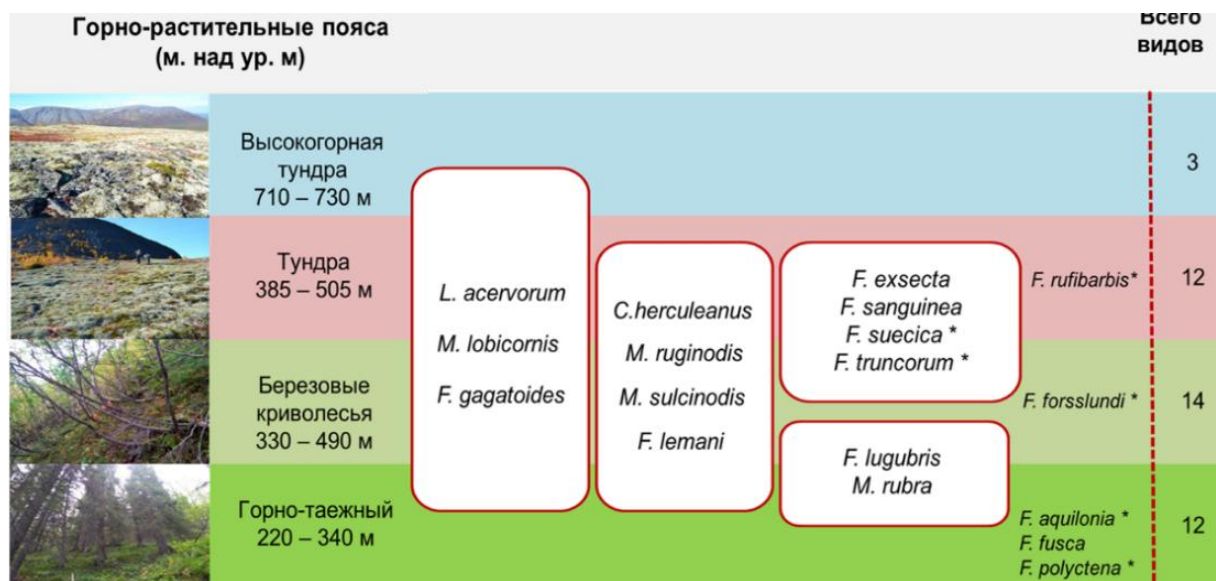


Рисунок 3.11 – Высотно-поясное распределение 18-ти видов муравьев, выявленных в Хибинских горах в 2014–2018 гг.

Регрессионный анализ зависимости числа видов муравьев в горных биогеоценозах от факторов «экспозиция горных склонов», «высота над уровнем моря», «горно-растительный пояс», «открытый (тундровый или нарушенный) – лесной биогеоценоз» (рисунок 3.12 а) показал сосредоточение наибольшего числа видов (от 9 до 11) на лучше прогреваемых склонах западной экспозиции гор Юмечорр и Суолайв (рисунок 3.12 б, синий контур) в биогеоценозах березовых криволесий (*YmB* и *SuB*) и горных тундр (*YmT* и *SuT*) на высотах 340–505 м. над ур. м. Меньшим разнообразием муравьев отличался склон южной экспозиции г. Юкспорр: по 7 видов в березовом криволесье (*YkB*) и горной тундре (*YkT*) на высотах 490–640 м над ур.м. и всего 3 вида в верхнем поясе тундры на плато (*YkHT*), что соответствовало аналогичному изменению фактора «высота над уровнем моря» (рисунок 3.12 б, зеленый контур). Превалирующее влияние фактора экспозиции на число видов муравьев с силой влияния этого фактора $\geq 95\%$ подтверждено результатами многофакторного дисперсионного анализа (MANOVA).

На меньших высотах (220–235 м над ур. м.) значительное число видов муравьев было обнаружено только на открытых, медленно зарастающих и хорошо прогреваемых нарушенных горных территориях – вырубках и гарях (5–8 видов) в долине Кунийок на севере Хибин (рисунок 3.12 б, красный контур).

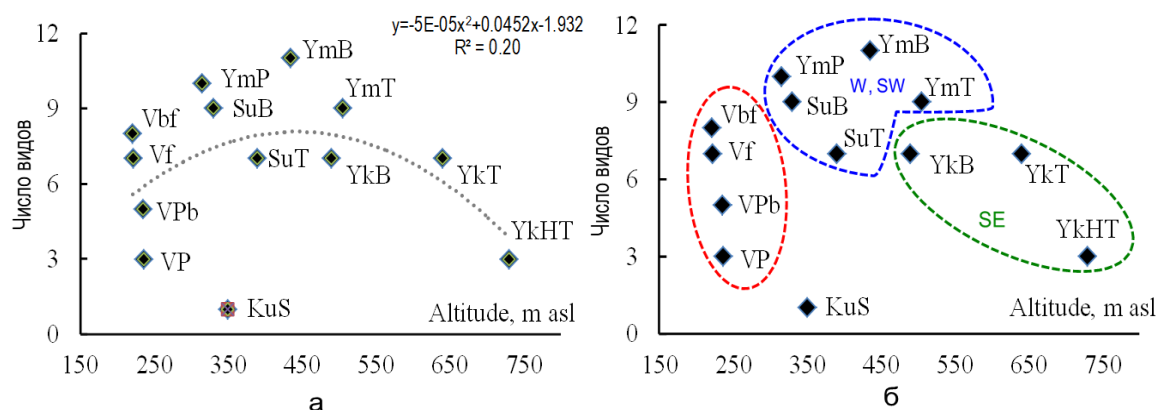


Рисунок 3.12 – Тренды распространения муравьев в Хибинах в зависимости от факторов «экспозиция горных склонов, «высота над уровнем моря», «горно-растительный пояс» и «открытый (тундровый или нарушенный) – лесной биогеоценоз»: а – общий тренд для исследованных горных биогеоценозов, б – с контурами, объединяющими биогеоценозы на склонах западной экспозиции (синий контур), на склоне южной экспозиции (зеленый) и в долине Кунийок (красный). Участки: VP – контрольный сосняк в долине Кунийок; VPb – горелый сосняк; Vf – вырубка; Vbf – горелая вырубка; YmP, YmB, YmT – сосновое редколесье, березовое криволесье и горная тундра (ЮЗ экспозиция г. Юмечорр); SuB и SuT – березовое криволесье и горная тундра (З экспозиция г. Суолайв); KuS – еловое редколесье (З экспозиция г. Куэльпорр); YkB, YkT, YkHT – березовое криволесье, горная тундра на склоне и высокогорная тундра на плато (Ю экспозиция г. Юкспорр)

Высотные тренды показателей общей численности, динамической плотности и числа таксонов беспозвоночных разнились на разных горах (рисунок 3.13).

На склоне западной экспозиции горы Суолайв, в соответствии с лучшим прогревом каждого вышележащего пояса по сравнению с нижележащим и увеличением *числа дней* и *суммы активных $T^{\circ}C$, T_{min} , T_{max} и среднелетней $T^{\circ}C$* (рисунок 3.4, 3.5, 3.13), возрастало и число таксонов беспозвоночных ($C_{WE270} - 11 \rightarrow C_{WBK340} - 17 \rightarrow C_{WT390} - 22$ таксона), и их динамическая плотность ($18 \rightarrow 21 \rightarrow 66$ экз./100 лов-сут на этих участках).

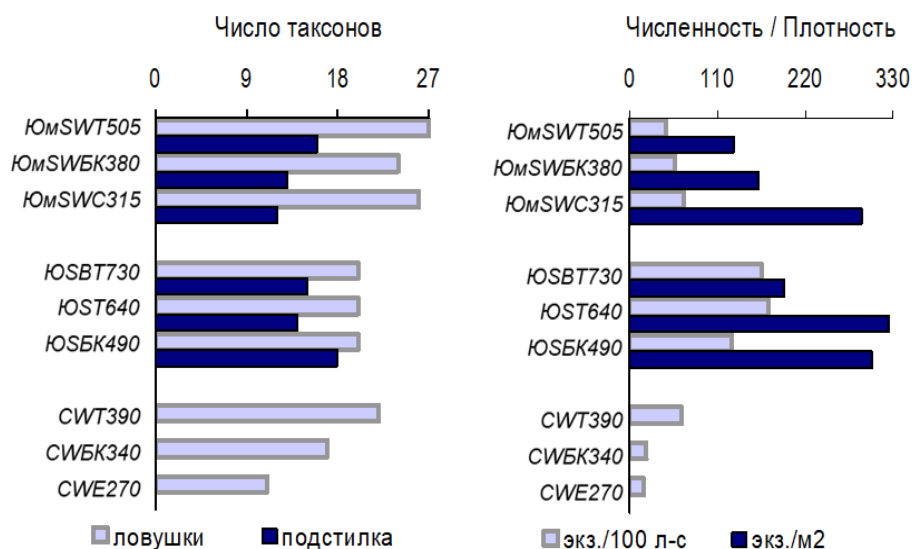


Рисунок 3.13 – Высотные тренды изменения числа таксонов беспозвоночных и их количественных показателей на склонах гор Юмечорр ($Ю_{мSW}C_{315}$ – $Ю_{мSW}T_{505}$), Юкспорр ($Ю_{SBK}490$ – $Ю_{SBT}730$) и Суолайв ($C_{WE}270$ – $C_{WT}390$)

При анализе распределения плотности основных доминирующих в ловушках групп (муравьев, пауков, жуужелиц и стафилинид) установлены два разнонаправленных тренда:

– увеличение вверх по склону динамической плотности пауков и муравьев, положительно скоррелированное с увеличением числа дней и суммы активных $T^{\circ}C$, T_{min} , T_{max} и среднелетних $T^{\circ}C$ (r от 0,50 до 1,0), что отражало лучший прогрев березового криволесья $C_{WBK}340$ и горной тундры $C_{WT}390$ по сравнению с еловым редколесьем $C_{WE}270$ (рисунок 3.14);

– снижение динамической плотности жуужелиц и стафилинид, отрицательно скоррелированное со снижением числа дней и суммы эффективных $T^{\circ}C$, отражающим меньший прогрев елового редколесья в нижней части склона (r от – 0,46 до –1,00) (рисунок 3.14).

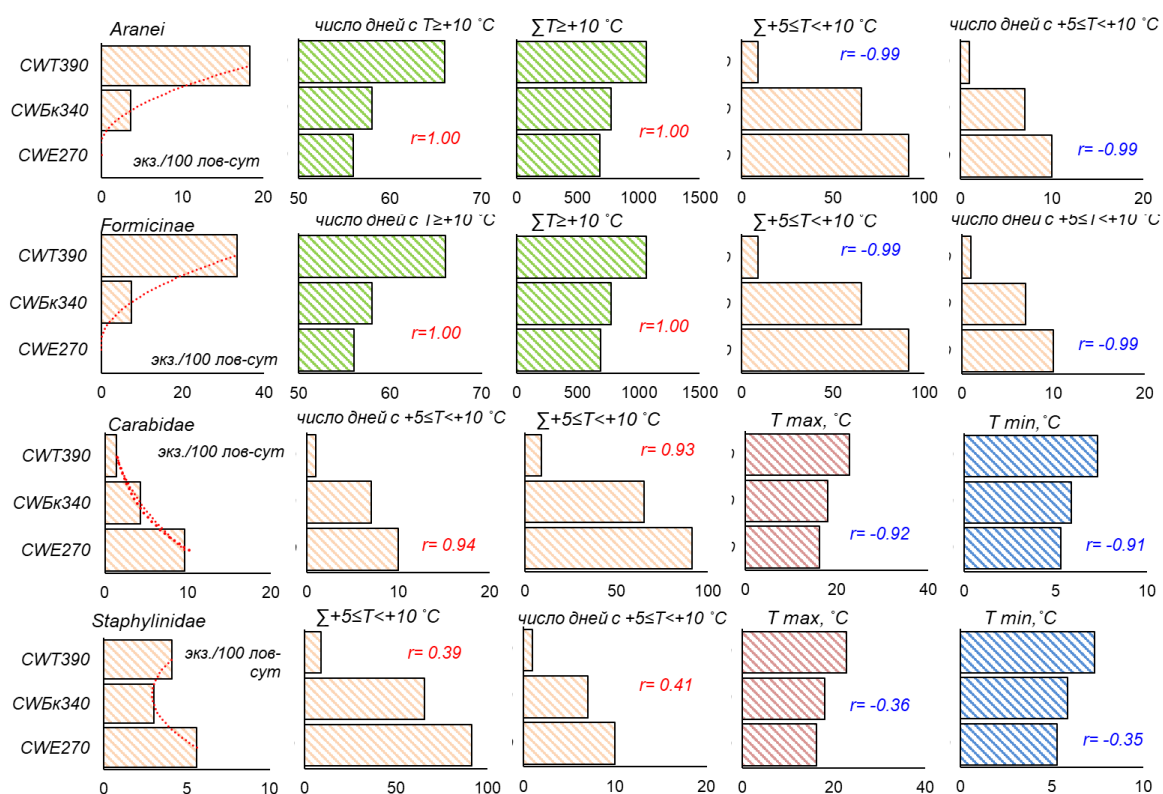


Рисунок 3.14 – Достоверно скоррелированные положительные и отрицательные тренды изменения динамической плотности беспозвоночных–доминантов и температурных показателей подстилки вдоль склона западной экспозиции горы Суолайв. Участки: C_{WE270} , C_{WBK340} , C_{WT390} – еловое редколесье, березовое криволесье и горная тундра

На высокой горе Юкспорр вверх по скону южной экспозиции число таксонов увеличивалось только в образцах подстилки ($Ю_{SBK490} - 13 \rightarrow Ю_{ST640} - 15 \rightarrow Ю_{SBT730} - 19$ таксона) при незначительном высотном изменении более разнообразного таксономического состава беспозвоночных в почвенных ловушках ($26 \rightarrow 24 \rightarrow 27$ таксонов). Количественные показатели – динамическая плотность беспозвоночных в ловушках и их численность в образцах подстилки, напротив, снижались с высотой ($70 \leftarrow 58 \leftarrow 48$ экз./100 лов-сут и $384 \leftarrow 160 \leftarrow 128$ экз./м²) в соответствии со снижением числа суток и суммы активных $T^\circ\text{C}$, $T_{\max}$ и амплитуды $T^\circ\text{C}$ (рисунок 3.4, 3.5, 3.13). Бóльшее число положительных корреляций температурных параметров подстилки ожидаемо было получено с численностью беспозвоночных в ее образцах по сравнению с динамической плотностью в почвенных ловушках (19 против 15).

На склоне южной экспозиции горы Юкспорр снижение с высотой динамической плотности доминирующих групп – муравьев, пауков, жуужелиц и стафилинид –

положительно коррелировало с таковым для температурных параметров, отражающих меньший прогрев горной тундры $Ю_{SBT730}$ на плато (r от 0,50 до 1,0): числом дней и суммой активных $T^{\circ}C$, T_{min} , T_{max} и среднелетней $T^{\circ}C$ (рисунок 3.15).

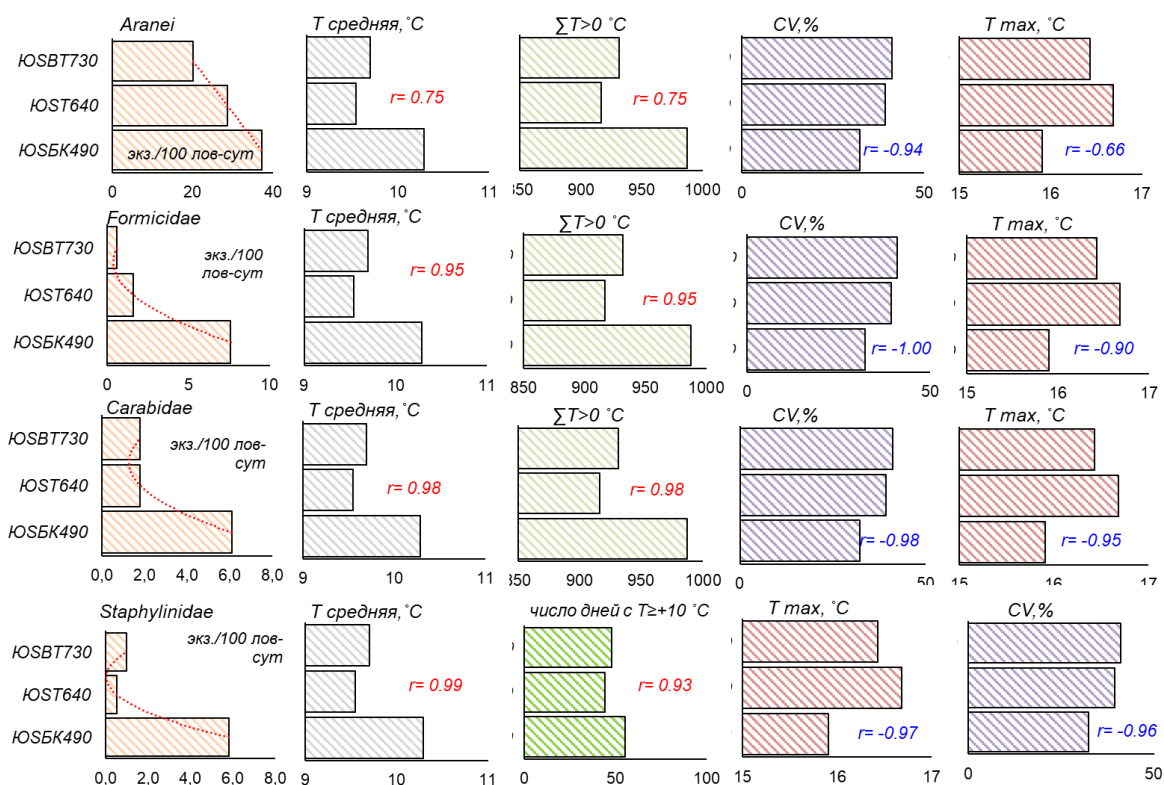


Рисунок 3.15 – Достоверно скоррелированные положительные и отрицательные тренды изменения динамической плотности беспозвоночных–доминантов и температуры подстилки вдоль склона южной экспозиции горы Юкспорр. Участки: $Ю_{SBK490}$, $Ю_{ST640}$, $Ю_{SBT730}$ – березовое криволесье, горная тундра на склоне и тундра на плато

При анализе распределения вдоль склона южной экспозиции горы Юкспорр численности беспозвоночных, доминирующих в почвенных пробах (муравьев, пауков, жуужелиц и стафилинид), выявлено три тренда (рисунок 3.16):

- высотное снижение численности жуужелиц и щелкунов, соответствующее снижению температурных параметров (суммы положительных $T^{\circ}C$, числа дней и суммы активных $T^{\circ}C$, T_{min} и среднелетней $T^{\circ}C$); отражающих больший прогрев подстилки березового криволесья $Ю_{SBK490}$ и меньший – тундры на плато $Ю_{SBT730}$ (r от 0,50 до 1,0);
- высотное увеличение численности пауков, совпадающее с таковым для их динамической плотности в ловушках и положительно скоррелированное с увеличением *вариабельности* и T_{max} (r от 0,63 до 0,93), отражающим меньший прогрев горной тундры $Ю_{SBT730}$ на плато;

– скопление муравьев в средней части склона, положительно скоррелированное по показателям суммы и числа дней с эффективными $T^{\circ}\text{C}$, отражающих бóльший прогрев горной тундры на склоне.

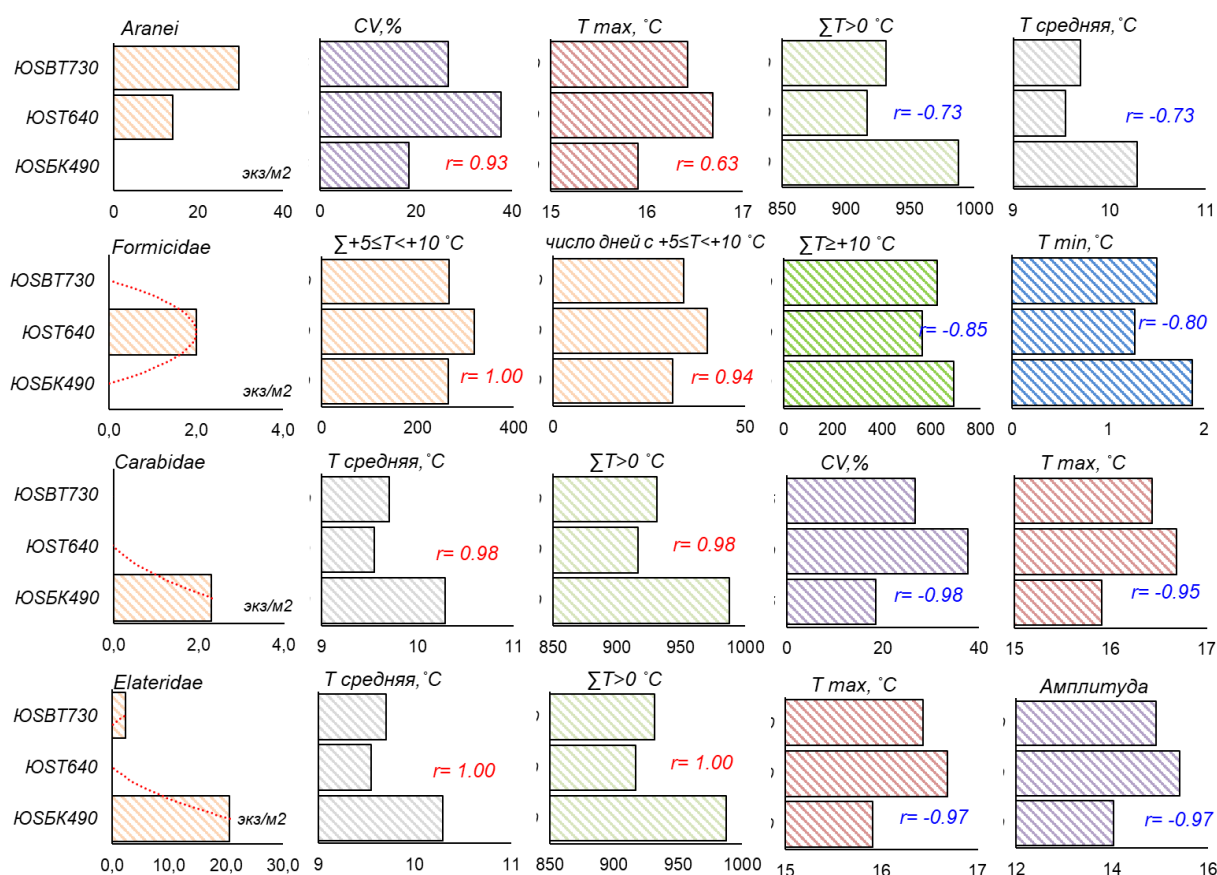


Рисунок 3.16 – Достоверно скоррелированные положительные и отрицательные тренды изменения численности беспозвоночных–доминантов и температурных показателей подстилки вдоль склона южной экспозиции горы Юкспорр

Вдоль склона юго-западной экспозиции горы Юмечорр число таксонов в ловушках не изменялось (по 20 на всех высотах), а увеличение их динамической плотности в верхних поясах с максимумом в березовых криволесьях ($Ю_{MSW}C_{315} - 122 \rightarrow Ю_{MSW}BK_{380} - 177 \leftarrow Ю_{MSW}T_{505} - 165$ экз./100 лов-сут) коррелировало с температурными параметрами отражающими наибольший прогрев вдоль склона пояса березовых криволесий: числом дней и суммой активных $T^{\circ}\text{C}$ и T_{max}). В образцах подстилки число таксонов было наибольшим в горно-таежном поясе $Ю_{MSW}C_{315}$, а численность беспозвоночных – в обоих лесных поясах – сосновом редколесье $Ю_{MSW}C_{315}$ и березовом криволесье $Ю_{MSW}BK_{380}$ (177–316 экз./м²), с максимумом во втором, как и для их динамической плотности (рисунок 3.17).

При анализе распределения динамической плотности основных доминирующих групп на склоне юго-западной экспозиции горы Юмечорр (пауков, муравьев, жуужелиц и стафилинид в ловушках) установлено три тренда (рисунке 3.17):

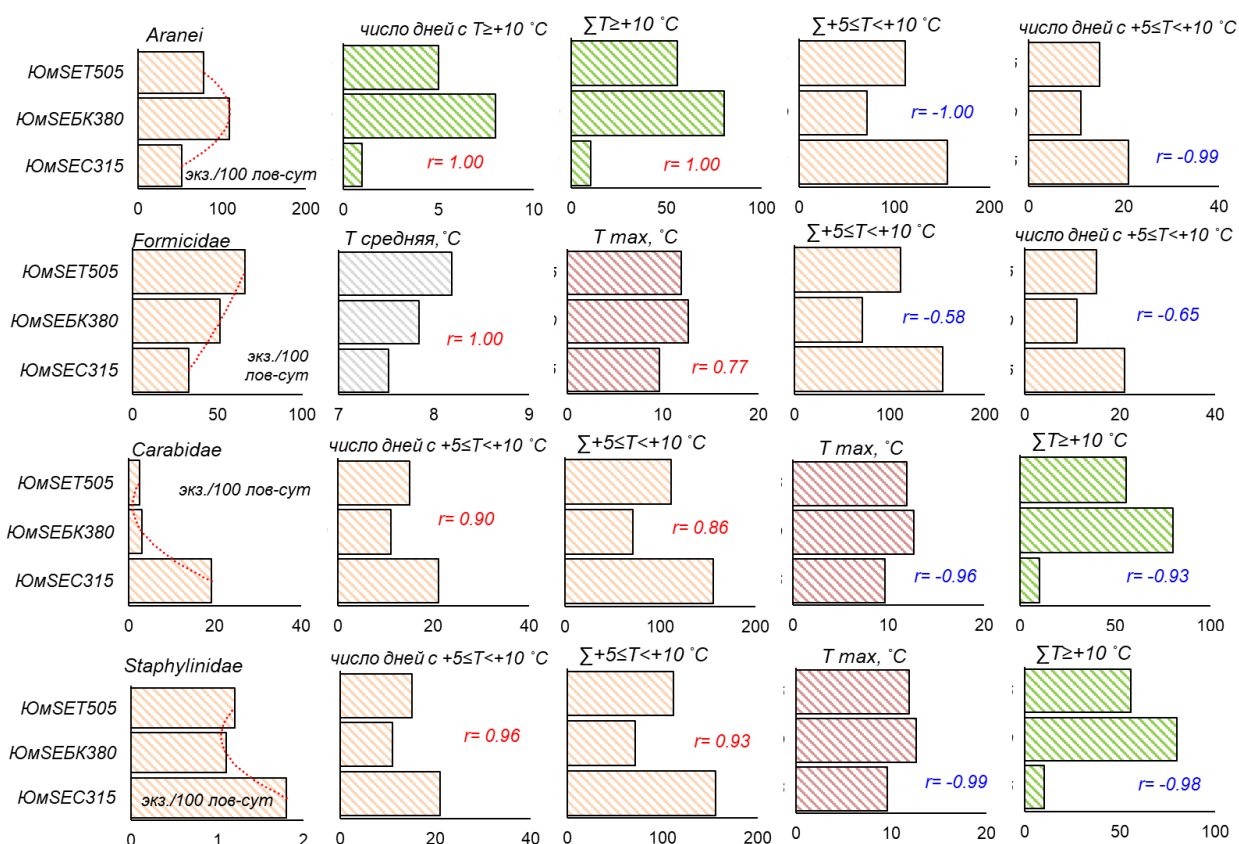


Рисунок 3.17 – Достоверно скоррелированные положительные и отрицательные тренды изменения динамической плотности беспозвоночных–доминантов и температурных показателей подстилки вдоль склона юго-западной экспозиции горы Юмечорр. Участки: $Ю_{МСW}C_{315}$, $Ю_{МСW}BK_{380}$, $Ю_{МСW}T_{505}$ – сосновое редколесье, березовое криволесье и горная тундра

- снижение вверх по склону жуужелиц и стафилинид, положительно коррелирующее со снижением температурных параметров, отражающих меньший прогрев соснового редколесья $Ю_{МСW}C_{315}$ по сравнению с березовым криволесьем $Ю_{МСW}BK_{380}$ и горной тундрой $Ю_{МСW}T_{505}$ (r от 0,50 до 1,00);
- высотное увеличение плотности муравьев, отражающее лучший прогрев горной тундры;
- максимальная динамическая плотность пауков в березовых криволесьях.

Распределение численности основных доминирующих групп в подстилке склона южной экспозиции горы Юмечорр (муравьев, пауков, жужелиц и стафилинид) изменялось в двух направлениях (рисунок 3.18):

- высотное снижение численности пауков и щелкунов в соответствии со снижением числа суток и суммы эффективных $T^{\circ}\text{C}$, отражающим меньший прогрев сосновых редколесий ЮМСВС₃₁₅ (r от 0,70 до 1,00);
- максимум численности муравьев и жужелиц в лучше прогреваемых березовых криволесьях в средней части склона (сумма и число суток с активными $T^{\circ}\text{C}$, амплитуда и вариабельность $T^{\circ}\text{C}$).

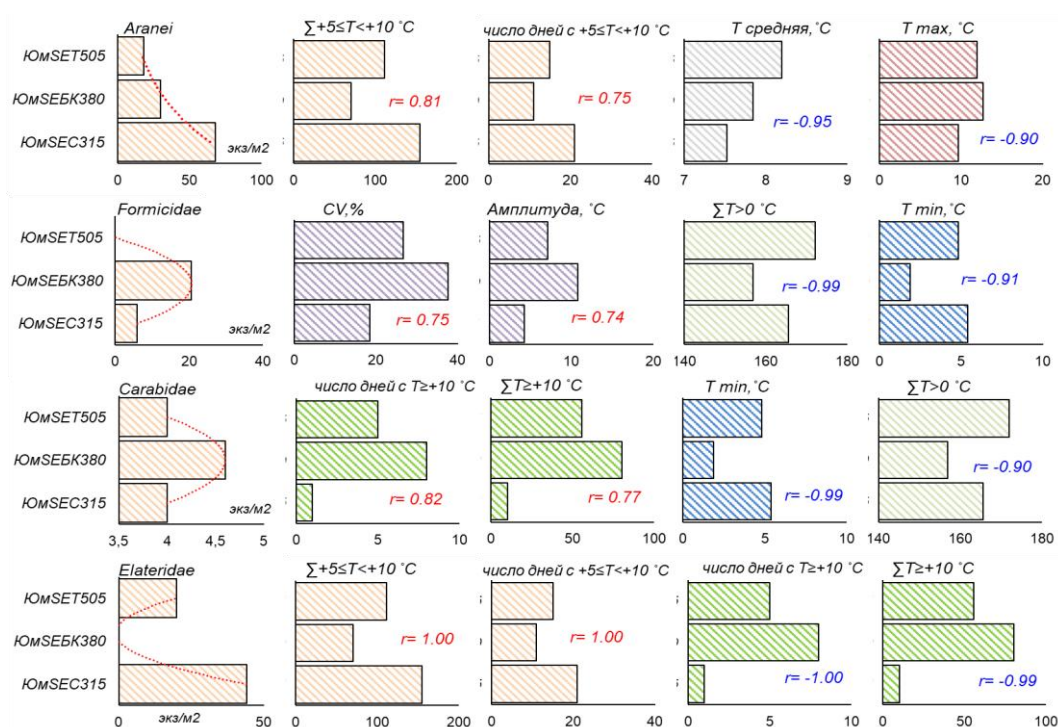


Рисунок 3.18 – Достоверно скоррелированные положительные и отрицательные тренды изменения численности беспозвоночных–доминантов и температурных показателей подстилки вдоль склона юго-западной экспозиции горы Юмечорр

Таким образом, на фоне несовпадающих высотных трендов прогрева почв на склонах разной экспозиции трех гор, расположенных на одной широте ($67^{\circ}39'$), но в разных частях Хибин (центральная часть, западная и восточная окраины), численность и динамическая плотность основных доминантов почвенного населения – пауков и муравьев, как и численность муравьев, щелкунов и жужелиц в образцах подстилки, повсеместно положительно коррелировала с лучшим прогревом почв в поясах березовых криволесий и горных тундр разных гор: до абсолютных максимумов

15,9...18,0 °C и 16,7...22,7 °C и *средних температур* июля и августа 12,1...13,5 °C и 11,2...18,8 °C в подстилке этих поясов соответственно. Изменение динамической плотности жужелиц и стафилинид (снижение с высотой) на склонах западной экспозиции гор Юмечорр и Суолайв, расположенных на западной и восточной окраинах Хибин на расстоянии 37 км друг от друга, совпадало с меньшим прогревом почв сосновых и еловых редколесий в основании склонов этих гор даже в самые теплые месяцы: до *абсолютных максимумов* 9,6...10,9 °C и *средних температур* 8,2...8,3 °C.

3.2 Тренды температуры и населения беспозвоночных в высотном градиенте горы Куэльпорр

3.2.1 Годовая динамика температуры в системе атмосферный воздух – поверхность почвы – толща подстилки

В высотном градиенте горы Куэльпорр от 300 до 500 м над ур. м. с шагом 50 м установлена сходная годовая динамика $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки при закономерном сглаживании амплитуды в направлении: воздух ($Lim = T_{max} - T_{min}$ 34–42 °C) → поверхность (27–35 °C) → подстилка (17–25 °C) (рисунок 3.18) (Штабровская, Зенкова, 2019 б).

В годовом цикле $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки выделены четыре общих периода:

- 1 – осеннее снижение *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C} < 5^{\circ}\text{C}$ с конца сентября (24–25.IX);
- 2 – зимний переход на устойчивые низкие (*отрицательные*) $T^{\circ}\text{C}$ воздуха и поверхности почвы с третьей декады октября (с 23.X), а в толще подстилки – с запаздыванием на месяц (18–24.IX); сохранение *отрицательных* $T^{\circ}\text{C}$ для поверхности не менее 6 мес (или 170 дней в году) и толщи подстилки не менее 5-ти месяцев (или 150 дней) (с октября-ноября до второй декады апреля);

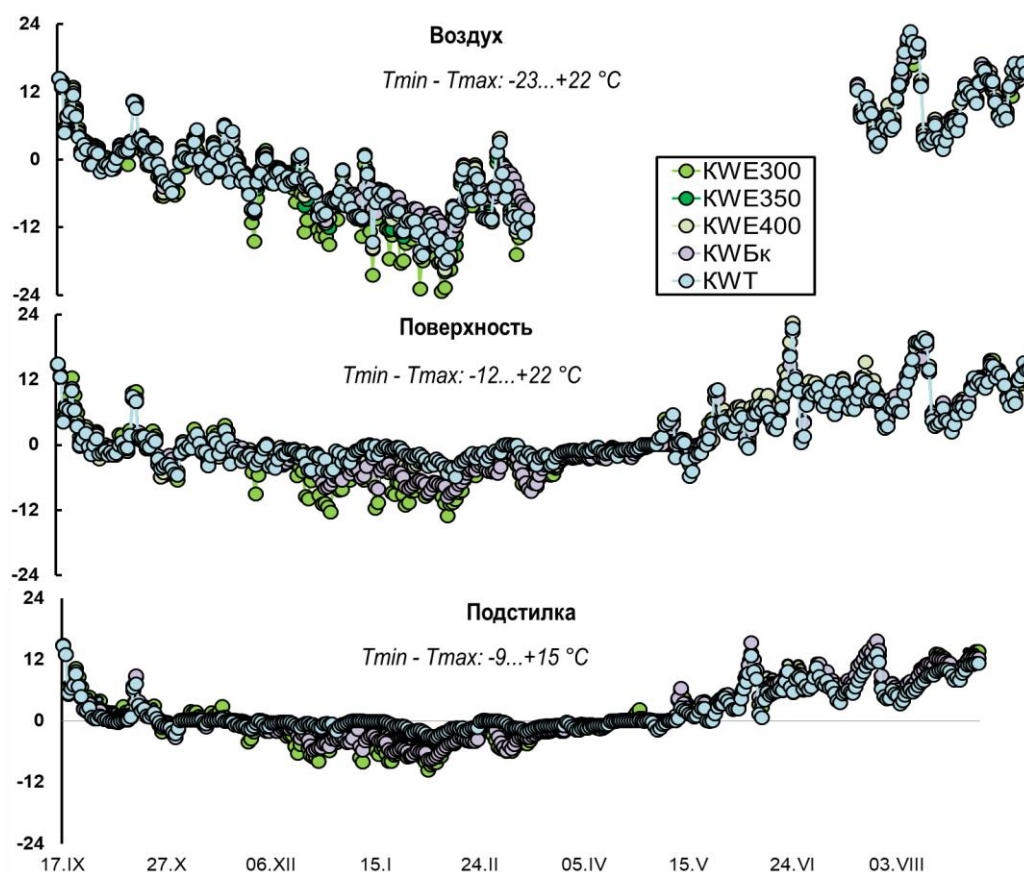


Рисунок 3.19 – Годовая динамика среднесуточной температуры воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки (на глубине 5 см) в высотном градиенте горы Куэльпорр с шагом 50 м. Участки: K_{WE300} ; K_{WE350} , K_{WE400} – еловые редколесья на высотах 300, 350 и 400 м над ур. м. соответственно; $K_{WBк}$ – березовое криволесье, 450 м; K_{WT} – горная тундра, 500 м

3 – весеннее повышение $T^{\circ}\text{C}$ на поверхности почвы и в толще подстилки до слабоположительных значений ($0,17...0,26^{\circ}\text{C}$) со второй декады апреля;

4 – наибольший прогрев (до $19,2...22,8^{\circ}\text{C}$ воздух, $21,0...22,6^{\circ}\text{C}$ поверхность почвы и $14,8...15,8^{\circ}\text{C}$ подстилка) во второй половине июля (10 суток с 18–19 по 27.VII).

Атмосферный воздух. На протяжении годовых измерений с сентября 2018 г. по сентябрь 2019 г. среднесуточная $T^{\circ}\text{C}$ воздуха варьировала в высотном градиенте в диапазоне $-23,3...22,7^{\circ}\text{C}$ при наибольшей годовой амплитуде и вариабельности в основании склона западной экспозиции горы Куэльпорр (ельник K_{WE300} на высоте 300 м) и наименьшей – в березовом криволесье $K_{WBк}$ на 450 м (Приложение Б.1). Различия в годовой динамике $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха в пределах рассмотренного градиента были недостоверны ($F < 0,16$, $p > 0,20$, Приложение Б.2).

Среднегодовая $T^{\circ}\text{C}$ воздуха варьировала от отрицательной ($-0,8^{\circ}\text{C}$) в ельнике KWE_{300} в основании склона до $0,3^{\circ}\text{C}$ в березовом криволесье $KWBк$ (Приложение Б.1). Различия среднегодовых значений между поясами были недостоверны (Приложение Б.3).

Поверхность почвы. Среднесуточная $T^{\circ}\text{C}$ поверхности почвы в высотном градиенте варьировала в меньшем диапазоне, чем $T^{\circ}\text{C}$ воздуха: $-12,9...22,5^{\circ}\text{C}$, годовая амплитуда $T^{\circ}\text{C}$ по сравнению с воздухом была ниже на 7°C (Приложение Б.1). Снижение колебаний на поверхности почвы по сравнению с воздухом было связано на всех высотах с менее низкими T_{min} при сопоставимых значениях T_{max} воздуха и поверхности (Приложение Б.1, рисунок 3.19). Этот факт, с одной стороны, отражает нагрев поверхности почвы от атмосферного воздуха, с другой, – подтверждает свойство теплоемкости подстилки, благодаря которому в ней сглаживаются температурные колебания по сравнению с поверхностью. Наибольшей годовой амплитудой и вариабельностью $T^{\circ}\text{C}$ поверхности почвы, как и воздуха, отличался ельник KWE_{300} в основании склона (Штабровская, Зенкова, 2019 б).

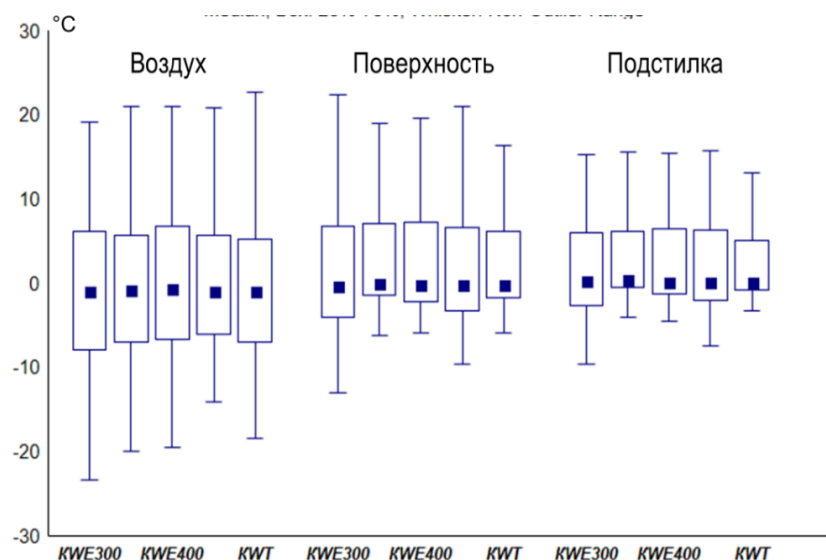


Рисунок 3.19 – Медианные значения и пределы варьирования температуры воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр

Различия в годовой динамике среднесуточной $T^{\circ}\text{C}$ поверхности почвы в высотном градиенте были достоверны в пользу более теплых еловых биогеоценозов на отметках 350 и 400 м и тундры на 500 м ($F > 3,57$, $p < 0,06$, Приложение Б.2). На достоверность высотных различий оказал влияние холодный период, когда $T^{\circ}\text{C}$ на поверхности почвы ельника KWE_{300} в основании склона и березового криволесья $KWBк$ на 450 м опускалась

до более низких значений, в результате чего оба участка отличались бóльшим *числом дней и суммой отрицательных $T^{\circ}\text{C}$* по сравнению с ельниками K_{WE350} , K_{WE400} в средней части склона и тундрой K_{WT} на 500 м (Приложение Б.1).

Среднегодовая $T^{\circ}\text{C}$ на поверхности почвы составила от 1,4 °C в ельнике K_{WE300} в основании склона до 2,6 °C в ельнике K_{WE350} в средней части (Приложение Б.1) и была достоверно более низкой на высотных отметках 300 м (ельник K_{WE300}) и 450 м (березовое криволесье $K_{WBк}$) (Приложение Б.3).

Толща подстилки. *Среднесуточная $T^{\circ}\text{C}$* на глубине подстилки 5 см варьировала в наиболее узком диапазоне по сравнению с воздухом и поверхностью: –9,6...15,6 °C. Это было связано как с менее низкими T_{min} (как и для поверхности почвы), так и с более низкими T_{max} в подстилке всех поясов (рисунок 3.19, Приложение Б.1) и соответствовало ее теплоизолирующей функции.

Различия в годовой динамике *среднесуточной $T^{\circ}\text{C}$* подстилки были достоверны для ельников K_{WE300} и K_{WE350} относительно остальных участков ($F > 2,01$, $p < 0,05$, Приложение Б.2). На достоверность различий повлиял холодный период года, когда подстилка ельника K_{WE300} в основании склона была наиболее холодной за счет большего *числа дней и суммы отрицательных $T^{\circ}\text{C}$* , а подстилка ельника K_{WE350} , расположенного на 50 м выше – достоверно самой теплой по склону, с меньшими значениями обоих показателей (Приложение Б.1). Наибольшее промерзание подстилки ельника K_{WE300} соответствовало наиболее низким $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха (*абсолютный годовой минимум* –23,3 °C), что соответствовало представлениям о сглаживании температурных колебаний в почвенной среде по сравнению с открытой атмосферой (Гиляров, 1949) и объясняется свойством теплоемкости почвы и теплоизолирующей функцией подстилки. На вышележающих участках склона Куэльпорр T_{min} атмосферного воздуха лежали в пределах –14,0...–19,9 °C (рисунок 3.20, Приложение Б.1). Для всех сред (атмосферного воздуха, поверхности и толщи подстилки) годовые T_{min} отмечались в первую неделю февраля (4–7.II).

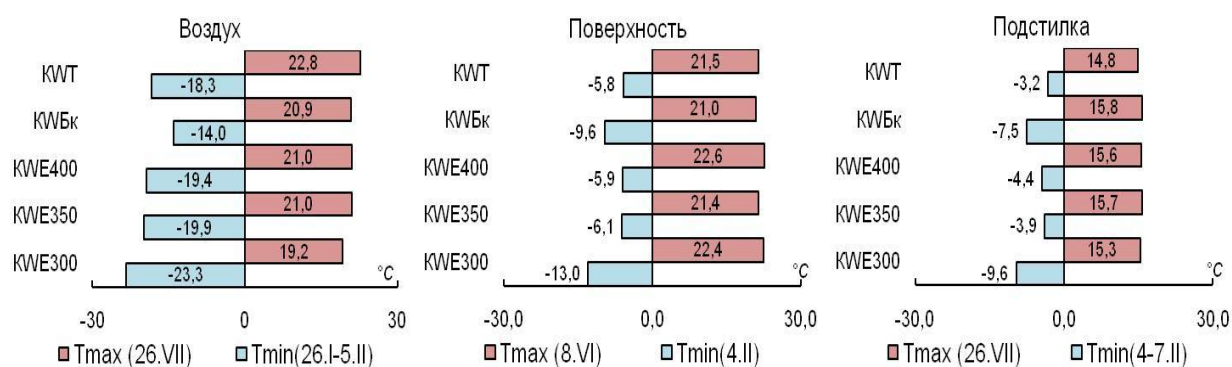


Рисунок 3.20 – Минимальные и максимальные годовые температуры атмосферного воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр.

Участки: KWE_{300} ; KWE_{350} , KWE_{400} – еловые редколесья на высотах 300, 350 и 400 м соответственно; $KWBk$ – березовое криволесье; KWT – горная тундра

Максимальные годовые $T^{\circ}C$ всех сред регистрировали в конце июля (26.VII). Лесная подстилка на всех высотах прогрелась до сходных T_{max} 15,3...15,8 $^{\circ}C$, а подстилка горной тундры – на 0,5–1,0 $^{\circ}C$ слабее (рисунок 3.20).

Среднегодовая $T^{\circ}C$ подстилки была положительной, как и на поверхности почвы, и сопоставимой с ней по величине, и составила в разных поясах 1,5...2,7 $^{\circ}C$ (Приложение Б.1). Достоверные различия *среднегодовой $T^{\circ}C$* подстилки, как и поверхности почвы, наблюдались между участками в зимний период (с декабря по март), когда подстилка ельника KWE_{300} в основании склона и в березовом криволесье $KWBk$ на 450 м была холоднее, чем на других высотных отметках (Приложение Б.4). Наиболее контрастно высотные различия в промерзании подстилки проявлялись в самый холодный месяц – февраль.

В годовом цикле доля дней с *отрицательными* и *положительными $T^{\circ}C$* на поверхности почвы была сопоставима на всех высотах: 49–52%. Бóльшим числом дней с *отрицательной $T^{\circ}C$* отличалась горная тундра KWT на 500 м, меньшим – ельник KWE_{350} , но *сумма отрицательных $T^{\circ}C$* в холодный период года (с 24.IX.18 по 15.IV.19) была на 400...500 $^{\circ}C$ ниже в еловом редколесье KWE_{300} в основании склона и в березовом криволесье $KWBk$ по сравнению с другими высотными отметками (Приложение Б.1). Бóльшую долю периода с *положительными $T^{\circ}C$* на всех высотах составляли дни со *слаболожительными околонулевыми $T^{\circ}C$* (33–42%), а доли дней с *эффективными и активными $T^{\circ}C$* были сходными: 27–29%. На поверхности тундровой почвы *сумма*

положительных $T^{\circ}\text{C}$ была на 112°C ниже самого холодного лесного участка – ельника $K_{\text{WE}300}$ в основании склона (Приложение Б.1).

В подстилке в годовом цикле преобладали *положительные $T^{\circ}\text{C}$* (57–66% от общего числа дней), их продолжительность была на 32–54 дня больше, чем на поверхности почвы (Приложение Б.1). Это объясняется теплоизолирующими свойствами подстилки – ее способностью аккумулировать и дольше сохранять тепло (Мелехов, 1980; Залесов, 2020). Среди дней с *положительными $T^{\circ}\text{C}$* (101–134 дней в подстилке на разных высотах или 50–58% периода против 57–73 сут с этими $T^{\circ}\text{C}$ на поверхности почвы) половину составляли дни со *слабоположительными $T^{\circ}\text{C}$* . Доля дней с *эффективными $T^{\circ}\text{C}$* $\geq 5^{\circ}\text{C}$ составила 28–34% (63–69 сут), с *активными $T^{\circ}\text{C}$* $\geq 10^{\circ}\text{C}$ не превысила 10–19% (20–38 сут).

Таким образом, в высотном профиле склона западной экспозиции г. Куэльпорр период с *положительными $T^{\circ}\text{C}$* подстилки составил около 7-ми месяцев в году: четыре месяца – со *слабоположительными околонулевыми $T^{\circ}\text{C}$* $0,01 \dots 4,44^{\circ}\text{C}$ (сентябрь–октябрь и апрель–май), два месяца – с *эффективными $T^{\circ}\text{C}$* (июнь и август) и месяц (июль) – с *активными $T^{\circ}\text{C}$* (до $14,8 \dots 15,8^{\circ}\text{C}$).

Сумма эффективных, т.е. невысоких положительных $T^{\circ}\text{C} \geq 5^{\circ}\text{C}$, была максимальной в подстилке горной тундры K_{WT} : 500°C против $470 \dots 480^{\circ}\text{C}$ в нижележащих лесных поясах, *сумма активных $T^{\circ}\text{C} \geq 10^{\circ}\text{C}$* , напротив, не превысила 230°C и была на $180 \dots 230^{\circ}\text{C}$ ниже по сравнению с лесными участками. В целом, в летний период подстилка всех лесных участков была прогрета лучше, чем в горной тундре, за счет большего числа дней и суммы активных $T^{\circ}\text{C}$.

Период с *отрицательными $T^{\circ}\text{C}$* подстилки составил 4,6–5 месяцев (140–150 сут или 34–43 % от общего числа дней). Число дней и суммы отрицательных $T^{\circ}\text{C}$ подстилки были меньшими в ельниках средней части склона $K_{\text{WE}350}$ и $K_{\text{WE}400}$ и наибольшими – в ельнике $K_{\text{WE}300}$ в основании склона и березовом криволесье $K_{\text{WBк}}$ (Приложение Б.1).

Годовая сумма $T^{\circ}\text{C}$ подстилки в горной тундре K_{WT} и ельниках $K_{\text{WE}350}$ и $K_{\text{WE}400}$ на средних высотах была наибольшей и превысила 700°C , а в ельнике $K_{\text{WE}300}$ в основании склона и березовом криволесье $K_{\text{WBк}}$ на 450 м оказалась на $175 \dots 230^{\circ}\text{C}$ меньше за счет большей суммы отрицательных $T^{\circ}\text{C}$ с октября по апрель (Приложение Б.1). Следовательно, классический отрицательный температурный градиент в виде снижения температурных показателей с высотой был выражен только на отметках 350–400–450 м

над ур. м. и лишь для трех показателей подстилки – *среднегодовой $T^{\circ}\text{C}$, числа суток с положительными и слабоположительными $T^{\circ}\text{C}$* (Приложение Б.1).

В целом в годовой динамике $T^{\circ}\text{C}$ трех сред отрицательный температурный градиент проявлялся в средней части склона на высотах 350–400–450 м над ур. м. в виде:

- увеличения *минимальной годовой $T^{\circ}\text{C}$ воздуха и отрицательных и слабоположительных $T^{\circ}\text{C}$ поверхности почвы* в направлении: 350→400→450 м;
- уменьшения *среднегодовой $T^{\circ}\text{C}$ воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки; числа суток с положительными и слабоположительными $T^{\circ}\text{C}$ поверхности почвы и толщи подстилки* в направлении: 350←400←450 м.

В основании этого градиента находился ельник $K_{WT}E_{350}$ на отметке 350 м, более теплый по большинству показателей. Градиенту не подчинялись основание (ельник $K_{WT}E_{300}$) и вершина западного склона Куэльпорр (тундра K_{WT} на высоте 500 м).

Таким образом, в зимний период в высотном градиенте склона западной экспозиции горы Куэльпорр достоверно холоднее были почвы ельника в основании склона (300 м) и березового криволеся (450 м) за счет большего *числа дней и суммы отрицательных $T^{\circ}\text{C}$* . В летний период почвы всех лесных участков – трех ельников и березового криволеся в диапазоне высот 300–450 м над ур. м – прогревались лучше, чем в горной тундре, за счет большего *числа дней с более высокими активными $T^{\circ}\text{C}$, общей суммы летних $T^{\circ}\text{C}$, меньших минимальных $T^{\circ}\text{C}$, больших максимальных и среднелетних $T^{\circ}\text{C}$* .

3.2.2 Летняя динамика температуры подстилки и высотное распространение беспозвоночных

В связи с тем, что отлов почвенных беспозвоночных на склоне горы Куэльпорр был ограничен летним периодом с 04.VII.19 по 03.IX.19, всего 62 сут, имело смысл провести высотное сравнение температурных показателей подстилки с июня по сентябрь. В указанные даты, включающие самые тёплые летние месяцы – июль и август, в подстилке по склону горы Куэльпорр преобладали *эффективные $T^{\circ}\text{C}$* (59–67% от 92 сут), сумма которых составила 409–452 °C при последовательном снижении обоих показателей в подстилке лесных биогеоценозов ($K_{WT}E_{300} = K_{WT}E_{350} > K_{WT}E_{400} > K_{WT}E_{450}$), но их наибольших значениях в горной тундре K_{WT} в верхней части склона (рисунок 3.21).

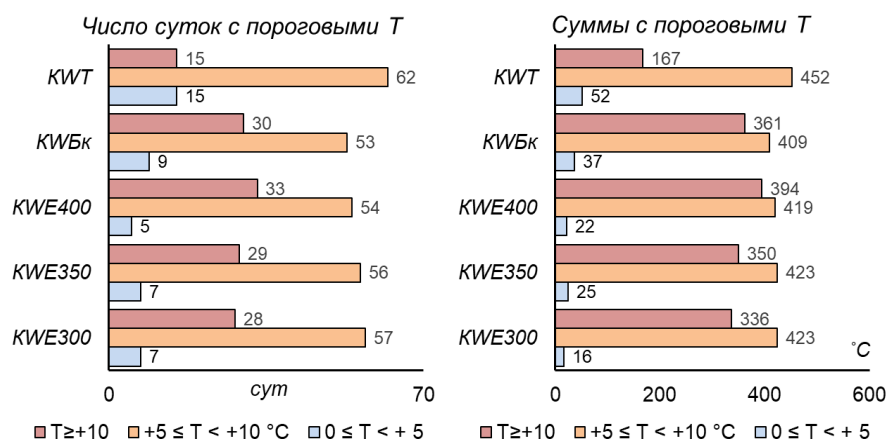


Рисунок 3.21 – Число суток (слева) и суммы температур (справа) подстилки, включая слабopоложительные ($0 \leq T < 5$ °C), эффективные ($5 \leq T < 10$ °C) и активные ($T \geq 10$ °C) температуры, в высотном градиенте горы Куэльпорр в июле–августе 2018 г.

Период слабopоложительных $T^{\circ}\text{C}$ был значительно короче (2–8% от 92 сут), сумма которых составила 16–52 °C при последовательном увеличении от лесных биогеоценозов до горной тундры ($K_{WE300} < K_{WE350} < K_{WE400} < K_{WE450} < K_{WT}$) (рисунок 3.21). Число дней с активными $T^{\circ}\text{C}$ составило 15–33 сут (или 16–36% от 92 сут), сумма которых увеличивалась в высотном профиле в направлении $K_{WE300} - K_{WE350} - K_{WE400}$ (рисунок 3.21). Высотный температурный градиент также прослеживался в направлении: $K_{WE400} - K_{WE450} - K_{WT}$ в виде увеличения показателей $T^{\circ}\text{C}$ в верхней части склона K_{WT} – число суток и суммы слабopоложительных $T^{\circ}\text{C}$, число суток и суммы с эффективными $T^{\circ}\text{C}$.

В отличие от зимнего периода, когда среди исследованных участков достоверно холоднее была подстилка ельника и березового криволесья на высотах 300 и 450 м соответственно, в обозначенный летний период подстилка всех лесных участков прогревалась на 1,1–1,8 °C лучше по сравнению с горной тундрой. На участке K_{WT} были ниже минимальные, максимальные и среднелетние $T^{\circ}\text{C}$ подстилки, сумма и число суток с наиболее высокими активными $T^{\circ}\text{C}$, общая сумма летних $T^{\circ}\text{C}$. Напротив, число дней и суммы низких эффективных и слабopоложительных $T^{\circ}\text{C}$ поверхности и толщи подстилки были в горной тундре наибольшими в высотном градиенте (Приложение Б.1, рисунок 3.21).

Среди лесных участков выделялись соседние ельник K_{WE400} и березовое криволесье K_{WBk} на высотах 400 и 450 м над ур. м., подстилка которых прогрелась на 0,3–0,6 °C и

0,1–0,3 °C соответственно лучше по сравнению с нижележащими ельниками – K_{WE300} и K_{WE350} . В ельнике K_{WE400} и березовом криволесье $K_{WBк}$ были выше следующие показатели подстилки: *среднеголетняя $T^{\circ}C$, сумма летних $T^{\circ}C$, число суток и сумма активных $T^{\circ}C$* . Самыми низкими эти показатели были в ельнике K_{WE300} в основании склона (Приложение Б.1).

Среднеголетняя $T^{\circ}C$ подстилки в высотном профиле варьировала от низких значений 0,7...3,4 °C в первую неделю июня и максимально прогревались к 26.VII – до 13,2...15,8 °C. Летняя амплитуда $T^{\circ}C$ в подстилке всех биогеоценозов была на 3–8 °C ниже по сравнению с воздухом из-за сглаживания T_{min} при сопоставимых T_{max} и на 7–9 °C ниже по сравнению с поверхностью почвы, что было связано с менее низкими T_{min} , так и с более низкими T_{max} в подстилке всех поясов. Таким образом, летний температурный режим, был более стабильным для подстилки двух ельников на высотных отметках 350 и 400 м, что могло быть существенным фактором, влияющим на разнообразие и обилие обитающих в почве или развивающихся в ней в летний сезон беспозвоночных.

Различия *среднемесячных $T^{\circ}C$* подстилки прослеживались только для двух ельников и только в июне, когда подстилка ельника K_{WE400} в средней части склона на отметке 400 м была достоверно теплее, чем в K_{WE300} в основании склона (на 1,6 °C) за счет более высоких T_{max} и T_{min} . В июле и августе различия отмечены только между лесными и тундровым участками, когда подстилка тундрового пояса была достоверно ($F \geq 7,97, p < 0,005$) холоднее, чем на лесных участках, из-за меньших T_{min} , T_{max} , $T_{мес}$ и *общей суммы $T^{\circ}C$* (Приложение Б.5).

Различия между участками в летней динамике $T^{\circ}C$ воздуха и поверхности почвы были не значимы ($F < 1,82, p > 0,43$), но достоверны для подстилки (Приложение Б.5). Это можно объяснить высокой летней *вариабельностью $T^{\circ}C$* воздуха и поверхности почвы, которая составила на всех высотных отметках от 40 до 55% (против 8–13% в подстилке) при высокой летней *амплитуде $T^{\circ}C$* этих сред: 20–22 и 16–21 °C соответственно против 8–13 °C в подстилке. Летняя *амплитуда $T^{\circ}C$* подстилки была на 0,6–1,0 °C выше в двух наиболее прогреваемых летом биогеоценозах – ельнике K_{WE350} и березовом криволесье $K_{WBк}$ за счет за счет *минимальных $T^{\circ}C$* , которые на 0,5...2,6 °C превышали таковые на других участках.

В период с 04–27.VII, наибольшего прогрева атмосферного воздуха и подстилки, динамика $T^{\circ}\text{C}$ этих сред была сопряжена, что подтверждается достоверными коэффициентами корреляции на всех участках для всего периода (рисунок 3.22).

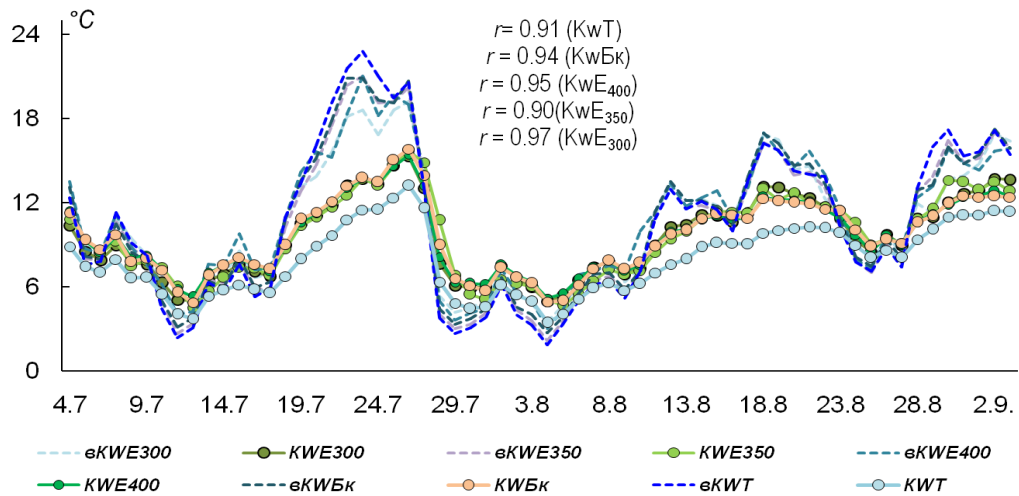


Рисунок 3.22 – Корреляционная зависимость летней динамики температуры атмосферного воздуха и подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр

Близкие к единице положительные значения коэффициента корреляции соответствуют тому, что *среднесуточная* $T^{\circ}\text{C}$ почвы возрастает вслед за ростом *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха (Ивантер, Коросов, 2010). Отмеченное уменьшение коэффициента корреляции между $T^{\circ}\text{C}$ воздуха и подстилки с высотой (KwE_{300} (0,97) > KwE_{400} (0,95) > $KwБк$ (0,94) > KwT (0,91) свидетельствует о меньшей вариабельности температуры подстилки в верхней части склона KwT от температуры воздуха. В средней части склона, на границе поясов (KwE_{400}) горно-таежного и березового криволесья, летняя динамика $T^{\circ}\text{C}$ подстилки была наиболее сопряжена с динамикой $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха ($r = 0,95$), при меньшей амплитуде $T^{\circ}\text{C}$ обеих сред 12–16 $^{\circ}\text{C}$ (рисунок 3.22). Исключение составил ельник KwE_{350} , где корреляционная связь воздуха и подстилки была ниже (0,90), это можно объяснить большей разницей между коэффициентами вариации (CV,%) для воздуха (50%) и подстилки (30%), которая составила 20 %, в то время как на участке в нижней части склона с самым высоким коэффициентом корреляции KwE_{300} (0,97), эта разница была меньшей – 12%. Следовательно, чем меньше разница между коэффициентами вариации воздуха и подстилки, тем более сопряженная динамика. Исходя из величины и динамики исследованных летних показателей $T^{\circ}\text{C}$ воздуха, поверхности и подстилки можно было

ожидать высоких значений разнообразия и обилия беспозвоночных в еловых редколесьях горно-таежного пояса на высотных отметках 350 и 400 м (более высокие *среднеголетние* $T^{\circ}C$, больше сумма и число суток с *активными* $T^{\circ}C$, *общая сумма летних* $T^{\circ}C$).

За два наиболее теплых месяца вегетационного сезона – июль и август – на склоне западной экспозиции горы Куэльпорр отловлены беспозвоночные 40 таксономических групп. Самым разнообразным компонентом почвенного населения были насекомые (таблица 3.2).

Как и предполагалось выше, наиболее полно перечисленные классы беспозвоночных (червей Lumbricidae, моллюсков Stylommatophora, многоножек Lithobiidae, паукообразных и насекомых) были наиболее разнообразны в наиболее прогретом ельнике KWE_{350} в средней части склона – 38 таксонов (таблица 3.2). Здесь не были выявлены лишь обитатели открытых (луговых и тундровых) пространств – опылители-шмели, отмеченные только в горной тундре KWT (500 м) и отсутствовавшие в ловушках всех лесных участков склона.

Наименьшим числом таксонов (30) также ожидаемо было отловлено в ельнике KWE_{300} в основании склона, где, несмотря на хорошо развитый влажный моховой покров, отсутствовали в ловушках не только влаголюбивые черви (нематод Nematoda и энхитриид Enchytraeidae) и сапротрофные жуки-лейодиды Leiodidae, но и ряд семейств растительноядных жуков (пилюльчиков Byrrhidae, листоедов Chrysomelidae, щелкунов Elateridae, короедов Scolytidae) и эктопаразитические насекомые – блохи Siphonaptera, попадание которых в почвенные ловушки маркируют обитание в биогеоценозе мышевидных грызунов или насекомоядных зверьков. В вышележащих ельниках KWE_{350} и KWE_{400} эти мелких млекопитающие визуально обнаруживались в сложной системе оголенных еловых корней.

Таблица 3.2 – Таксономический состав и динамическая плотность беспозвоночных (экз./100 лов-сут.), учтенных методом почвенных ловушек в высотном градиенте горы Куэльпорр (экз./100 лов-сут.)

Таксоны	Участки			
	K_{WE300}	K_{WE350}	K_{WE400}	K_{WT}
Nematoda (нематоды)	—	2	—	—
Enchytraeidae (энхитреиды)	—	2,5	—	1
Lumbricidae (дождевые черви)	2	12	2	-
Stylommatopoda (моллюски)	12	33	23	2
Lithobiidae (многоножки)	4	13	4	—
Aranei (пауки)	124	107	146	140
Opiliones (сенокосцы)	3	5	8	—
Plecoptera (веснянки)	1	0,5	2	—
Psocoptera (сеноеды)	1	1	—	1
Psyllidae (листоблошки)	1	5	6	4
Aphididae (тли)	1	4	29	28
Cicadellidae (цикадки)	5	14	27	8
Heteroptera (клопы)	7	5	11	2
Ortheziidae (червецы)	2	3	2	5
Thysanoptera (трипсы)	2	11	4	1
Lepidoptera (чешуекрылые)	1	4	3	2
Formicidae (муравьи)	1	489	13	38
Pamphilidae (пилильщики)	4	21	30	12
Hymenoptera (осы)	53	78	119	155
Apidae (шмели)	—	—	—	2
Diptera (двукрылые)	88	211	63	148
Coleoptera (жесткокрылые) всего, в т.ч.	80	252	313	106
Byrrhidae (пилюльщики)	—	0,5	—	1
Cantharidae (мягкотелки)	6	14	15	22
Carabidae (жужелицы)	28	24	21	7
Chrysomelidae (листоеды)	—	1	3	3
Curculionidae (долгоносики)	2	4,5	8	19
Elateridae (щелкуны)	—	2,5	4	12
Histeridae (карапузики)	4	1	2	—
Leiodidae (шаровки)	—	10	—	—
Staphylinidae (стафилиниды)	32	177	226	22
Scolytidae (короеды)	—	3	—	3
Tenebrionidae (чернотелки)	4	13	21	5
Coleoptera sp. (прочие жуки)	2	4	13	12
Siphonaptera (блохи)	—	1	5	—
Макрофауна всего	390	831	810	655
Oribatida (панцирные клещи)	75	794	265	150
Trombidiidae (краснотелковые клещи)	10	18	26	121
Gamasoidea (гамазовые клещи)	3	15	13	21
Actinedida (протистматические клещи)	—	—	—	2
Sminthuridae (сминтуриды)	108	102	134	58
Collembola (коллемболы) прочие	186	215	90	33
Микроартроподы всего	382	1143	528	385
Общая плотность	774	1974	1338	1040
Число таксонов (из 40)	30	38	32	32

Примечание: Жирным выделены максимальные по профилю значения плотности беспозвоночных. Прочерк – группа не выявлена.

Общими для всех участков были представители 23-х таксонов (или 57%), которые могут рассматриваться как фоновые для этой горы: хищные пауки Aranei, муравьи Formicidae, мягкотелки Cantharidae, жужелицы Carabidae, стафилиниды Staphylinidae, чернотелки Tenebrionidae, краснотелковые Trombidiidae и гамазовые Gamasoidea клещи; сапрофильные моллюски Stylommatohpora и личинки двукрылых Diptera; микробофаги панцирные клещи Oribatida, сминтуриды Sminthuridae и прочие коллемболы Collembola; растительноядные клопы Heteroptera, трипсы Thysanoptera, цикадки Cicadellidae, листоблошки Psyllidae, тли Aphididae, щитовки Ortheziidae, гусеницы чешуекрылых Lepidoptera, пилильщики Pamphilidae и долгоносики Curculionidae.

Динамическая плотность беспозвоночных, как и число таксонов, была наибольшей в ельнике KwE_{350} в средней части склона – около 2 тыс. экз./100 лов.–сут. (таблица 3.2). Максимальных значений плотности здесь достигали представители 11 таксонов, в числе которых – все группы почвенных сапрофагов: дождевые черви, моллюски, личинки двукрылых, сапрофильные жуки-лейодиды и две самые обильные группы микроартропод – сапро-(микробо-)фаги панцирные клещи и коллемболы. Перечисленные беспозвоночные, в отличие от летающих (аэробиионтных) насекомых, обитают преимущественно в почвенной среде (подстилке) и участвуют в процессах биотрансформации органического вещества в почвенном ярусе наземных экосистем.

Еще 14 таксонов были многочисленны в расположенном выше ельнике KwE_{400} , но с меньшей динамической плотностью, чем в KwE_{350} (1651 экз./100 лов.–сут) как представителей макрофауны (1123), так и микроартропод (528) (таблица 3.2). В отличие от преимущественно почвенных обитателей в ловушках нижележащего ельника KwE_{350} , в ловушках ельника KwE_{400} преобладали активно перемещающиеся хищные членистоногие (пауки Aranei, сенокосцы Opiliones, краснотелковые Trombidiidae и гамазовые клещи Gamasoidea) и насекомые-фитофаги (веснянки Plecoptera, листоблошки Psyllidae, цикадки Cicadellidae, клопы Heteroptera, пилильщики Pamphilidae, чернотелки Tenebrionidae). Максимальной вдоль склона плотности здесь достигали ногохвостки-сминтуриды Sminthuridae, известные питанием разлагающей органикой, бактериальными и водорослевыми пленками и гифами грибов. Менее многочисленными, чем в KwE_{350} , но более, чем на других высотах склона, были: моллюски Stylommatohpora, многоножки Lithobiidae, фитофаги трипсы Thysanoptera и чешуекрылые Lepidoptera.

Суммарно в средней части склона (ельники K_{WE350} и K_{WE400}) наибольшая динамическая плотность выявлена для представителей 24 из 40 таксонов. Еще 12 были наиболее обильны в поясе горной тундры, но их общая плотность (~ 1 тыс. экз./100 лов.-сут.) уступала лесным участкам (таблица 3.2). Явную тенденцию к увеличению плотности в верхних поясах (K_{WE400} и K_{WT}) проявляли насекомые–фитофаги (тли Aphididae, щитовки Ortheziidae, жуки листоеды Chrysomelidae, пилюльщики Byrrhidae, щелкуны Elateridae, долгоносики Curculionidae и короеды Scolytidae) и хищные паукообразные (пауки Aranei, краснотелковые Trombidiidae и гамазовые Gamasoidea клещи).

Тренд последовательного увеличения плотности от подножья (K_{WE300}) к вершине (K_{WT}) склона выявлен для 8 из перечисленных выше таксонов: растительноядных жуков щелкунов, долгоносиков и листоедов, хищных жуков мягкотелок, краснотелковых и гамазовых клещей, таксономически разнообразной группы перепончатокрылых и специфических малоподвижных сосущих насекомых – пластинчатых червецов (Ortheziidae). Червецы являются индикаторами гидроморфных тундровых почв и характерны как для тундрового пояса Хибин. Так и для зональной тундры Мурманской области (Евдокимова и др., 2006). Минимальной динамической плотностью обеих размерно-функциональных групп фауны (макрофауны и микроартропод) отличалась подстилка ельника K_{WE300} в основании склона. У представителей 17-ти из 30-ти учтенных здесь таксонов плотность была наименьшей по сравнению с выше лежащими участками. Снижением плотности в этом ельнике отличались многочисленные в пределах всего склона клещи (панцирные, гамазовые и краснотелковые), хищные жуки мягкотелки и чернотелки, все группы перепончатокрылых (муравьи, пилильщики, осы и проч.).

Единственной группой с максимальной уловистостью в ельнике K_{WE300} оказались жуки жужелицы (Carabidae), среди которых многочисленными по уловистости представлены четыре вида: *Pterostichus brevicornis*, *Notiophilus fasciatus*, *Notiophilus biguttatus* и *Calathus micropterus*. Все представленные виды являются зоофагами с дневной активностью, поверхностно-подстилочными стратобионтами (Грюнталь, 2008). По литературным данным данные виды в летний период имеют широкую зону предпочитаемых температур от 15 до 25 (Россолимо, 1989, Крыжановский, 1983), что согласуется с полученными нами температурными данными. В летний сезон в нижней

части склона максимальные температуры достигали 15 °С, а минимальные не опускались ниже 5°С. Здесь же были обильны коллемболы, но в целом плотность микроартропод была низкой и сопоставимой с таковой в горной тундре (K_{WT}): по 380 экз./100 лов.-сут.

На всех высотных отметках по плотности преобладали 3 общие группы: панцирные клещи Oribatida, жесткокрылые Coleoptera и пауки Aranei. Наряду с ними на разных высотах в доминантный комплекс (доминанты + субдоминанты) входили коллемболы Collembola (K_{WE300} и K_{WE350}) и двукрылые Diptera (K_{WE300} , K_{WE350} и K_{WT}) (таблица 3.3). Специфичными доминантами в подстилке лесных участков, по сравнению с тундровым поясом, были моллюски Stylommatophora, жесткокрылые Coleoptera и коллемболы Collembola, а для подстилки тундрового пояса – краснотелковые клещи Trombididae и осы Hymenoptera.

На всех высотных отметках доминантный комплекс беспозвоночных объединял сходное число таксонов доминантов и субдоминантов (6–7 таксонов или 16–21% от числа таксонов на участке), которое уступало суммарному числу рецедентов и субрецедентов (24–33 таксонов) и общей доле этих таксонов с низкой и единичной плотностью (78–84%) (таблица 3.4).

Таблица 3.3 – Структура населения беспозвоночных в высотном градиенте горы Куэльпорр (относительная плотность, %)

Таксоны / Участки	<i>K_{WE300}</i>	<i>K_{WE350}</i>	<i>K_{WE400}</i>	<i>K_{WT}</i>
Oribatida (панцирные клещи)	+++	++++	++++	++++
Coleoptera жесткокрылые всего	++++	++++	++++	+++
Collembola (коллемболы), в т.ч.	++++	++++	+++	++
Aranei (пауки)	++++	+++	++++	++++
Hymenoptera (осы)	+++	++	+++	++++
Diptera (двукрылые)	++++	++++	++	++++
Staphylinidae (стафилиниды)	++	+++	++++	++
Carabidae (жужелицы)	+++	++	++	+
Cantharidae (мягкотелки)	+	+	++	++
Cicadellidae (цикадки)	+	+	++	+
Stylommatophora (моллюски)	++	++	++	+
Tenebrionidae (чернотелки)	+	++	++	+
Trombididae (краснотелковые клещи)	++	+	++	+
Heteroptera (клопы)	+	+	+	+
Coleoptera sp. (прочие жуки)	+	+	+	++
Formicidae (муравьи)	+	++	+	++
Pamphilidae (пилильщики)	+	++	++	++
Gamasoidea (гамазовые клещи)	+	+	+	++
Lithobiidae (многоножки)	+	+	+	–
Thysanoptera (трипсы)	+	+	+	+
Lepidoptera (чешуекрылые)	+	+	+	+
Psyllidae (листоблошки)	+	+	+	+
Elateridae (щелкуны)	–	+	+	++
Curculionidae (долгоносики)	+	+	+	++
Orteziidae (щитовки)	+	+	+	+
Aphididae (тли)	+	+	++	++
Lumbricidae (дождевые черви)	+	+	+	–
Histeridae (карапузики)	+	+	+	–
Opiliones (сенокосцы)	+	+	+	–
Psocoptera (сеноеды)	+	+	–	+
Plecoptera (веснянки)	+	+	+	–
Nematoda (нематоды)	–	+	–	–
Enchytraeidae (энхитрииды)	–	+	–	+
Apidae (шмели)	–	–	–	+
Byrrhidae (пилюльщики)	–	+	–	+
Scolytidae (короеды)	–	+	–	+
Chrysomelidae (листоеды)	–	+	+	+
Leiodidae (шаровки)	–	+	–	–
Siphonaptera (блохи)	–	+	+	–
Actinedida (протистические клещи)	–	–	–	+
Всего	774	1974	1338	1040

Примечание. Категории беспозвоночных по степени доминирования: (++++) – доминанты, $\geq 10\%$ от числа особей в уловах каждого участка; (+++) – субдоминанты, от 5 до 10%; (++) – рецеденты, от 1 до 5%; (+) – субрецеденты, $<1\%$. Прочерк – группа не выявлена

Таблица 3.4 – Структура населения беспозвоночных на разных высотах горы Куэльпорр (в % от общего числа таксонов на каждом участке)

Участок	Доминанты*	Субдоминанты	Рецеденты	Субрецеденты	Всего
<i>K_{WT}</i>	5** (15%)	2 (6%)	10 (30%)	16 (49%)	33 (100%)
<i>K_{WE400}</i>	3 (9%)	4 (12%)	8 (24%)	18 (55%)	33 (100%)
<i>K_{WE350}</i>	2 (6%)	4 (10%)	4 (10%)	29 (74%)	39 (100%)
<i>K_{WE300}</i>	4 (13%)	3 (9%)	4 (13%)	20 (65%)	31 (100%)

Примечание. *Категории беспозвоночных по степени доминирования – как в таблица 3.2. **Число таксонов каждой категории и их общая доля (в скобках) на участке

Основной высотный тренд перераспределения основных категорий сводился к тому, что численность и разнообразие почвенной фауны определялось числом редких субрецедентных таксонов, которые снижаются с высотой.

Наименьшим числом доминантов (два – *K_{WE350}* и *K_{WE400}*) при наибольшем числе редких субрецедентных таксонов с их общей долей 74%, и, следовательно, наиболее выравненной структурой населения при наибольшем общем таксономическом разнообразии, отличался ельник *K_{WE350}*. Очевидно, этот самый теплый участок привлекал наибольшее число беспозвоночных разных таксономических и размерно-функциональных групп (макрофауны и микроартропод), от достигающих в этом ельнике максимальной динамической плотности до редких и случайных.

Исследуя зависимости факторов, которые могут оказывать влияние на динамическую плотность беспозвоночных в высотном градиенте, была проанализирована корреляция распределения динамической плотности общей фауны, макрофауны и микроартропод с 29 параметрами $T^{\circ}C$ атмосферного воздуха, поверхности и толщи подстилки. Для всех групп (общей фауны, макрофауны и микроартропод) прослеживали положительные сильные достоверные корреляции от 5 до 9 температурных параметров ($r = 0,71$ до $0,98$), отрицательных достоверных корреляций было меньше от 1 до 2 ($r = -0,64$ до $-0,98$). Прослеживалась закономерность связи коррелируемых $T^{\circ}C$ параметров и двух групп населения беспозвоночных (макрофауна и микроартроподы) в направлениях:

– с макрофауной у показателей, отражающих наибольший прогрев на высотных отметках *K_{WE350}* и *K_{WE400}* и положительно коррелируя с показателями *среднегодовая $T^{\circ}C$ подстилки*, *среднелетняя $T^{\circ}C$ поверхности почвы и подстилки*, *сумма летних $T^{\circ}C$ подстилки*, *минимальная среднегодовая $T^{\circ}C$ поверхности почвы*, *сумма эффективных*

$T^{\circ}\text{C}$ воздуха и поверхности, число суток *активных* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки и воздуха (рисунок 3.23)

Отрицательные корреляции показывали наименьший прогрев в нижней и верхней частях склона (K_{WE300} и K_{WT}): сумма и число суток *слабоположительных* $T^{\circ}\text{C}$ поверхности и подстилки.

Для макрофауны большинство корреляций было получено с поверхностью почвы и подстилкой, так как данная группа населяет именно поверхность почвы (рисунок 3.23).

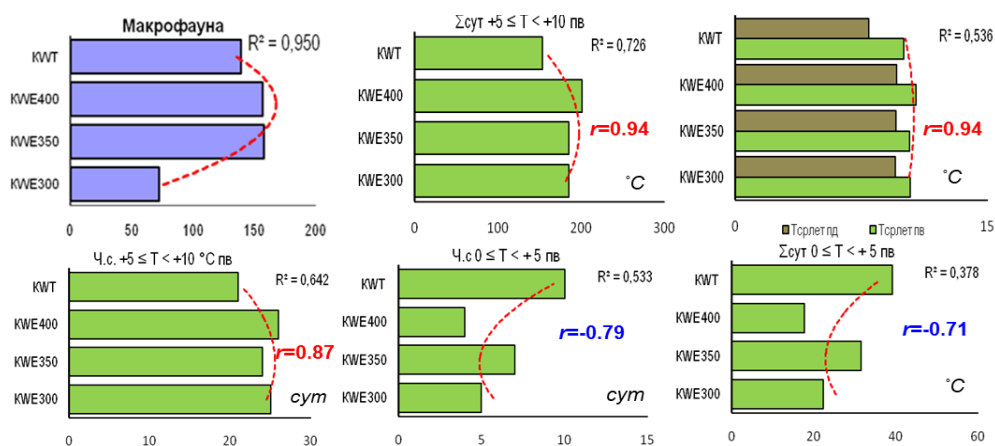


Рисунок 3.23 – Достоверные положительные и отрицательные корреляции динамической плотности макрофауны (экз./100 лов–сут) с основными температурными показателями атмосферного воздуха, поверхности и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр

– с микроартроподами у показателей, отражающих наибольший прогрев в ельнике K_{WE350} и положительно коррелируя с показателями: T_{max} и сумма с *активными* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки. Отрицательные корреляции получены с суммой *эффективных* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки, общей суммой $T^{\circ}\text{C}$ в летний период (VII–VIII) и $T_{\text{лет}}$ атмосферного воздуха. Для микроартропод большинство корреляций было получено с толщиной подстилки (рисунок 3.24).

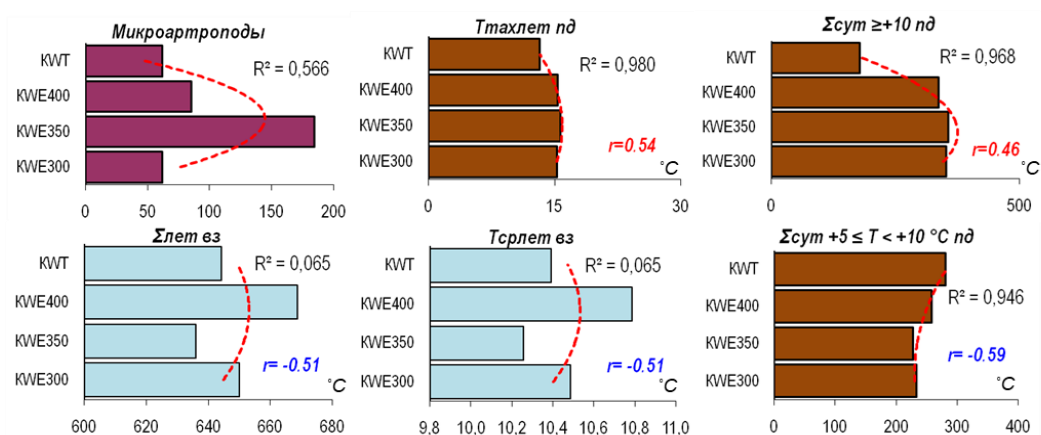


Рисунок 3.24 – Достоверные положительные и отрицательные корреляции динамической плотности микроартропод с основными показателями температуры атмосферного воздуха, поверхности и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр

Таким образом, в пределах одного пояса (еловых редколесий) на соседних наиболее прогреваемых высотах с наибольшими показателями таксономического состава и плотности беспозвоночных выявлено формирование разных комплексов (рисунок 3.25):

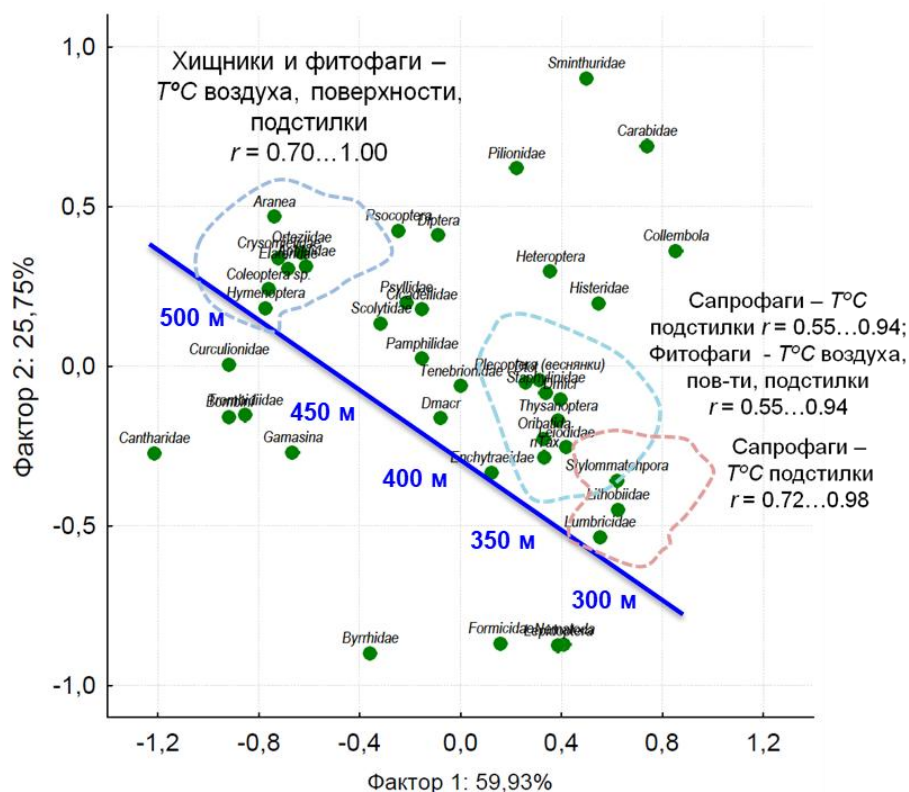


Рисунок 3.25 – Распространение беспозвоночных в высотном градиенте г. Куэльпорр

1 – с преобладанием сапрофильных геобионтов (дождевые черви, моллюски, личинки двукрылых, микробофаги – панцирные клещи и коллемболы), тесно связанных с температурой подстилки ельника KWE_{350} , и 2 – с доминированием активно перемещающихся хищных членистоногих (пауки, сенокосцы, краснотелковые и гамазовые клещи) и насекомых-аэробиев, зависящих от $T^{\circ}C$ воздуха и поверхности почвы в ельнике KWE_{400} , граничащем с поясом березовых криволесий.

1. В высотном градиенте 300–500 м западного склона горы Куэльпорр показаны достоверные температурные различия не только между соседними горно-растительными поясами (еловыми редколесьями, березовыми криволесьями и горными тундрами), но и между участками с высотной разницей в 50 метров в пределах одного пояса. Температурный градиент проявляется в виде снижения показателей с высотой: среднегодовых температур всех сред (воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки); числом суток с отрицательными, положительными и слабоположительными температурами поверхности почвы и толщи подстилки, минимальными годовыми температурами на поверхности почвы выражен в средней части склона $KWE_{350} \rightarrow KWE_{400} \rightarrow KWB_k$, тогда как в основании склона (300) и в поясе горной тундры (500) показатели не подчинены этому градиенту.

2. В летний период установлены два температурных градиента: увеличение суммы активных температур в направлении $KWE_{300} \rightarrow KWE_{350} \rightarrow KWE_{400}$, отражающих наибольший прогрев вышележащих ельников (350 и 400 м) по сравнению с ельником в основании склона (300 м) и увеличение числа и суммы слабоположительной и эффективной температуры в направлении $KWE_{400} \rightarrow KWB_k \rightarrow KWT$, показателей отражающих наименьший прогрев березовых криволесий и горной тундры. Индикаторными показателями, которые достоверно дифференцируют температурные различия между поясами (высотами) в летний период, температурные различия проявлялись в среднелетних температурах, суммы и числа суток с активными температурами, общей суммы летних температур и максимальными летними температурами.

3. Подтвердилось предположение высоких значений численности и разнообразия почвенной фауны в горно-таежном поясе и на высотных отметках KWE_{350} и KWE_{400} исходя из исследованных летних показателей температур воздуха, поверхности и подстилки, которые формируют два фаунистических комплекса. В поясе еловых

редколесий население беспозвоночных наименее разнообразно и обильно в слабее прогреваемых почвах в основании склона (300 м) и наиболее разнообразно и многочисленно – в достоверно более теплых почвах средней (350 м) и верхней (400) частей пояса. При этом в средней части пояса еловых редколесий сформирован комплекс беспозвоночных с преобладанием деструкторов органического вещества (дождевых червей, моллюсков, личинок двукрылых, панцирных клещей и коллембол), а в верхней части пояса – на границе с березовыми криволесьями – с преобладанием хищных членистоногих (пауков, сенокосцев, краснотелковых и гамазовых клещей) и насекомых–аэробинтов, что подтверждает заключения Фридолина (1936) о переносе насекомых с теплыми потоками воздуха в верхние горные пояса.

3.3 Динамика температуры в петроземах холодных гольцовых пустынь и население беспозвоночных

3.3.1 Температурные различия петроземов под разными типами растительности

Сравнение температурных рядов, полученных в разные годы в поясе гольцовых пустынь на плато двух гор (горы Вудъяврчорр, 1021–1023 м и Айкуайвенчорр, 1059–1063 м), удаленных друг от друга на расстоянии 7-ми км, позволило установить следующие общие для двух плато закономерности $T^{\circ}\text{C}$ (Штабровская, Зенкова, 2021):

- преобладание в годовом цикле периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ петроземов (более 200 дней или более 57% суток), которые регистрировались с 01.X по 27.V при устойчивом переходе $T^{\circ}\text{C}$ среднесуточной ниже 0°C не ранее октября (Приложение В.1, рисунок 3.26).

- промерзание петроземов на глубине 5 см в холодный сезон не более чем до -10°C (*абсолютный минимум*);

- сходные годовые суммы положительных почвенных температур $T \geq 0^{\circ}\text{C}$ ($750...800^{\circ}\text{C}$) при сопоставимой продолжительности периода с этими $T^{\circ}\text{C}$ (130–140 сут или около 40% дней в году) и устойчивом весеннем переходе *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ выше нулевого порога не позднее июня;

- наибольший прогрев почвы (до *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ $13,6...21,5^{\circ}\text{C}$ и T_{max} $16,5...35,3^{\circ}\text{C}$) во второй декаде июля (с 13 по 22.VII).

– продолжительность периода с *активными* $T^{\circ}\text{C}$ не менее 12 суток в году (Приложение В.1, рисунок 3.27) (Штабровская, Зенкова, 2021; Koroleva et al., 2024, Королева и др., 2024).

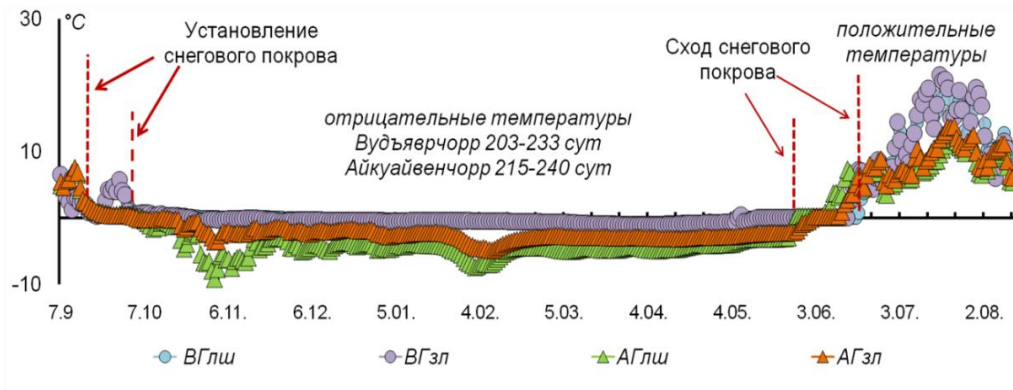


Рисунок 3.26 – Годовая динамика температуры в петроземах пояса гольцовых пустынь на плато гор Вудъяврчорр (2017/2018 гг.) и Айкуайвенчорр (2019/2020 гг.) под лишайниками и злаками. ВГ– Вудъяврчорр, АГ– Айкуайвенчорр; *лиш* – лишайники, *зл* – злаки

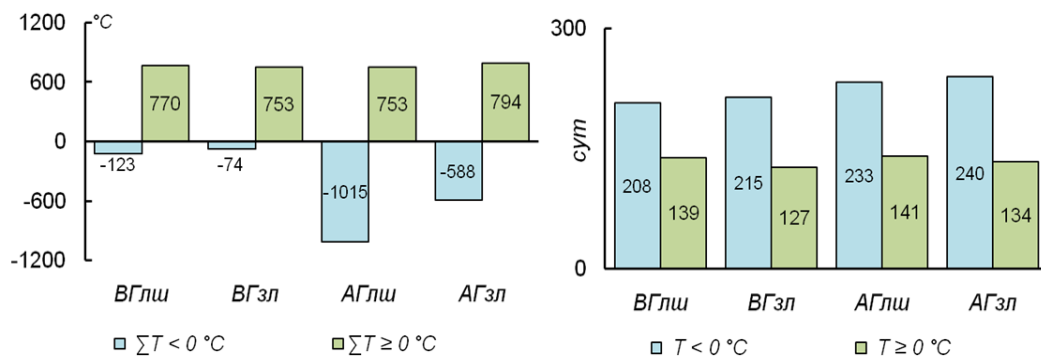


Рисунок 3.27 – Годовые суммы (слева) и число суток (справа) с положительными ($T \geq 0^{\circ}\text{C}$) и отрицательными ($T < 0^{\circ}\text{C}$) среднесуточными температурами в 5 см слое петроземов под лишайниками и злаками на плато Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр

Различия в годовой динамике $T^{\circ}\text{C}$ между двумя плато отражали лучший летний прогрев и меньшее зимнее промерзание петроземов на менее высотном плато Вудъяврчорр в более теплый 2017/2018 гг. по сравнению с плато Айкуайвенчорр, исследованным в более холодный 2019/2020 гг.

При сходных для двух плато сроках установления снежного покрова в разные годы (с 19.IX.2017 и с 17.IX.2019), на плато Вудъяврчорр весь осенне-зимний период 2017/2018 гг. в петроземах под растительностью поддерживалась *околонулевая* $T^{\circ}\text{C}$.

Минимальные среднесуточные $T^{\circ}\text{C}$ (абсолютные минимумы) были слабоотрицательными ($-0,8...-1,2^{\circ}\text{C}$) и отмечались только в конце марта – начале апреля (с 30–31.III по 8.IV) при $T^{\circ}\text{C}$ воздуха в эти даты $-16,7...-12,3^{\circ}\text{C}$.

На плато Айкуайвенчорр петроземы промерзали уже с середины октября 2019 г. и сильнее (до $-4...-6^{\circ}\text{C}$ против $0...-0,5^{\circ}\text{C}$ в сходные даты 2017 г. на плато Вудъяврчорр) и до $-4,9^{\circ}\text{C}$ под злаками и $-9,2^{\circ}\text{C}$ под лишайниками в последующий зимний период. Дни с этими *абсолютными минимальными $T^{\circ}\text{C}$* приходились на начало самого холодного месяца – февраля (7–8.II.2020), когда $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха опускалась до -30°C , а также на начало ноября (1.XI.2019), когда под лишайниками регистрировался *внутрисуточный минимум* $-9,93^{\circ}\text{C}$ при снижении $T^{\circ}\text{C}$ воздуха лишь до -13°C (Приложение В.1).

Разницу в сроках и степени охлаждения почв на двух плато, а также промерзание петроземов на плато Айкуайвенчорр уже в начале ноября, сходное с таковым в феврале, можно объяснить различиями в мощности снегового покрова, как теплоизолятора, защищающего почву и ее обитателей от влияния низких $T^{\circ}\text{C}$ воздуха. Как известно, ветровое перераспределение снега и формирование нивальных (заснеженных) и бесснежных местообитаний является главной особенностью холодных гольцовых пустынь (Куваев, 1985). На более высотном плато Айкуайвенчорр, из-за более сильного ветрового перераспределения снега и его меньшей мощности, $T^{\circ}\text{C}$ петроземов в большей степени зависела от $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха. В октябре при небольшой глубине снега эта зависимость выражалась положительной корреляцией ($r \geq 0,40$) под разными типами растительности (лишайники и злаки), а в январе-феврале при мощном снеговом покрове корреляция была близка к нулю ($-0,060 \leq r \leq 0,008$).

Плато горы Вудъяврчорр, у подножья которой расположено крупное горное озеро Большой Вудъявр, более заснежено в холодный период года из-за высокой атмосферной влажности местности, приводящей к образованию повышенного количества осадков, в том числе снега. Исследованная площадка на плато Вудъяврчорр была удалена от озера на 1 км, площадка на плато Айкуайвенчорр – на 4 км. Косвенно на большую мощность снегового покрова на плато Вудъяврчорр указывали более поздние сроки его схода и прогрева петроземов до *среднесуточных $T \geq 0^{\circ}\text{C}$* достоверно более теплой весной 2018 г. по сравнению с 2020 г. ($F \geq 30$ при $p = 0,001$). Переход *среднесуточной $T^{\circ}\text{C}$* через порог выше 0°C отмечался на плато Вудъяврчорр на 17 суток позднее, чем на плато

Айкуайвенчорр (15–19.VI против 27.V–2.VI), а до *активных* $T^{\circ}\text{C}$ – на 16–17 дней раньше (1.VII против 15–18.VII).

В летний сезон на плато Вудъяврчорр преобладали дни с *активной* $T^{\circ}\text{C}$ (33–35 сут против 12–24 сут на плато Айкуайвенчорр), которые являются основным показателем тепла в почве. На плато Айкуайвенчорр преобладали дни с *эффективной* $T^{\circ}\text{C}$ от 5°C до 10°C (60–70 сут против 20–24 сут на плато Вудъяврчорр при сумме этих температур более 400 и менее 170 $^{\circ}\text{C}$ на каждом плато соответственно). Следовательно, при сопоставимых *годовых суммах положительных* $T^{\circ}\text{C}$, на разных плато эти суммы определялись разным соотношением дней с пороговыми $T^{\circ}\text{C}$ (рисунок 3.28).

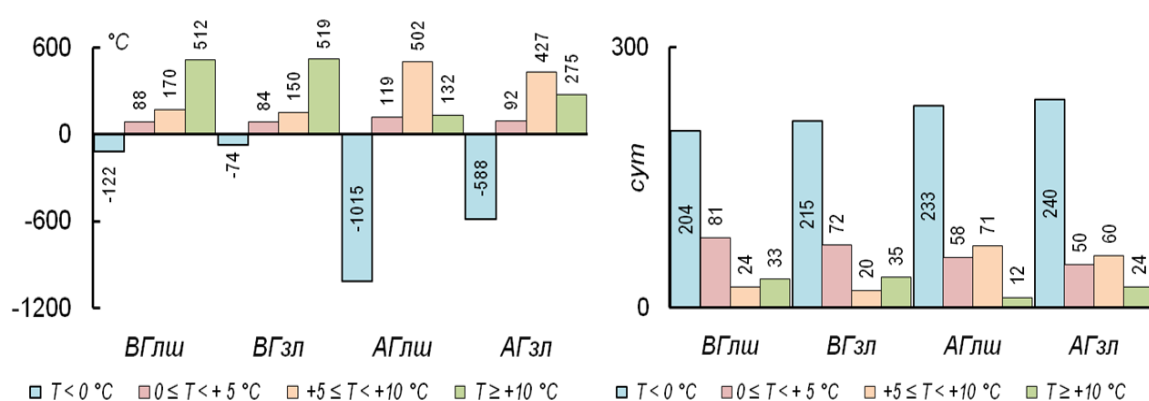


Рисунок 3.28 – Годовая сумма (слева) и число суток (справа) с отрицательными и положительными температурами в 5 см слое петроземов на плато Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр

Годовые суммы отрицательных $T^{\circ}\text{C}$ в петроземах не выходили за пределы -122°C на плато Вудъяврчорр и были значительно ниже на плато Айкуайвенчорр: -1000°C (Приложение В.1). В итоге *среднегодовые* $T^{\circ}\text{C}$ были *слабоположительными* под лишайниками и злаками на плато Вудъяврчорр (около $2,0^{\circ}\text{C}$) и под злаками ($0,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$) на плато Айкуайвенчорр и *слабоотрицательными* ($-0,7 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$) под лишайниками на этом плато (рисунок 3.29).

Гольцовые пустыни Хибин рассматривают как ландшафтный аналог широтной зоны полярных (арктических) пустынь Арктики (Хибины..., 2022). На примере почв арктического архипелага Шпицберген было показано, что в период таяния снегового покрова его теплоизолирующее влияние обеспечивает поддержание *околонулевых* $T^{\circ}\text{C}$ на границе снег–грунт, изолируя поверхность почвы от положительных температур воздуха (Шмакин и др., 2013). В Исландии (Lewis, 1939) и на Шпицбергене (McCabe,

1939) отмечали протаивание грунта под снежным покровом, но на небольшую глубину, не превышающую нескольких миллиметров.

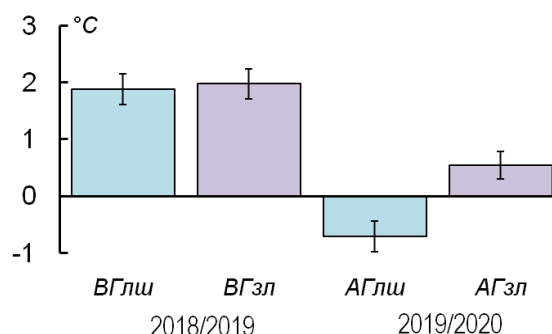


Рисунок 3.29 – Среднегодовые температуры в 5 см слое петроземов под разными типами растительности на плато Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр

На наших площадках переход *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ в петроземах через порог выше 0°C отмечался в более теплый вегетационный сезон 2018 г. на плато Вудъяврчорр с 15–19.VI, а в более холодный на плато Айкуайвенчорр – раньше, с 27.V–02.VI, что мы связываем с меньшей мощностью снегового покрова при более высотном положении этого плато. До *активных* $T^{\circ}\text{C}$, в соответствии с достоверно более теплым летом 2018 г. по сравнению с 2020 г. ($F \geq 31,26$ при $p < 0,001$), раньше на 16–17 суток прогревались петроземы плато Вудъяврчорр.

Примечательно, что температурные исследования в арктических горных почвах архипелага Шпицберген (остров Западный Шпицберген, хребет Гренфьорд, 92 м над ур. м.), подстилаемых вечной мерзлотой на глубине 140 см, проводились сотрудниками ПАБСИ КНЦ РАН годы, сходные с нашими исследованиями (2018–2019 гг.) и с использованием аналогичных автоматических термохронотомов (Литвинова, Кашулина, 2021). *Среднегодовые* $T^{\circ}\text{C}$ петроземов в поясе холодных гольцовых пустынь Хибин отличались от арктических серогумусовых горных почв Шпицбергена более высокими значениями: $-0,7$ до $1,9^{\circ}\text{C}$ против $-2,8^{\circ}\text{C}$. Сумма *положительных* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки на глубине 2 см составила 469°C против $753...794^{\circ}\text{C}$ в петроземах Хибин под разными типами растительности. *Максимальная среднесуточная* $T^{\circ}\text{C}$ достигала $8,0^{\circ}\text{C}$, т.е. ниже, чем на хибинских плато на $4,3...12,5^{\circ}\text{C}$, а *активные* $T^{\circ}\text{C}$ в серогумусовых арктических почвах не регистрировались. Основные температурные показатели в петроземах гольцового пояса Хибин и серогумусовых горных почвах Шпицбергена приведены в Приложении В.2.

Таким образом, процесс формирования петроземов в поясе холодных гольцовых пустынь в Хибинах, расположенных в северо-таежной подзоне Кольского полуострова, протекает при менее низких $T^{\circ}\text{C}$ и меньшей продолжительности периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ по сравнению с серогумусовыми горными почвами в юго-западной части острова Западный Шпицберген.

В соответствие с классификацией температурного режима почв (Димо, 1972), на основе таких показателей, как: длительность промерзания почв не менее 5 месяцев в году, положительная *среднегодовая* $T^{\circ}\text{C}$ в интервале от 0 до 4 $^{\circ}\text{C}$ и *сумма летних* $T^{\circ}\text{C}$, не превышающая 500...1000 $^{\circ}\text{C}$, почвы пояса холодных гольцовых пустынь Хибин можно отнести к типу длительно сезоннопромерзающих, подтипу холодных почв.

На примере плато Айкуайвенчорр, исследованного на протяжении вегетационных сезонов 2020 и 2022 гг., выявлены следующие межгодовые различия $T^{\circ}\text{C}$:

- *среднелетние* $T^{\circ}\text{C}$ петроземов были выше в 2022 г. по сравнению с 2020 г. из-за прогрева почв в июле и августе до более высоких (на 1,4–2,8 $^{\circ}\text{C}$) T_{max} (Приложение В.3);

- *число дней с активными* $T^{\circ}\text{C}$ петроземов было больше в 2022 г. (более 40 % суток против 16–32 % в 2020 г.), и, напротив, дни с *эффективными* $T^{\circ}\text{C}$ преобладали в 2020 г. (57–71%) (Приложение В.5);

- достоверно более высокие *среднесуточные* $T^{\circ}\text{C}$ петроземов под разными типами растительности (*АГли*, *АГмх-ли* и *АГмх*) на протяжении июля и августа 2022 г. по сравнению с 2020 г. и, напротив, достоверно пониженные *среднесуточных* $T^{\circ}\text{C}$ (на 3,3–4,0 $^{\circ}\text{C}$) в сентябре 2022 г. за счет более низких значений T_{max} и T_{min} .

Можно заключить, что в более теплый вегетационный сезон 2022 г., по сравнению с 2020 г., петрозе́мы на более высотном плато Айкуайвенчорр прогревались до значений, сходных с таковыми на менее высотном плато Вудъяврчорр в теплый 2018 г. (Приложение В.3).

Наиболее изменчивыми между годами и горами оказались показатели двух самых теплых месяцев – июля и августа, которые варьировали на плато Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр в следующих пределах: *среднемесячные* $T^{\circ}\text{C}$ 8,7...15,4 $^{\circ}\text{C}$ под злаками и 7,0...10,9 $^{\circ}\text{C}$ под лишайниками; T_{max} – от 12,3...21,5 $^{\circ}\text{C}$ до 10,0...16,8 $^{\circ}\text{C}$, *абсолютные внутрисуточные максимумы* – от 16,5...35,3 $^{\circ}\text{C}$ до 11,4...23,7 $^{\circ}\text{C}$, суммы и число суток с *активными* $T^{\circ}\text{C}$ – от 122 $^{\circ}\text{C}$ до 451 $^{\circ}\text{C}$ при 11...29 сут и от 10 $^{\circ}\text{C}$ до 142 $^{\circ}\text{C}$ при 16...22

сут; суммы и число суток с *эффективными* $T^{\circ}\text{C}$ – от 19°C до 48°C при 15...20 сут и от 4°C до 180°C при 9...15 сут (Приложения В.3 – В.5).

В целом, для двух горных плато, исследованных на протяжении трех вегетационных сезонов, *сходные* значения выявлены для двух температурных показателей петроземов: *средней* $T^{\circ}\text{C}$ сентября ($2,0...3,0^{\circ}\text{C}$) и $T_{\min}$ за 82 сут вегетационного сезона ($0,0...0,75^{\circ}\text{C}$). Эти температурные показатели можно считать наиболее стабильными для разных плато в разные вегетационные сезоны. Общей чертой летней динамики температуры петроземов в поясе гольцовых пустынь Хибин также является отсутствие *отрицательных* $T^{\circ}\text{C}$ в исследованные годы и прогрев до $T_{\max}$ в июле.

Достоверные различия *среднемесячных* $T^{\circ}\text{C}$ под разными типами растительности проявлялись на каждом из плато на протяжении семи–восьми месяцев в году и отсутствовали в теплый период с мая по август. На плато Айкуайвенчорр весь осенне-зимний и весенний период достоверно теплее (на $1,0...2,9^{\circ}\text{C}$) были почвы под куртинами ожики и злаков по сравнению с подушками лишайников. На плато Вудъяврчорр при меньшей, но достоверной разнице *среднемесячных* $T^{\circ}\text{C}$ их повышенные значения (на $0,3...0,6^{\circ}\text{C}$), напротив, поддерживались под лишайниками (Приложения В.6 – В.8).

При описанной выше бóльшей годовой сумме *отрицательных среднесуточных* почвенных $T^{\circ}\text{C}$ на плато Айкуайвенчорр по сравнению с плато Вудъяврчорр, число суток с этими $T^{\circ}\text{C}$ на обоих плато было выше под куртинами ожики и злаков (215–240 сут), чем под подушками лишайников (208–233 сут). Это объяснялось более поздним (на 4–6 сут) оттаиванием почвы весной и более ранним (на 3–10 сут) осенним переходом *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ через 0°C под куртинами злаков по сравнению с лишайниками.

На плато Айкуайвенчорр, на фоне бóльшей продолжительности периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ в почве под куртинами злаков, летом 2020 г. более ранний прогрев (на семь суток) до *эффективных* $T^{\circ}\text{C}$ зарегистрирован под лишайниками (с 27.V против 2.VI под злаками). Число дней с *эффективными* $T^{\circ}\text{C}$ было ниже под злаками, а до *активных* $T^{\circ}\text{C}$, наоборот (с 15.VII против 18.VII под лишайниками).

Также под злаками в два раза больше было число дней с *активными* $T^{\circ}\text{C}$ и были выше $T_{\max}$ июля: 14°C против 12°C под лишайниками (Приложения В.6).

В 2022 г., при отсутствии достоверных различий в летней динамике *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ под разными типами растительности на плато Айкуайвенчорр ($F \leq 1,89$ при $p > 0,17$) (Приложение В.8), ее летняя амплитуда была выше под мохово-лишайниковой растительностью: $16,0^{\circ}\text{C}$ против $14,3\text{--}14,5^{\circ}\text{C}$ под лишайниками и мхами, как и летняя вариабельность: 56% против $50\text{--}51\%$, которая определялась различиями в T_{max} и в меньшей степени – различиями в T_{min} (Koroleva et al., 2024, Королева и др., 2024).

На плато Вудъяврчорр достоверных различий летней динамики *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ под разными типами растительности так же не наблюдалось ($F \leq 0,23$ при $p > 0,63$) (Приложение В.9). Летняя амплитуда была выше под куртинами злаков ($21,3^{\circ}\text{C}$ против $17,8^{\circ}\text{C}$), как и летняя вариабельность (60% против 54%). Как и на плато Айкуайвенчорр, это определялось различиями в T_{max} ($21,5^{\circ}\text{C}$ в куртинах злаков против $18,5^{\circ}\text{C}$ под подушками лишайников).

Под всеми типами растительности летняя динамика *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ петроземов в 2022 г на плато Айкуайвенчорр была высоко скоррелирована с динамикой $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха (достоверно, $r = 0,92\text{--}0,97$), и, в то же время, на протяжении самых теплых месяцев вегетационного сезона (июль и август) и двух декад сентября была выше $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха в среднем на $0,6\text{--}0,8^{\circ}\text{C}$ за счет менее низких T_{min} . В первую декаду сентября в петроземах под фрагментарной растительностью сохранялись *положительные среднесуточные* $T^{\circ}\text{C}$ при снижении $T^{\circ}\text{C}$ воздуха до *отрицательных* $-1,7\text{--}-2,8^{\circ}\text{C}$ (Приложение В.8, рисунок 3.30) (Koroleva et al., 2024, Королева и др., 2024).

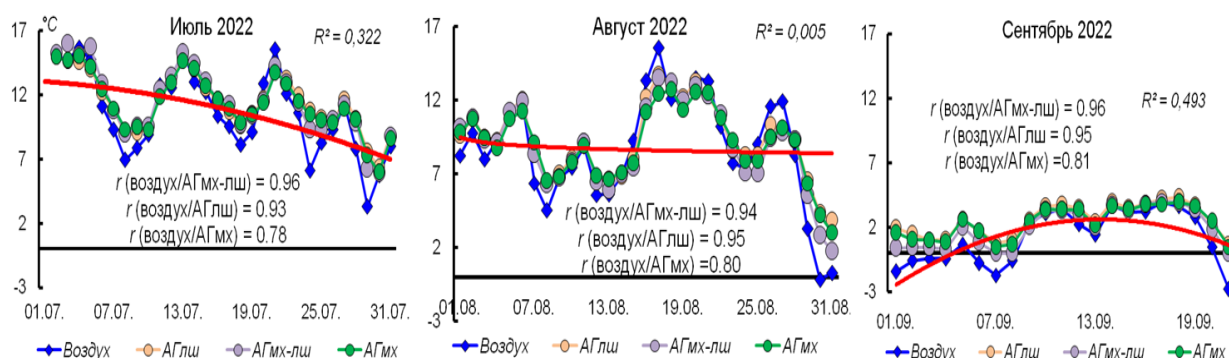


Рисунок 3.30 – Ежемесячная динамика температуры в петроземах пояса гольцовых пустынь на плато горы Айкуайвенчорр в 2022 г. Типы растительности: *лш* – лишайники, *мх-лш* – мохово-лишайниковые подушки, *мх* – моховые подушки

Достоверное влияние фрагментарной растительности на более высокие значения $T^{\circ}\text{C}$ подстилающих ее петроземов, по сравнению с $T^{\circ}\text{C}$ воздуха, подтверждалось результатам дисперсионного анализа ($F = 244,6$, $p < 0,001$) (рисунок 3.30). Сходное «запаздывание» осеннего остывания петроземов под растительностью разного типа (подушки лишайников и куртины ожики и злаков) по сравнению с атмосферным воздухом отмечено нами на плато Айкуайвенчорр и в полевой сезон 2020 г., когда при устойчивом снижении *среднесуточной* $T^{\circ}\text{C}$ воздуха до $-0,47...-1,86^{\circ}\text{C}$ с 20-х чисел сентября, $T^{\circ}\text{C}$ *петрозема* сохраняла положительные значения еще на протяжении 16 (под ожикой/злаками) – 19 (под лишайниками) суток. Следовательно, теплоизолирующая экологическая функция, характерная для органогенного горизонта почв и выраженная в горно-лесных поясах Хибин, проявляется и в маломощной подстилке слаборазвитых петроземов под фрагментарной растительностью в поясе холодных гольцовых пустынь. Это имеет важное значение для поддержания активности почвенной биоты и пролонгации процессов ее жизнедеятельности в условиях короткого периода с положительными температурами воздуха.

3.3.2 Население беспозвоночных холодных гольцовых пустынь

В маломощных петроземах пояса гольцовых пустынь, как и в почвах горно-тундрового пояса Хибин, мелкие членистоногие – микроартроподы преобладают над более крупными представителями макрофауны. Под разными типами растительности 40–70% от общего числа беспозвоночных составляли микробофаги ногохвостки (Collembola), 20–36% – сапротрофные панцирные клещи (Oribatida), 6–20% – хищные мезостигматические клещи (Mesostigmata) (Koroleva et al., 2024, Королева и др., 2024).

Большинство видов ногохвосток, ранее выявленных в верхних горных поясах Хибин (Зенкова, Таскаева, 2012, Таскаева, 2014), имеют обширные космополитные или голарктические ареалы и обитают в зональной тундре, лесотундре и северной тайге Мурманской области (Бабенко, 2012). Единично присутствуют виды, известные из арктических тундр Шпицбергена, Гренландии, Канады, Аляски, Чукотки и Таймыра. Одним из источников пищи для этих первичнобескрылых насекомых являются водоросли, разнообразие которых в поясе гольцовых пустынь насчитывает не менее 43 видов с преобладанием представителей отдела зеленых водорослей Chlorophyta (Королева и др., 2024). Общей особенностью сообществ ногохвосток и панцирных

клещей в поясе гольцовых пустынь Хибин является олигодоминантная структура, при которой 80–90% общей численности приходится на 2–3 вида.

Наряду с микроартроподами в петроземах этого пояса обитают представители не менее 14 таксонов беспозвоночных, которые представлены насекомыми (73% численности), многоножками-костянками (17), червями (9) и пауками (1%). Их общая численность в образцах маломощной подстилки достигала 220 экз./м², биомасса (сырая) – 0,5 г/м². Наименьшие показатели разнообразия и численности беспозвоночных выявлены в приснеговом моховом сообществе, что связано с формированием чрезмерно плотной дернины из мхов рода *Racomitrium*, наибольшие – в лишайниково-осоковых подушках (рисунок 3.31).

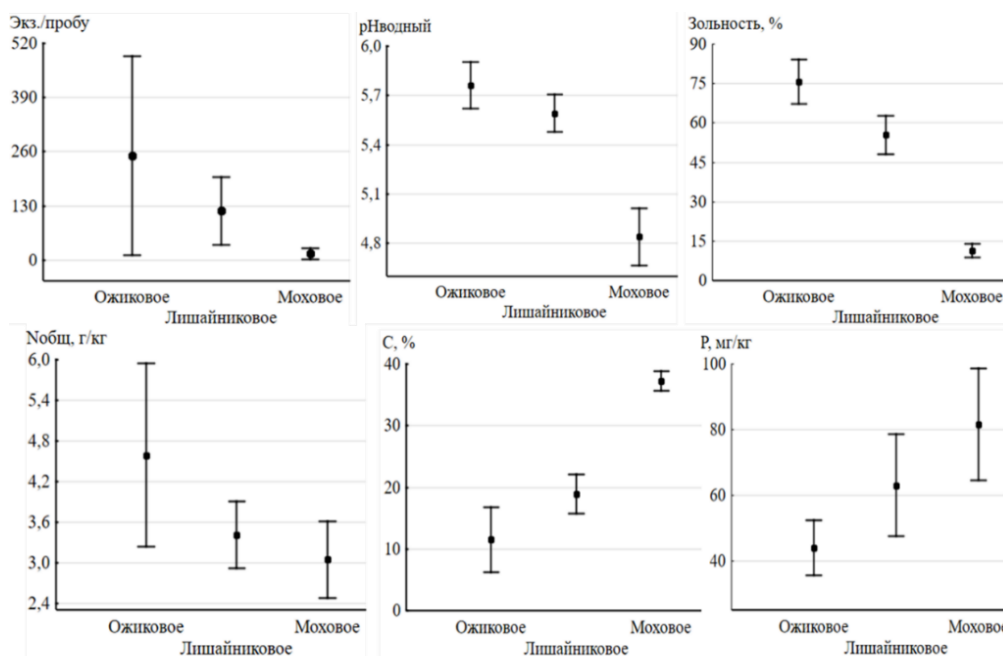


Рисунок 3.31 – Численность беспозвоночных и показатели подстилки под основными типами растительности на плато Айкуайвенчорр в июле 2022 г.

На плато Айкуавенчорр уровень численности беспозвоночных под разными типами растительности был скоррелирован с физико-химическими показателями почвы и содержанием в ней биогенных элементов. Тесными положительными оказались корреляции общей численности беспозвоночных с зольностью, величиной pH и уровнем общего азота ($r \geq 0,97$) в подстилке, тесные отрицательные – с содержанием органического вещества (в виде потерь при прокаливании), общего углерода, магния и фосфора ($-0,96 \leq r \leq -1,00$).

Трофическая структура населения беспозвоночных в петроземах пояса гольцовых пустынь Хибин отличается резко обедненным таксономическим составом сапро- и фитофагов и сезонным варьированием численности и биомассы этих трофических групп при более стабильной структуре комплекса зоофагов (рисунок 3.32).

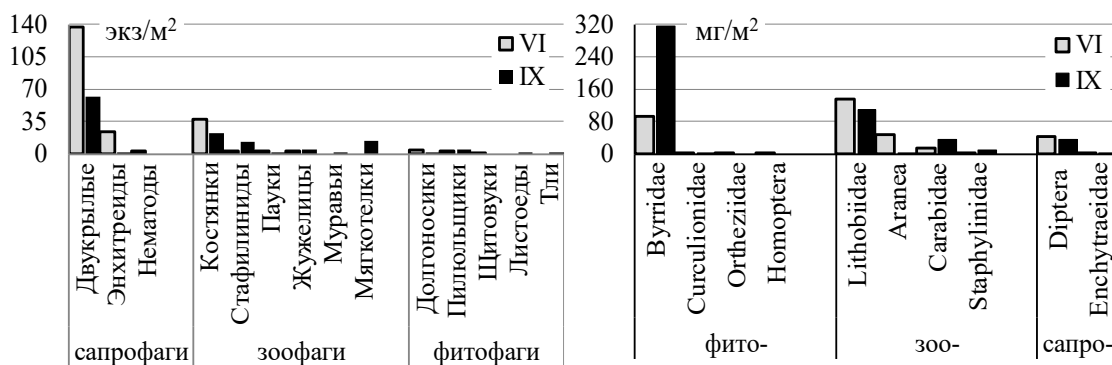


Рисунок 3.32 – Численность (слева) и биомасса (справа) беспозвоночных основных трофических групп в петроземах пояса гольцовых пустынь в начале (июнь) и конце (сентябрь) вегетационного сезона

Сапрофильный комплекс, наряду с микроартроподами, представлен личинками двукрылых (Diptera) и мелкими червями – нематодами (Nematoda) и энхитреидами (Enchytraeidae). Ключевая группа почвенных сапрофагов – дождевые черви (Lumbricidae) в слабо развитых петоземах гольцового пояса Хибин не выявлена ни за трехлетний период нашей работы на разных плато, ни в прежние годы (Zenkova, Rapoport, 2014). Среди фитофагов разнообразны грызущие жесткокрылые (щелкуны Elateridae, Chrysomelidae, Curculionidae, бριοфаги-пилюльщики Byrrhidae), тогда как сосущие фитофаги (Aphidoidea, Thysanoptera, Diaspididae) единичны. К беспозвоночным с хищным типом питания относятся пауки (Aranei), многоножки-костянки (Lithobiidae), имаго и личинки жуков мягкотелок (Cantharidae), жужелиц (Carabidae) и стафилинид (Staphylinidae).

Непрерывный отлов беспозвоночных методом почвенных ловушек с формалином на протяжении 60 суток в основных растительных ассоциациях на плато Айкуайвенчорр в полевой сезон 2023 г. позволил расширить список обитателей пояса холодных гольцовых пустынь Хибин до 22-х таксономических групп, в том числе за счет муравьев, обитание которых в этом поясе отмечено нами впервые (Зенкова и др., 2021). За июль-сентябрь было учтено около 1,5 тыс. экз. беспозвоночных при количественном

преобладании насекомых (72%) над многоножками (15%) и паукообразными (13%). Среди паукообразных панцирные клещи (Oribatida) и пауки доминировали над сенокосцами и клещами других групп (54 и 22%). Среди насекомых преобладали представители отрядов жесткокрылых (Coleoptera), перепончатокрылых (Hymenoptera) и двукрылых (Diptera): 27, 25 и 21% соответственно, среди жесткокрылых – хищные стафилиниды и жужелицы по 41% (рисунок 3.33).

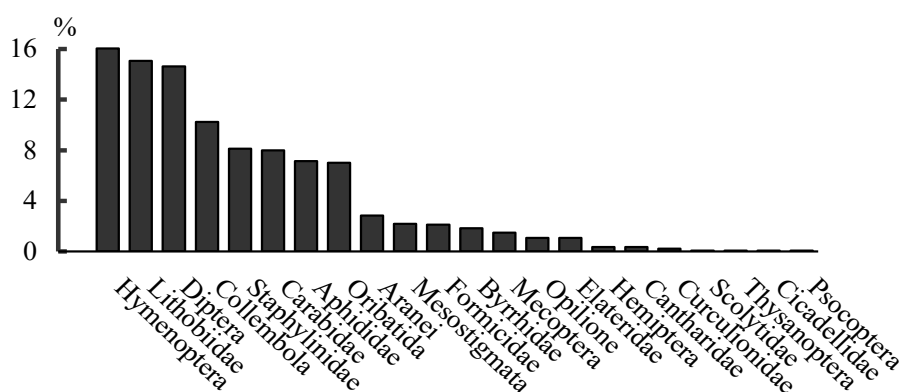


Рисунок 3.33 – Доля беспозвоночных, учтенных почвенными ловушками на плато Айкуайвенчорр в июле–сентябре 2023 г. (% от общего улова)

Варьирование общей динамической плотности беспозвоночных было трехкратным: от 150 экз./100 лов-сут. в мохово-лишайниковых подушках с примесью осоки и ожики до 50 экз./100 лов-сут. в тонком покрове мхов, что соответствовало различиям в численности беспозвоночных и в почвенных пробах под этими типами растительности.

Соотношение взрослых (имаго) и личиночных стадий жесткокрылых в почвенных пробах и ловушках позволило сделать вывод о достоверном размножении и развитии в поясе гольцовых пустынь Хибин представителей трех семейств: фито-сапрофагов щелкунов, бриофагов пилюльщиков и хищных жужелиц. Обильные стафилиниды, малочисленные хищные мягкотелки и единичные фитофаги долгоносики, листоеды и короеды в разные годы исследований были представлены только имаго, что свидетельствует о временном (миграционном) характере пребывания этих жуков в экосистемах пояса.

Из 9 видов жужелиц, учтенных почвенными ловушками на плато Айкуайвенчорр, 8 видов впервые отмечены в поясе гольцовых пустынь, из них три вида из родов *Bembidion* и *Nebria* ранее не указывались для Хибин и теперь известны с предельных высотных отметок этого горного массива. Находки имаго шести лесных мезофильных

видов в единственном экземпляре также могут свидетельствовать о миграционном характере их пребывания на плато. Напротив, жужелицы рода *Nebria* были представлены как взрослыми жуками, так и десятками личинок (54 экз.) трех возрастных групп, что свидетельствовало о прохождении жужелицами этого рода полного цикла развития в почвенном покрове пояса гольцовых пустынь (рисунок 3.34). В полевой сезон 2023 г. развитие личиночных стадий жужелиц рода *Nebria* протекало в диапазоне *средних* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки 5,5...10,4 $^{\circ}\text{C}$ и при *сумме положительных* $T^{\circ}\text{C}$, составившей 975 $^{\circ}\text{C}$ на конечную дату отлова 19.09.23.



Рисунок 3.34 – Имаго (а) и личинки жужелиц рода *Nebria* (б), учтенные почвенными ловушками на плато Айкуайвенчорр в июле–сентябре 2023 г.

Обильные многоножки были представлены одним хищным видом *Lithobius (Monotarsobius) curtipes* (C.L. Koch), имеющим крайне северные, среди многоножек, пределы распространения на материковой части и островах Фенноскандии, Европейского Севера и Енисейской Сибири России (GBIF). Постоянное присутствие во фрагментарном почвенно-растительном покрове пояса гольцовых пустынь таких влаголюбивых обитателей лесной подстилки, как косянки и стафилиниды, объясняется высокой атмосферной влажностью гольцовых пустынь Хибин и является особенностью населения беспозвоночных этого пояса (рисунок 3.35).



Рисунок 3.35 – *Lithobius (Monotarsobius) curtipes* (C.L. Koch), уценные почвенными ловушками на плато Айкуайвенчорр в июле–сентябре 2023 г.

Несмотря на фрагментарную растительность, проективное покрытие которой составляет лишь 1–25% (Данилова и др., 2022), малую мощность формирующихся под растительностью примитивных почв – петроземов, их длительное промерзание (не менее 200 дней в году) и короткий вегетационный сезон, в поясе холодных гольцовых пустынь Хибин формируются таксономически разнообразные комплексы беспозвоночных, наиболее многочисленные в осоково- и ракомитриево-дриадово-лишайниковых сообществах, сглаживающих колебания $T^{\circ}C$ и поддерживающих ее положительные значения в почве еще две–три недели после устойчивого снижения среднесуточной $T^{\circ}C$ воздуха до слабоотрицательных значений.

Обобщенный анализ по 32 исследованным участкам Хибин не выявил достоверной зависимости распространения беспозвоночных от ключевых горных факторов – высоты, экспозиции склонов и высотной поясности почвенно-растительного покрова: коэф. множественной регрессии R^2 не превысил 0,42 для зависимости числа таксонов от этих факторов и 0,11 для динамической плотности беспозвоночных (рисунок 3.36).

Это можно объяснить, с одной стороны, небольшой высотной протяженностью Хибинских гор и их растительных поясов, позволяющей животным свободно мигрировать между поясами в поисках более благоприятных местообитаний, с другой стороны, — разнонаправленными (нисходящими и восходящими) высотными трендами температуры на разных горах, которые связаны с известной для Хибин спецификой движения воздушных масс и выявлены нашими исследованиями для почвенных температур.

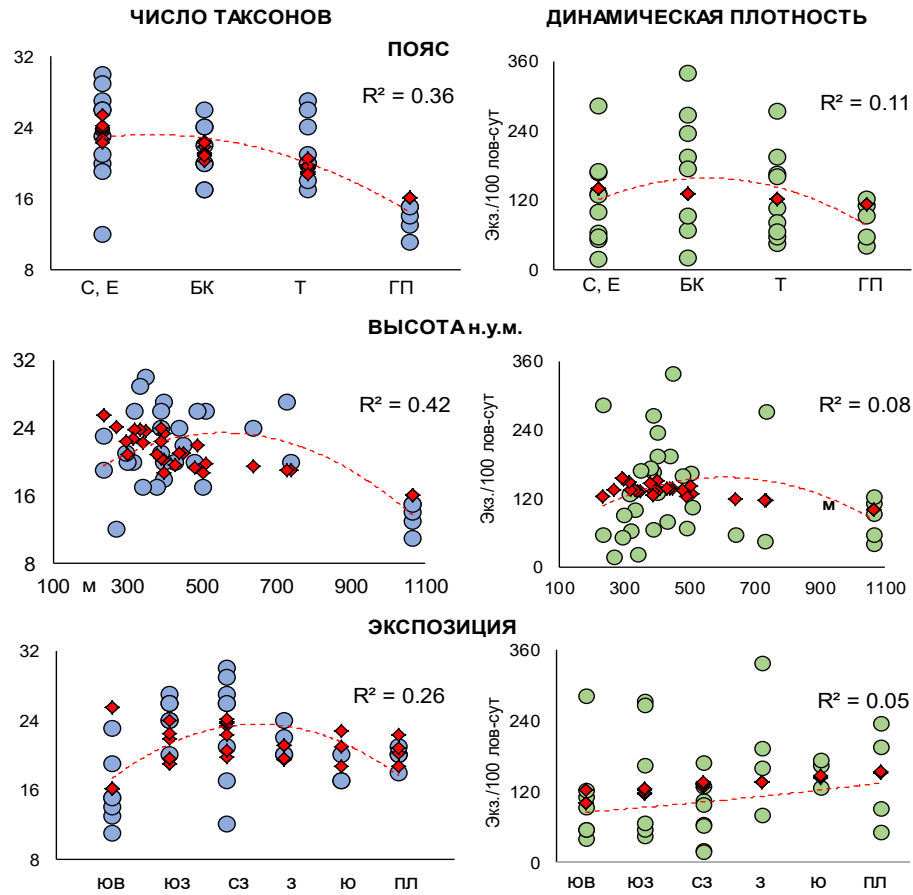


Рисунок 3.36 – Общие тренды распространения числа таксонов и динамической плотности беспозвоночных в Хибинах от факторов горного ландшафта

В то же время очевидны два основных тренда распространения беспозвоночных в Хибинах: 1 – снижение числа таксонов и плотности беспозвоночных от горно-лесных поясов и горных тундр к поясу холодных гольцовых пустынь; 2 – формирование наиболее таксономически разнообразных и многочисленных комплексов беспозвоночных в высотном диапазоне 340–500 м над ур.м., преимущественно – на склонах западной экспозиции. Этому высотному диапазону на разных горах в разных частях Хибинского массива могут соответствовать как хвойные редкостойные леса (например Куэльпорр, Партомчорр, Суолайв), так и берзовые криволесья (Юкспорр, Ловчорр, Айкуайвенчорр, Суолайв) или горные тундры (Ловчорр, Юмечорр, Суолайв, Юкспорр), прогреваемые в летний сезон до средних $T^{\circ}\text{C}$ подстилки 12,0...15,5 $^{\circ}\text{C}$ и максимальных $T^{\circ}\text{C}$ 15,9...22,7 $^{\circ}\text{C}$. Менее разнообразно население лесных почв в основании склонов, слабее прогреваемых летом и сильнее промерзающих зимой,

независимо от высоты над ур. м. (270–490 м), экспозиции и растительного пояса (горно-теажный или пояс березовых криволесий).

Обобщая исследованные показатели температуры, как основного фактора, лимитирующего естественное разнообразие биоты в высоких широтах в целом и в заполярных горах в частности, можно заключить, что повышенные значения таксономического разнообразия и численности беспозвоночных на высотах 340–500 м соответствуют следующим температурным диапазонам почвы: средней $T^{\circ}C$ вегетационного сезона 8...12 °C, максимальной $T^{\circ}C$ 14...16 °C, сумме и числу дней с положительными $T^{\circ}C$: 500...800°C и 50...90 сут, сумме и числу дней с активными $T^{\circ}C$: 300...350°C и 20...50 сут.

Глава 4. НАСЕЛЕНИЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И УСЛОВИЯ ИХ ОБИТАНИЯ НА ГОРНЫХ ВЫРУБКАХ И ГАРЯХ

Обсуждаются разнообразие, численность (экз/м²) и динамическая плотность (экз. 100 лов. сут) населения беспозвоночных и условия их обитания (химический состав и температурные показатели почв) на сети из 4-х смежных участков в межгорной долине Кунийок на севере Хибин, представляющих три варианта трансформации горно-таежного леса (контрольный сосняк, С), в горелом сосняке (*ГС*, гарь 2013 г.), на вырубке (*В*, сплошная нерасчищенная промышленная рубка 2012 г.) и на нарушенной два года подряд горелой вырубке (*ГВ*, 2012, 2013 гг.), исследованные с трехлетней периодичностью спустя 2 (2015 г.), 5–6 лет (2018 г.) и 9–10 лет после воздействия.

4.1 Химические показатели как индикаторы нарушенных почв

Сравнительный анализ химических (содержания органического вещества (ОВ), общего азота, углерода, фосфора, калия, кальция и магния) и физико-химических (зольность и рН_{Н2О}) показателей установил, что к концу первого десятилетия эти показатели не достигли контрольных величин, но особо выделяются участки гарей.

После выгорания лесной подстилки содержание органического вещества (ОВ) и биогенных элементов в ней снизилось. В 2015 г. потери ОВ на гарях *ГС* и *ГВ* не превысили 75% против $88,4 \pm 5,0$ % в контрольном *С*. Снижение доли общего углерода с 50 % (контрольный *С*) до 36–39 % (*ГС* и *ГВ*) и азота с $1,3 \pm 0,1$ % до 0,8–0,9 % привело к расширению соотношения С:N до 43 (*ГС* и *ГВ*) против 37 (*С*). Достоверное повышение зольности подстилки с $11,6 \pm 5$ % (*С*) до 20–30 % (*ГС* и *ГВ*) вызвало подщелачивание почвенного раствора с рН водн. $3,8 \pm 0,1$ (*С*) до 4,2–4,6.

Десятилетие спустя, в 2021 г., почвы всех нарушенных участков, по-прежнему, отличались от контрольного горно-таежного леса меньшим содержанием ОВ (64–83 %), общего углерода (37–44 %) и азота (0,8–1,2 %) (рисунок 4.1 а-в). Почвы обеих гарей *ГС* и *ГВ* уступали негорелым подстилкам контрольного сосняка *С* и вырубки *В* как по содержанию С и N, так и важных элементов питания растений – калия К и фосфора Р (рисунок 4.1 г, д). Достоверно наименьшие значения перечисленных показателей, а также магния Mg (рисунок 4.1 ж), были на дважды нарушенной *ГВ*. Напротив, концентрации Са, Mg (за исключением участка *ГВ*) и зольность были выше в почве всех

нарушенных участков (рисунок 4.1 ж–з), что отразилось на достоверном подщелачивании нарушенных почв до средних pH_{H_2O} 4,1–4,6 против $3,7 \pm 0,1$ в контрольном *C* (рисунок 4.1 и).

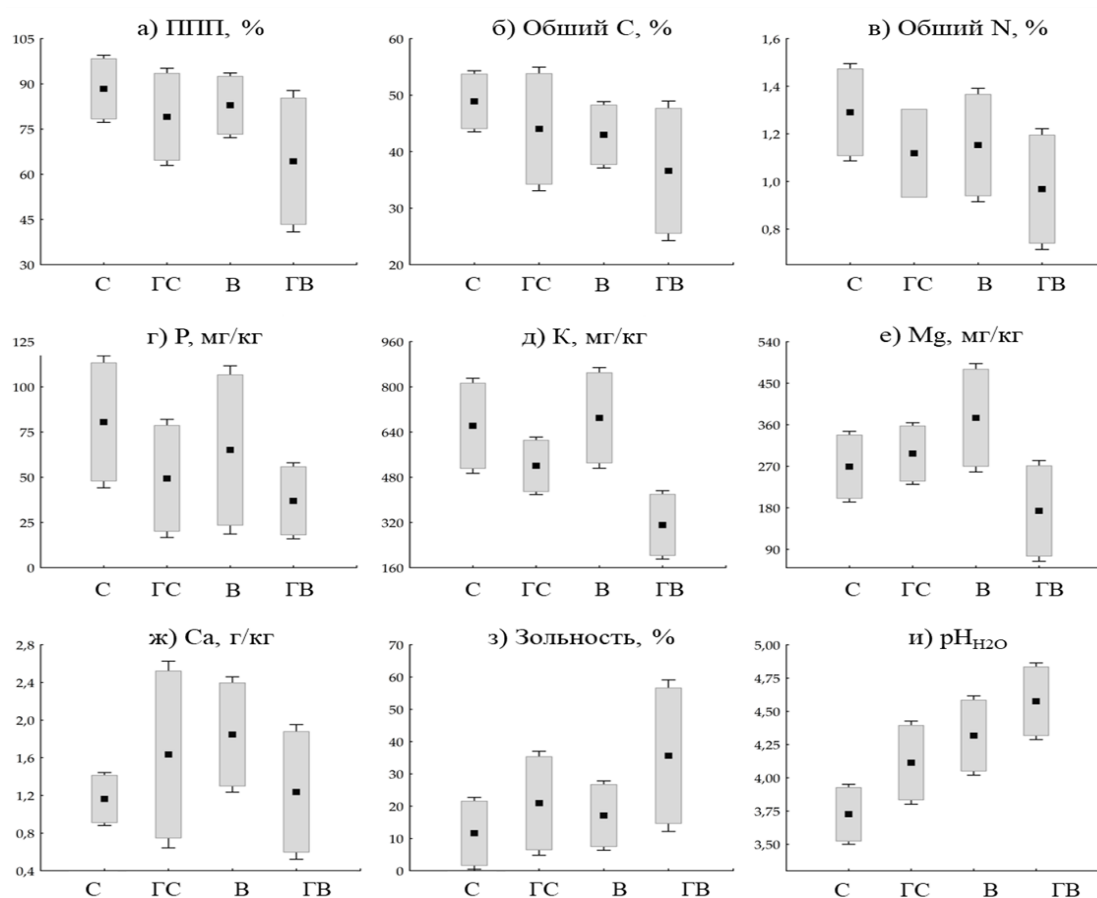


Рисунок 4.1 – Химические и физико-химические свойства почв на участках в долине Кунийок в 2021 г. (9 лет после вырубki и 8 лет после пожара)

Заметное снижение содержания органического вещества, потери гумуса по всему почвенному профилю и изменения в морфологическом профиле лесных почв в результате выгорания подстилки и верхнего гумусового горизонта при низовых пожарах неоднократно отмечались в литературе (Сапожников и др., 2001; Голощапова, Калининко, 2012; Горбунова, Девятова, 2013; Богородская и др., 2023).

Более значительные потери калия К и фосфора Р на обоих горелых участках *ГС* и *ГВ* по сравнению с негорелой вырубкой *В* свидетельствовали о первостепенном влиянии фактора пожара на снижение аккумуляции этих биогенных элементов в нарушенных подстилках и усиление их выщелачивания и вымывания из верхних горизонтов почвы в условиях влажного горного микроклимата и промывного режима почв (Ушакова, 1979; Переверзев и др., 1979; Краснощеков, 2014; Козаренко, Семенов, 2016). Подвижности и

миграции К, Р, N и большинства катионов вниз по почвенному профилю также способствует послепожарное подщелачивание почвенных растворов на фоне повышения их зольности (Тарасов и др., 2011). Снижение содержания К и Р, наряду с повышенным Са и Mg в верхнем слое нарушенных почв по сравнению с контрольным сосновым лесом, также можно объяснить сменой видового состава хвойных древесных пород лиственными в процессе самозарастания. Показано, что лиственные породы, произрастающие в Мурманской области, отличаются высоким содержанием минеральных элементов в ассимилирующих органах и имеют более высокзольный опад, чем хвойные. Из зольных элементов в листьях преобладают Са и К, концентрация Mg достигает 2,4 г/кг против 900 мг/кг в хвое сосны (Лукина, Никонов, 1996; Сухарева, 2012). В Хибинских горах биогеохимической особенностью является повышенное накопление К, Na, Mn и Р в хвое елей и Са–Mg в листьях берез *Betula pubescens* Ehrh. и *Betula tortuosa* Ledeb. (Рябцева, 1968).

Таким образом, сравнительный анализ химических и физико-химических показателей в почвах мониторинговых участков показал, что к концу десятилетия после пожара и вырубке почвы всех нарушенных участков отличались от контроля меньшим содержанием ОВ, общего С и N. При этом среди нарушенных участков обе гари (ГС и ГВ) отличались от негорелой В бóльшими потерями органического вещества, общего углерода, азота, калия, кальция и фосфора и более высокими значениями зольности, что свидетельствовало о большем влиянии фактора пожара в трансформации химических свойств подстилки. Среди гарей, нарушенные 2 года подряд ГВ, отличалась наименьшими показателями ОВ, углерода, калия, азота и фосфора.

4.2 Годовая динамика температуры нарушенных почвенных профилей

Сравнение годовой динамики температуры в почвенных профилях контрольного горного сосняка и трех вариантов его трансформации выявило закономерности, специфические для межгорной речной долины и, следовательно, общие для 4-х участков:

- смену двух трендов распределения температуры по почвенному профилю: положительного, в виде снижения среднемесячных $T^{\circ}\text{C}$ от более прогретой подстилки (5 см) к нижним минеральным горизонтам (40 см) на протяжении 4-х месяцев с мая по август, и отрицательного, на протяжении 8-ми месяцев, в виде более быстрого осеннего

остывания верхних горизонтов на глубине 5, 10 см (с сентября) по сравнению с глубинами 15, 20 см и их зимнего промерзания с ноября (на глубине 5, 10 см) – декабря (на глубине 15, 20 см) по апрель (рисунок 4.2, 4.3, таблица 4.1);

- наличие дополнительного периода промерзания подстилки в начале декабря (до абсолютных минимумов $-3,4 \dots -5,2$ °C), наряду с февральским периодом минимальных температур ($-1,5 \dots -2,9$ °C), характерным для ненарушенных почв на склонах Хибин;

- положительные *среднегодовые* $T^{\circ}C$ подстилки (в диапазоне $1,4 \dots 2,8$ °C) при ее промерзании до отрицательных среднемесячных $T^{\circ}C$ ($-0,1 \dots -1,7$ °C) с ноября–декабря по апрель;

- поддержание *положительные* $T^{\circ}C$ на протяжении всего года на глубине 40 см: от $0,5 \dots 10,5$ °C в контрольном сосняке *C* до $0,5 \dots 11,9$ °C на нарушенных участках (таблица 4.1).

Преобладание в почвах горной долины, как и в почвах всех поясов на склонах Хибин, процесса излучения тепла, накопленного в летний период, при котором температура почвы превышала температуру атмосферного воздуха, соответствует представлениям о преобладании отрицательного температурного градиента в летний сезон и положительного – в зимний в таежных подзолах Карело-Кольской провинции по классификации В.Н. Димо (1972).

На общие проявления температурной динамики накладывались различия, связанные со степенью нарушения горных почв рубкой и пожаром.

Так, в осенний период на глубинах 5 и 10 см температурные различия были выражены между почвами вырубков (*B* и *ГВ*) и лесных участков (*C* и *ГС*), когда почвы под древостоями остывали позднее, дольше сохраняя летнее тепло, а на глубинах 15 и 20 см – между горелыми (*ГС* и *ГВ*) и негорелыми участками (*C* и *B*), когда минеральные горизонты почв, нарушенных пожаром, остывали быстрее.

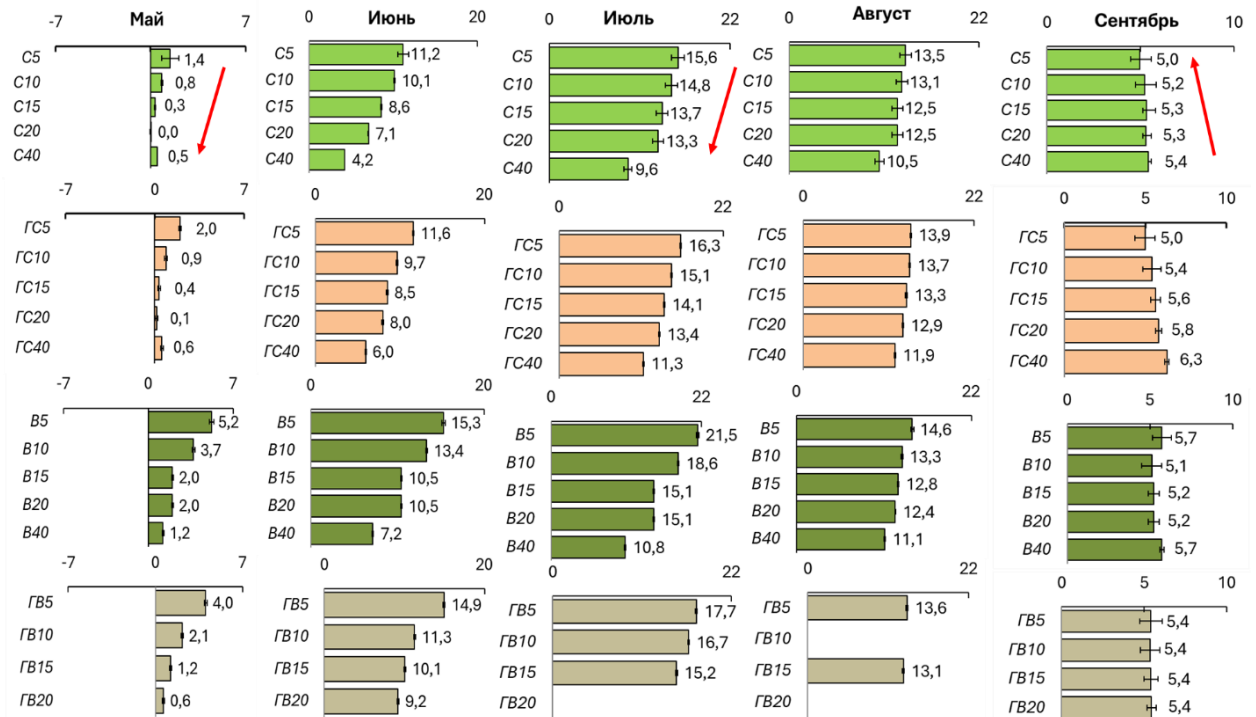


Рисунок 4.2 – Положительный тренд средних температур в профиле горных почв в долине Кунийок в мае – августе и переход на отрицательный тренд в сентябре.

По оси ОУ указана глубина закладки термохронов. Участки: С – контрольный сосняк;

ГС – горелый сосняк; В – вырубка; ГВ – горелая вырубка

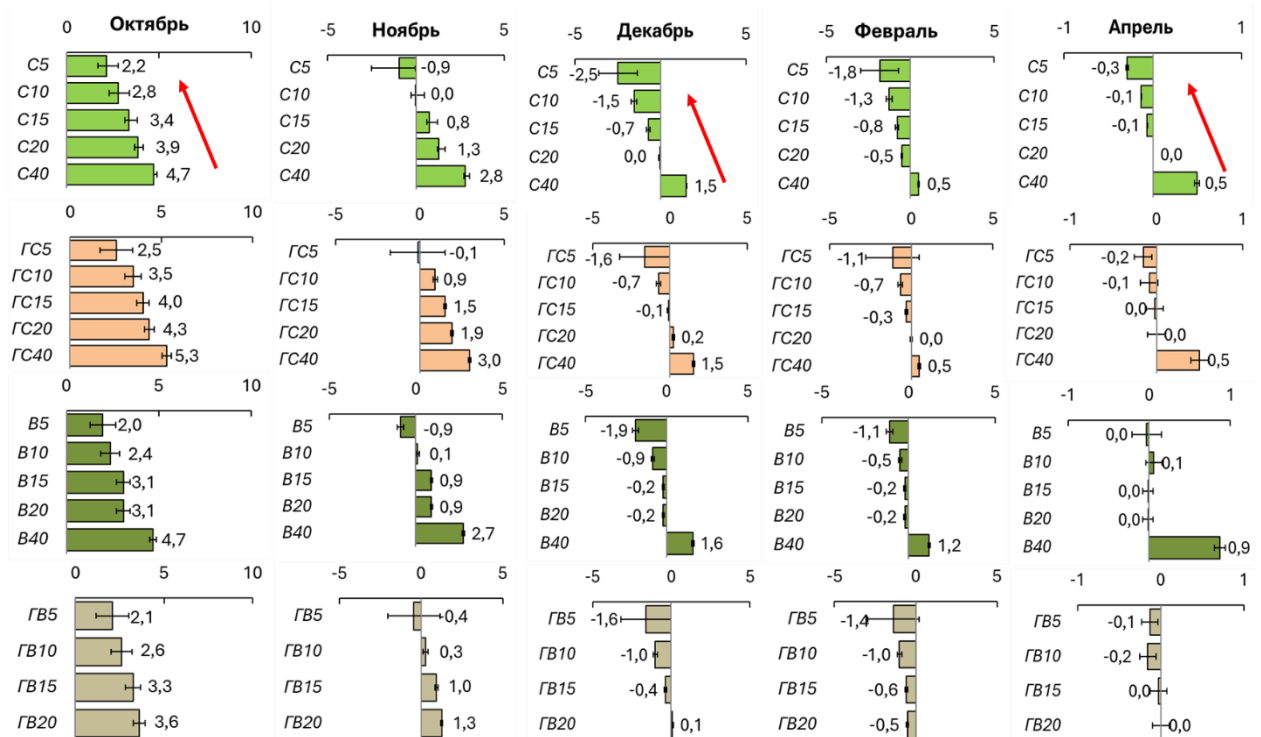


Рисунок 4.3 – Отрицательный тренд средних температур в профиле горных почв в долине Кунийок с сентября по апрель

Даты осеннего и весеннего перехода почвенных $T^{\circ}C$ через пороговое значение $0^{\circ}C$ и последовательность участков по срокам их промерзания и оттаивания в 2022 (9–10 лет после нарушений) и 2023 году (10–11 лет) показаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Даты устойчивого перехода температуры через порог $0^{\circ}C$ (промерзание и оттаивание) в профиле горных почв в долине Кунийок к концу первого десятилетия после нарушений

h, см	Переход $T^{\circ}C$	Годы	Участки				Последовательность участков*
			C	$ГC$	B	$ГB$	
5	(промерзание) $< 0^{\circ}C$	2022	9.11	14.11	18.10	19.10	$B, ГB < C < ГC$
		2023	20.11	8.11	3.11	3.11	$B, ГB < ГC < C$
10		2022	23.11	29.11	14.11	19.11	$B < ГB < C < ГC$
		2023	21.11	20.11	30.11	8.11	$ГB < ГC = C < B$
15		2022	29.11	7.12	5.12	30.11	$C < ГB < B < ГC$
		2023	2.12	21.11	н.п.	20.11	$ГB = ГC < C$
20		2022	9.12	н.п./	5.12	6.12	$B = ГB < C$
		2023	н.п.	13.12	26.02	21.11	$ГB < ГC < B$
40	н.п.	2022	0,5...9,2	0,5...10,5	0,5...11,2	н/д	$B < ГC < C$
		2023	0,0...8,2	0,5...8,5	0,3...8,1	н/д	$B < ГC < C$
5	(оттаивание) $\geq 0^{\circ}C$	2022	21.05	15.05	19.04	20.04	$B = ГB > ГC > C$
		2023	6.05	20.04	8.04	12.04	$B > ГB > ГC > C$
10		2022	19.04	20.04	21.03	14.05	$B > C = ГC > ГB$
		2023	17.03	17.05	8.04	20.04	$C > B > ГB > ГC$
15		2022	19.04	12.04	21.04	13.04	$ГC = ГB > C > B$
		2023	22.04	6.05	н.п.	21.04	$ГB = C > ГC > B$
20		2022	22.03	н.п.	20.04	23.03	$ГC > C = ГB > B$
		2023	21.05	11.04	21.05	21.04	$ГC > ГB > B = C$

Примечание: *указана последовательность участков по срокам их промерзания и оттаивания; н.п. – не промерзает, н/д – нет данных

В зимний период (ноябрь–апрель) на глубинах 5 и 10 см были выражены различия между горячими ($ГC$ и $ГB$) и негорелыми участками (C и B): последние меньше промерзали под мощной мохово-кустарничково-лишайниковой подстилкой (рисунок 4.4).

Значимыми факторами промерзания почвенных горизонтов являются мощность снегового покрова и время его устойчивого формирования в осенний период. Лесной полог влияет на становление снегового покрова, задерживая часть выпадающего снега на ветвях хвойных древостоев (Буренина и др., 2013). По сравнению с вырубками в еловых лесах мощность снегового покрова на 15–43% меньше, что является причиной большего промерзания почв в лесах по сравнению с открытыми рубками (Дымов, 2020).

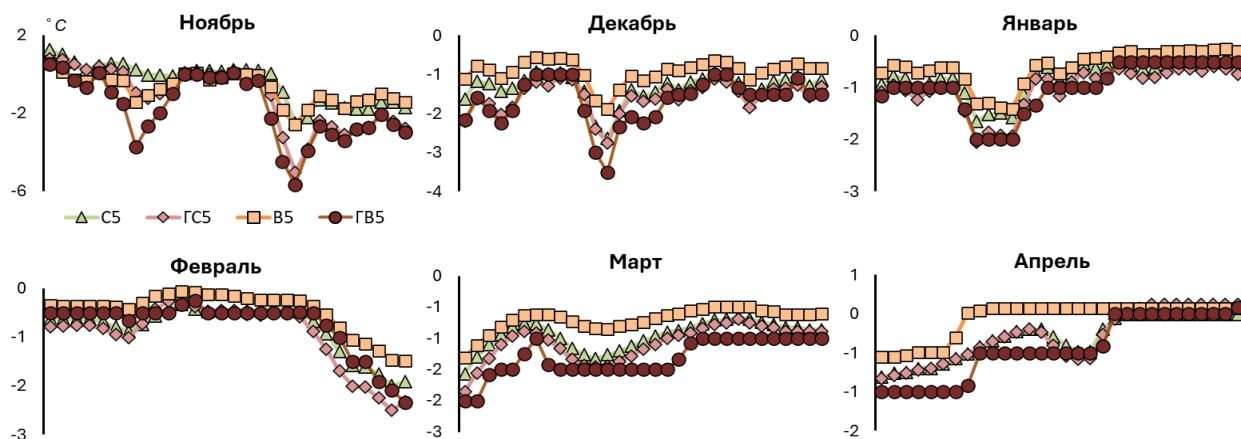


Рисунок 4.4 – Динамика отрицательных температур в годовом цикле на глубине почв 5 см на участках долины Кунийок

Исходя из этого, можно было предположить меньшую степень промерзания двух соседних вырубок, горелой *ГВ* и негорелой *В*, из-за образования более мощного снегового покрова на этих обширных открытых территориях по сравнению с лесными *С* и *ГС*. Однако, наши данные показали, что меньше всего промерзали контрольный *С* и вырубка *В*, т. е. участки с мощной негорелой подстилкой. Следовательно, несмотря на вероятное формирование более толстого снегового покрова на соседних вырубках, обильно заваленных стволами деревьев, именно сохранение лесной подстилки, выполняющей терморегулирующую функцию, препятствовало зимнему промерзанию почвы на негорелой вырубке *В*.

В весенний период различия в сроках оттаивания на разных глубинах также были выражены между разными парами участков: на 5 и 10 см – между лесами (*С* и *ГС*) и быстрее оттаивающими вырубками (*В* и *ГВ*), а на 15 и 20 см глубине – между участками с негорелой подстилкой (*С* и *В*) и раньше оттаивающими гарями (таблица 4.1).

В июле различия с $T^{\circ}\text{C}$ более прогретого воздуха были достоверны на всех исследованных глубинах почвенных профилей 15–40 см ($T_{st} \geq 2,96$, $p \leq 0,05$) (Штабровская, Зенкова, 2022). Тренд снижения $T^{\circ}\text{C}$ от верхних горизонтов почвы к нижним был сходным на четырех участках (рисунок 4.2), однако перепад среднемесячных $T^{\circ}\text{C}$ от органогенного (5 см) до минерального горизонта (40 см) составил 6,1–6,3 $^{\circ}\text{C}$ на участках с сохранившейся подстилкой *С* и *В* и был менее выражен на гарях (5,3 $^{\circ}\text{C}$ в *ГС* и 3,8 $^{\circ}\text{C}$ на *ГВ*) за счет лучшего прогрева и более высоких

T_{max} в верхних горизонтах, нарушенных пожаром (27,4...29,8) (Штабровская, Зенкова, 2022).

Из литературных источников известно, что строгого соответствия между температурами лесной подстилки и подлежащего подзолистого минерального горизонта не наблюдается. Температура подзолистого горизонта может быть и выше, и ниже температуры подстилки, что объясняется особенностями суточного хода температуры в разных горизонтах почвы (Пушкина, 1960). Повышение температуры на 1,5–2 °C в верхних минеральных слоях песчаных почв в первые годы после пожара неоднократно отмечалось в литературе (Vermeire et al. 2005; Bezkorovaynaya et al. 2007; Santana et al., 2010; Sharrow, Wright, 1977; Vermeire et al., 2005). Такое повышение активизирует биологические процессы (Безкороваяная и др., 2005; Allison et al., 2010; Guenon et al., 2013) и может стимулировать бурный рост сеянцев, восстанавливая растительные сообщества на постпирогенных территориях (Santana et al., 2010). Продолжительность этого послепожарного эффекта зависит от скорости восстановления (смыкания) растительного покрова и лесной подстилки, а также от особенностей механического состава и физических свойств почвы (Пушкина, 1960). Из-за специфических особенностей микроклимата заполярных Хибин в целом и межгорной долины в частности, эффект лучшего прогрева минеральных слоев почвы в ГС мы наблюдали и через 10 лет после пожара.

В августе температурные различия на разных глубинах почвенных профилей сглаживались на всех нарушенных участках, среднемесячные величины глубинных перепадов $T^{\circ}C$ снижались до 1,6...2,3 °C. Тренд лучшего прогрева почвенного профиля по сравнению с контрольным С сохранялся на двух нарушенных участках ГС и В. На ГВ, почвенный покров которой был лишен подстилки и эродирован до минеральной массы, уже наблюдалось остывание верхних слоев до глубины 15 см на 0,6–0,8 °C по сравнению с 20 см. Этот факт подтверждает теплорегулирующую функцию лесной подстилки (Пушкина, 1960; Мелехов, 1980; Семко, 1982; Карпачевский, 1981; Ильина, Сапожников, 2007; Лукина и др., 2010) и важность ее сохранения для поддержания теплового баланса почвы при разных видах нарушений.

В сентябре, на фоне остывания верхних горизонтов, достоверные различия с $T^{\circ}C$ воздуха регистрировали на всех участках с глубины 10 см и ниже ($T_{st} \geq 2,86$ при $p \leq 0,05$), а более прогретым профилем выделялся ГС, в котором средние $T^{\circ}C$ сентября были

выше, чем на остальных участках на 0,2...1,4 °С, главным образом, за счет более высоких T_{max} : 8,0...9,4 °С на разных глубинах против 7,5...8,2 °С в *С* и 6,5...8,8 °С на вырубках *В* и *ГВ*.

В целом, средняя за июль–сентябрь 2022 г. $T^{\circ}C$ горных почв на глубинах 5, 10, 15, 20 и 40 см варьировала в пределах 9,3...12,0 °С и была наименьшей в профиле контрольного *С*: 7,6...10,9 °С (рисунок 4.5).

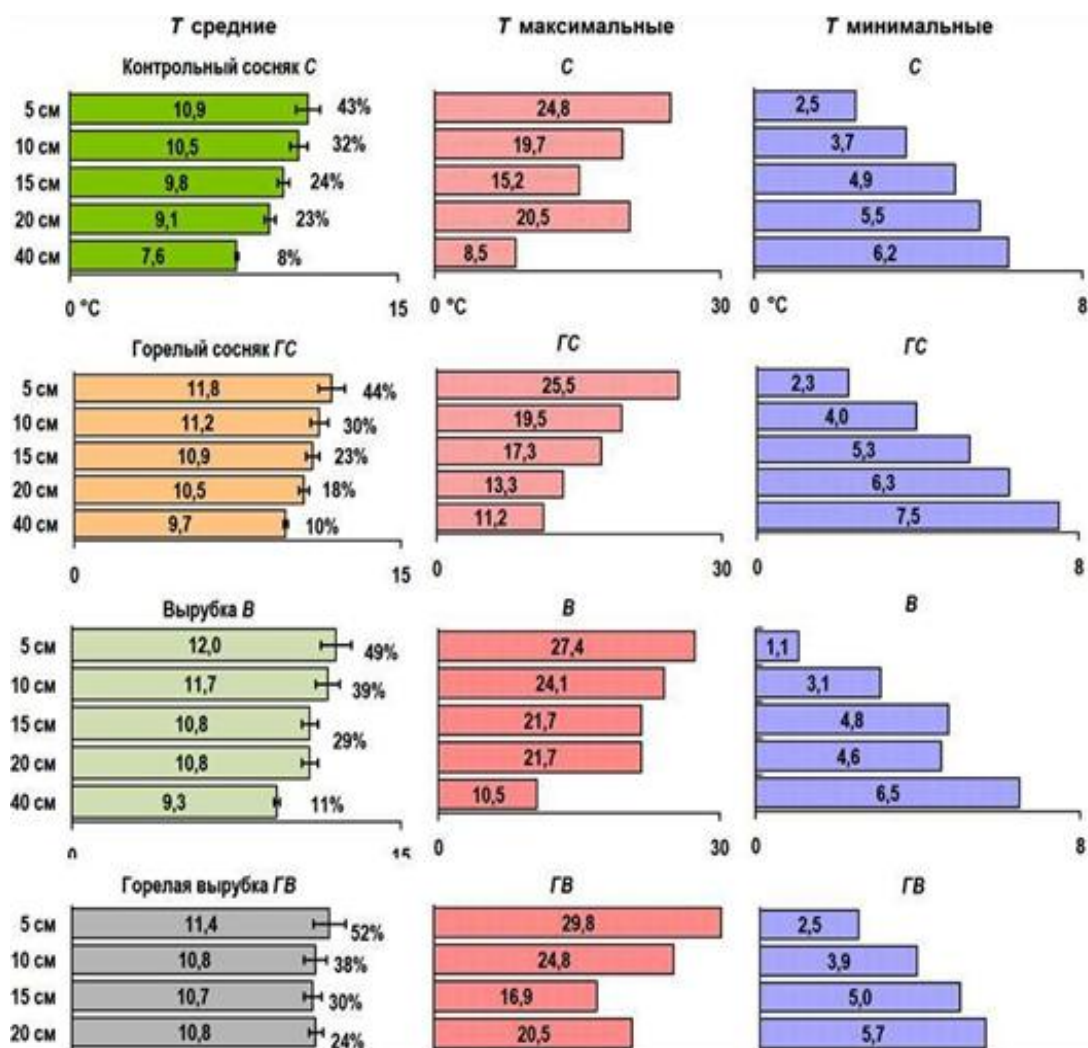


Рисунок 4.5 – Распределение средних, максимальных и минимальных температур в профиле нарушенных горных почв в 2022 г (среднее за 70 суток с июля по сентябрь). В процентах указано сезонное варьирование температуры (коэффициент вариации)

Различия были связаны с T_{max} , которые были выше на разных глубинах нарушенных почв (19,9...29,8 °С против 15,2 °С в *С*) при значениях T_{max} воздуха, сопоставимых на всех участках (27,6...28,4 °С). На горях *ГС* и *ГВ* сезонному изменению $T^{\circ}C$ были более подвержены верхние 5 и 10 см почвы. На участках с негорелой

подстилкой (*C* и *B*) температурная разница между 5 и 10 см была не очевидна, но выражена между 10 и 15 см (последний холоднее на 0,3...0,7 °C). Уменьшение среднесезонной вариабельности $T^{\circ}\text{C}$ с глубиной (от 43 до 10% в профиле почв лесных участков и от 51 до 11% в профиле вырубок) было связано со снижением значений T_{max} и подтверждено соответствующими коэффициентами вариации, более высокими в паре вырубков *B* и *ГВ* (рисунок 4.5) (Штабровская, Зенкова, 2022).

В целом, почвенные профили всех нарушенных участков, в особенности лишенных древостоя вырубков *B* и *ГВ*, были подвержены большей суточной и сезонной вариабельности $T^{\circ}\text{C}$ под влиянием атмосферного воздуха (коэффициент корреляции $r \geq 0,80$) по сравнению с контрольным *C* ($r = 0,78$). Они раньше оттаивали и прогревались до эффективных $T^{\circ}\text{C}$ весной, достигали более высоких T_{max} летом и быстрее остывали осенью: $T < 5^{\circ}\text{C}$ отмечались со второй декады октября, а в затененном контрольном *C* – на 10 суток позднее. Достоверные различия между контролем *C* и тремя нарушенными участками регистрировались с декабря по февраль, когда почва контрольного *C* по всему профилю промерзала сильнее на 0,4...0,8 °C ($T_{\text{st}} \geq 2,70$ при $p < 0,05$) и до более низких T_{min} ($-5,2...-0,5^{\circ}\text{C}$ против $-4,7...0,0^{\circ}\text{C}$ на нарушенных участках), вероятно, из-за накопления под лесным пологом менее мощного снегового покрова. В годовом цикле в целом почвенные профили всех нарушенных участков и особенно вырубков, были теплее контрольного сосняка. Наибольшими сезонными изменениями $T^{\circ}\text{C}$ под влиянием атмосферного воздуха характеризовался биологически активный органогенный горизонт – подстилка (рисунок 4.6).

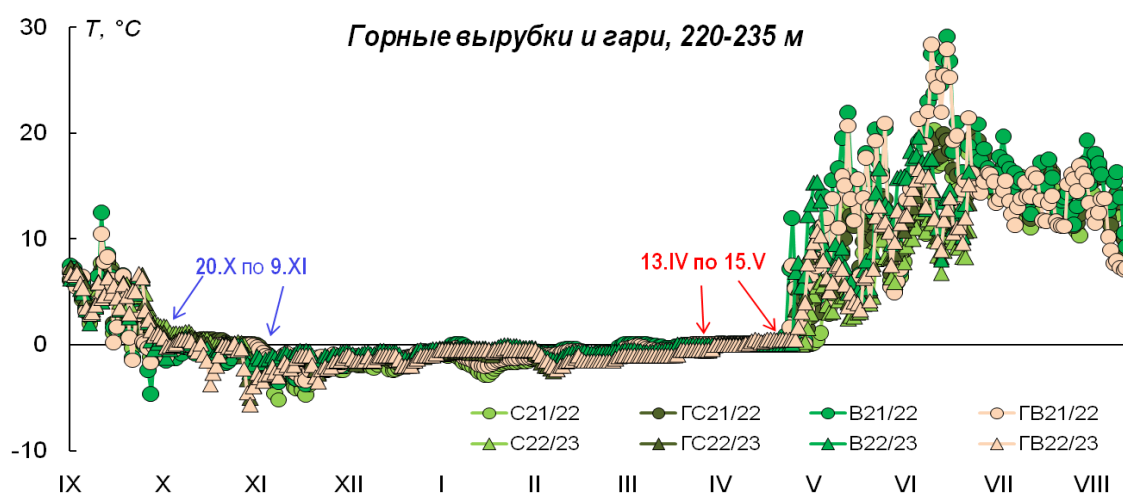


Рисунок 4.6 – Годовая динамика среднесуточной температуры подстилки на глубине 5 см в долине Кунийок в 2022 и 2023 гг.

В июле подстилка всех нарушенных участков прогревалась лучше C , и ее $T^{\circ}C$ сильнее зависела от динамики $T^{\circ}C$ атмосферного воздуха: коэффициент корреляции составил $r \geq 0,99$ для $ГС$, B и $ГВ$ против $r = 0,83$ в C . Абсолютные внутрисуточные максимумы, зарегистрированные в нарушенных почвах долины в июле (22,5...29,8 °C), были наибольшими среди всех ранее исследованных нами почв в разных высотных поясах Хибин (8,5...21,5 °C).

Первые даты осеннего перехода $T < 0^{\circ}C$ в подстилке нарушенных участков отмечались с 14.IX по 14.X, т.е., по сравнению с контрольным C , на 6 суток раньше в $ГС$ и на месяц позже на обеих вырубках. Период с отрицательными $T^{\circ}C$ подстилки составлял на участках долины 5–7 мес или 157–208 сут при большей продолжительности в затемненном контрольном сосняке (таблица 4.2). Это на 1–2 месяца превышало период отрицательных $T^{\circ}C$ (4–5 мес или 120–152 сут) в почвах горно-лесных поясов Хибин разных на высотах 300–500 м над ур. м. на открывающемся в долину Кунийок склоне западной экспозиции горы Куэльпорр в 5 км от нарушенных участков (Глава 3.2.)

Процесс оттаивания подстилки весной наступал на месяц раньше (31–32 сут) на нарушенных участках ($ГС$, B и $ГВ$) по сравнению с контрольным C : 19–20.IV против 21.V. Среди нарушенных участков обе вырубки (B и $ГВ$) прогревались раньше и до более высоких слабopоложительных $T^{\circ}C$ 0,8...5,2 °C по сравнению с $ГС$ (0,6...2,0 °C) (таблица 4.1).

Переход на активные $T^{\circ}C$ подстилки на обеих вырубках регистрировали на 7–17 суток раньше по сравнению с парой лесных участков C и $ГС$: 15–25.V против 1.VI. В июле подстилка всех нарушенных участков прогревалась лучше C , и ее $T^{\circ}C$ сильнее зависела от динамики $T^{\circ}C$ атмосферного воздуха: коэффициент корреляции составил $r \geq 0,99$ для $ГС$, B и $ГВ$ против $r = 0,83$ в C . Абсолютные внутрисуточные максимумы, зарегистрированные, в подстилке нарушенных участков долины Кунийок в июле (22,5...29,8 °C) были наибольшими среди всех ранее исследованных нами почв в разных высотных поясах Хибин (8,5...21,5 °C). Среди нарушенных участков вырубки B и $ГВ$ прогревались на 7...10 °C лучше $ГС$ (до T_{max} подстилки 27,4...29,8 °C против 24,8 °C), но раньше остывали в августе. Всю осень 2022 и 2023 гг. $T^{\circ}C$ контрольной подстилки

была выше 1 °С, околонулевой на горях *ГС* и *ГВ* и только во влажной подстилке негорелой вырубки *В* опускалась ниже нуля (до –1,2 °С).

Среднегодовые $T^{\circ}\text{C}$ подстилки были положительными и поддерживалась в 2022 и 2023 гг. в контрольном *С* на сходном уровне ($1,4 \pm 0,2 \dots 1,5 \pm 0,3$ °С), а на нарушенных участках варьировали в разные годы в диапазоне от $1,6 \pm 0,3$ до $2,8 \pm 0,4$ °С и были достоверно выше (на $0,7 \dots 1,3$ °С) на вырубках *В* и *ГВ* (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Годовые показатели температуры на глубине подстилки 5 см в горных почвах долины Кунийок в 2022 и 2023 гг.

Показатели	Лесные участки		Вырубки	
	<i>С</i>	<i>ГС</i>	<i>В</i>	<i>ГВ</i>
$T_{\text{средняя}} (^{\circ}\text{C})$	1,4* ... 1,5*	1,7...1,9	2,3*...2,8*	1,6...2,6*
$T_{\text{max}} (^{\circ}\text{C})$	12,5...20,4	15,3...19,9	19,7...29,1	16,6...28,3
$T_{\text{min}} (^{\circ}\text{C})$	–5,2...–2,6	–5,0...–3,4	–4,7...–2,6	–5,7...–3,4
Амплитуда ($^{\circ}\text{C}$)	15,2 – 25,5	20,3 – 23,3	22,3 – 33,7	22,3 – 31,7
<i>Число дней в году с температурой выше/ниже пороговых значений</i>				
$T < 0^{\circ}\text{C}$	182...208	161...178	157...166	166...173
$T \geq 0^{\circ}\text{C}$	109...156	130...187	133...198	125...192
$0 \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	42...53	63...68	69...75	65...73
$5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	41...49	36...48	31...43	32...47
$T \geq 10^{\circ}\text{C}$	11...65	30...71	34...80	28...72
<i>Годовая сумма пороговых температур</i>				
$T < 0^{\circ}\text{C}$	–239...–146	–188...–144	–173...–110	–211...–165
$T \geq 0^{\circ}\text{C}$	541...1337	690...1448	786...1718	677...1611
$0 \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	102...110	80...118	76...111	96...118
$5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	293...358	239...341	215...303	223...331
$T \geq 10^{\circ}\text{C}$	122...877	366...989	495...1304	359...1162

Примечание: синим цветом выделены минимальные значения, красным – максимальные.

* достоверные различия среднегодовых температур при $T_{st} \geq 2,55$, $p < 0,05$

4.3 Летняя динамика температуры подстилки

Мониторинг температуры верхнего 5-ти см слоя почв за сходный период с июля по сентябрь (70 сут) за четыре исследованных года (2015, 2018, 2021 и 2022) показал ее значительную изменчивость в многолетней динамике (рисунок 4.7). Это объясняется как естественной вариабельностью метеопараметров, так и расположением участков в межгорной речной долине. Во-первых, она вытянута в меридиональном направлении и продувается арктическими ветрами, во-вторых, подвержена воздействию воздушных масс от широкой холодной горной реки Кунийок. На различия температурной динамики почв по годам и между нарушенными участками влияют и разные стадии сукцессий, сопровождающиеся постепенным вымыванием нагара с поверхности и из верхних

горизонтов почвы на гарях и разной скоростью и густотой восстановления напочвенной растительности и появления березового подроста.

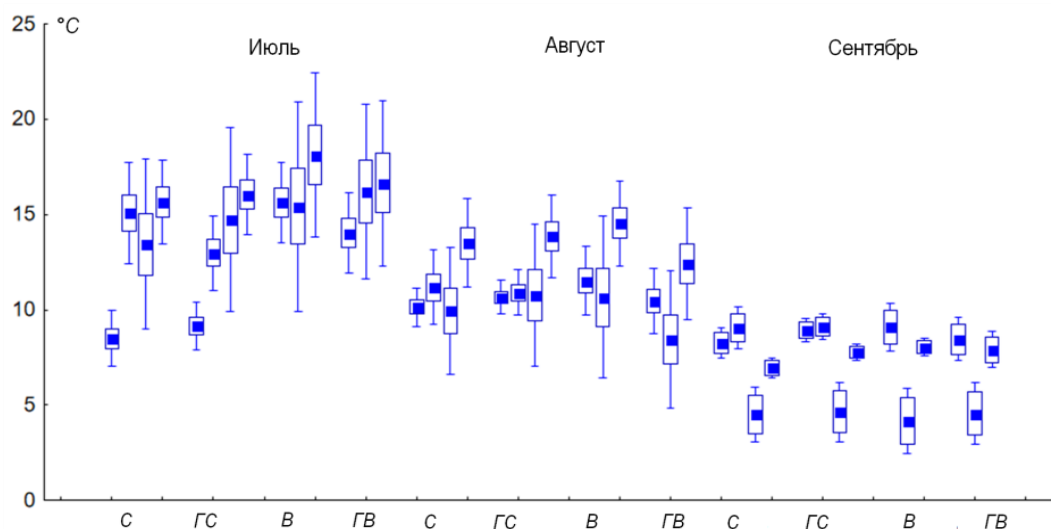


Рисунок 4.7 – Среднемесячные температуры на глубине подстилки 5 см в июле, августе и сентябре в долине Кунийок. Для участков *C* и *ГС* приведено по четыре значения за 2015, 2018, 2021 и 2022 гг., для *B* и *ГВ* – по три значения за 2018, 2021 и 2022 гг.

Так, летом 2015 г., через 2 года после пожара, темноокрашенная протлевшая подстилка *ГС* прогревалась достоверно лучше, чем на соседнем контрольном участке *C* ($T_{st} = 2,63$ при $p = 0,05$). Минимальные, максимальные, средние и общая сумма $T^{\circ}\text{C}$ были выше в *ГС* также из-за разреженного и лишенного крон древостоя и выгоревшего кустарничкового яруса (Приложение Г.1). Считается, что температурный режим пирогенных почв меняется из-за нарушения теплообмена между почвой и атмосферой. Это проявляется снижением альбедо на горелых участках с 18–20% до 10–13% и с более активным ночным излучением тепла, вследствие чего суточные колебания температуры на поверхности горелых почв более контрастны по сравнению с негорелыми участками (Bezkorovaynaya et. all, 2020). Исследования на 45-летних гарях Лапландского заповедника в Мурманской области показали, что в результате пожара происходит сильное иссушение поверхностного слоя подзолистой почвы и его повышение температуры в летний период на 5–7 $^{\circ}\text{C}$ по сравнению с соседними участками негорелого леса (Пушкина, 1960).

За 5 лет в долине произошло вымывание золы из почвенного покрова горелых участков *ГС* и *ГВ*, и в 2018 г. температура была достоверно выше в мощной негорелой

подстилке на участках контрольного сосняка *С* и вырубке *В*, что согласуется с классическими представлениями о терморегулирующей функции лесной подстилки

В июле 2021 г. обе вырубки прогревались на 7...10 °С лучше лесных участков (до T_{max} 27,4 °С на *В* и 29,8 °С на *ГВ* против 25,5 °С в *ГС* и 24,8 °С в *С*), но раньше охлаждались в августе по сравнению с *ГС*. В июле 2022 г. наиболее высокие *средние* и *максимальные* $T^{\circ}C$ были на *ГВ* (Приложение Г.1). В целом, в разные годы наибольшим летним прогревом отличались почвы горелых участков – то горелого леса, то горелой вырубки. Дифференцирующее влияние как на межгодовые различия в динамике $T^{\circ}C$ почв горной долины, так и на различия между участками, оказывал период с *активными* $T^{\circ}C$. В случае теплых сезонов 2018, 2021 и 2022 гг. это были, как правило, две первые недели июля, а в прохладный 2015 г. он смещался на август (с 5 по 26.VIII, всего 22 дня) из-за медленного прогрева горных почв (рисунок 4.8, Приложение Г.1). *Максимальные* $T^{\circ}C$ были выше на открытых вырубках по сравнению с лесными участками: 18,5...29,1 (*В*) и 17,4...29,8 °С (*ГВ*) против 12,0...24,8 (*С*) и 12,6...25,5 °С (*ГС*).

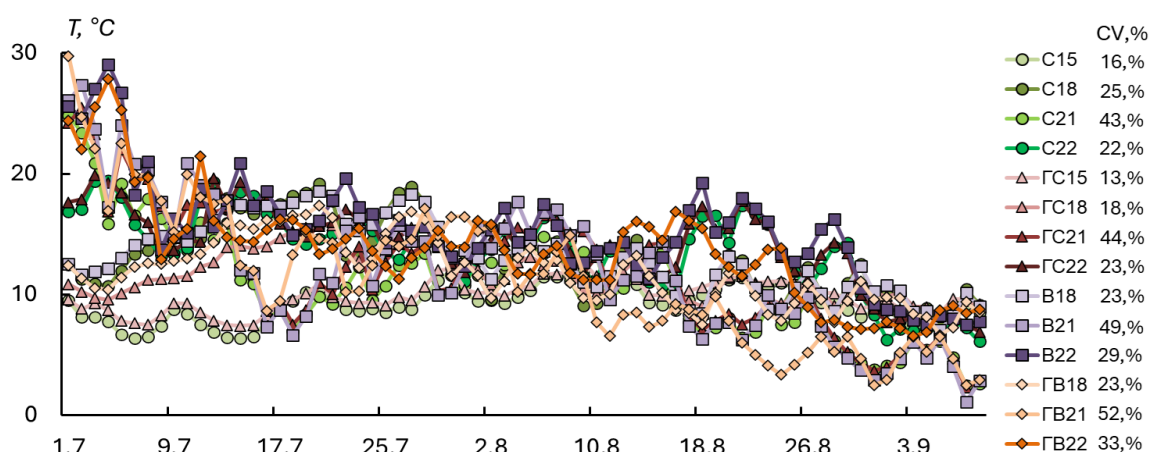


Рисунок 4.8 – Динамика температуры на глубине почвы 5 см на участках долины Кунийок в июле – сентябре 2015, 2018, 2021 и 2022 гг.

В конце августа различия между лесными и открытыми участками, напротив, проявлялись в величине T_{min} , которые были ниже на открытых вырубках *ГВ* и *В*. Большая вариабельность динамики летних температур в почвах вырубок подтверждалась повышенными коэффициентами вариации: 23%...52% против 13%...44% в *ГС* и *С* (рисунок 4.8, Приложение Г.1).

Причиной более низкой $T^{\circ}C$ в *ГС* в июле-августе 2018 г. могла быть высокая влажность подстилки, которая, по показаниям термохронов, в исследованный сезон не

опускалась ниже 95%, составив в среднем $103,5 \pm 0,04\%$. В соседнем контрольном *С* она варьировала от 76% до 108%, составив в среднем $87,5 \pm 1,1\%$.

Увеличение влажности сгоревшей подстилки можно объяснить изменением ее водно-физических свойств в результате пирогенного уплотнения, что неоднократно отмечалось в литературе (Пушкина, 1960; Киселева, 1978; Краснощеков, Сорокин, 1988; Безкоровайная и др., 2005; Тарасов и др., 2008; Назаркина, 2009; Иванов, 2015; Дымов и др., 2015). Сгорание рыхлой подстилки и образование тяжелых компонентов – сажи, частиц угля и золы – уменьшают порозность почвы, зола заполняет почвенные поры, снижая фильтрационные характеристики и водоотдачу почвы и повышая ее влагозапасы. Дополнительно водоотталкивающие свойства почве придают органические продукты пиролиза – гидрофобные ароматические соединения, которые образуются в таежных лесах при сгорании лигнинов и смолистых компонентов, в большом количестве содержащихся в древесине хвойных пород (Цибарт, Геннадиев, 2011; Геннадиев и др., 2015; Цибарт и др., 2016). Показана и роль пирогенного угля в повышении водоудерживающей способности лесных подстилок и верхних минеральных горизонтов, благодаря его высокопористой структуре и способности длительное время сорбировать большое количество влаги на единицу массы (Брянин и др., 2019). Изменение гидрологического режима почв по пути заболачивания считается одним из основных последствий сплошных рубок, особенно на первых стадиях сукцессии и в горных районах (Дмитриев, 1950; Морозова, 2004; Мерзляков, 2008). В средней тайге переувлажнение подзолистых почв проявляется в первые 5–10 лет послерубочной сукцессии даже на автоморфных позициях ландшафта (Лаптева и др., 2015).

Таким образом, пролонгированные измерения с использованием автономных термохронов показали значительную изменчивость температурного режима почв межгорной долины в многолетней динамике и не выявили его устойчивые различия в зависимости от типа нарушения почв.

4.4 Динамика разнообразия беспозвоночных на вырубках и гарях

В 2015 г. (спустя 2–3 года после воздействия) в лесных участках *С* и *ГС* почвенными ловушками отловлены представители 28 таксономических групп. При сопоставимом числе таксонов (22 и 24), достоверно более прогретая на протяжении вегетационного сезона подстилка *ГС* отличалась трехкратным преобладанием общей

плотности беспозвоночных, за счет таких таксонов как: муравьи (Formicidae), пауки (Aranei) и жуки долгоносики (Curculionidae) с суммарной долей 82–89% (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Население беспозвоночных в долине Кунийок в 2015 и 2018 гг. (в порядке убывания относительной плотности в контрольном сосняке, %)

Таксономическая группа	2015		2018			
	<i>C</i>	<i>ГC</i>	<i>C</i>	<i>ГC</i>	<i>B</i>	<i>ГB</i>
Муравьи (Formicidae)	++++	++++	++++	++++	++++	++
Пауки (Aranei)	++++	++	++++	++++	++++	++++
Долгоносики (Curculionidae)	+++	++	++	+	+	+
Перепончатокрылые (Hymenoptera)*	++	+	++	++	+	+++
Стафилиниды (Staphylinidae)	++	+	++	++	+	++
Жужелицы (Carabidae)	++	++	+	+++	+	++++
Цикадовые (Cicadoidea)	++	+	+	+	++	++++
Многоножки (Lithobiidae)	++	+	+	++	+	++
Мягкотелки (Cantharidae)	++	+	+	+	+	+
Клещи-красотелки (Trombidiidae)	++	–	+	+	–	+
Клопы (Heteroptera)	+	+	++	+	+	++
Двукрылые (Diptera)	+	+	+	+	+	++
Щелкуны (Elateridae)	+	+	+	+	+	+
Совки (Noctuidae)	+	+	+	+	+	+
Coleoptera sp.	+	+	+	++	+	–
Моллюски (Gastropoda)	+	+	+	+	+	–
Короеды (Scolytidae)	+	+	+	+	–	–
Усачи (Cerambycidae)	+	+	+	–	+	+
Пилюльщики (Byrrhidae)	+	+	–	+	–	++
Чернотелки (Tenebrionidae)	+	–	++	++	+	+++
Пилильщики (Tenthredinoidea)	+	–	+	++	+	+
Шмели (Bombidae)	+	–	+	–	+	–
Гладкотелки (Leiodidae)	+	–	+	+	–	+
Листоблошки (Psyllidoidea)	+	–	–	+	–	+
Тли (Aphidoidea)	–	+	+	+	+	+
Дождевые черви (Lumbricidae)	–	–	+	+	+	+
Сеноеды (Psocoptera)	–	–	+	+	+	–
Сенокосцы (Opiliones)	–	++	+	++++	–	+
Могильщики (Nicrophorus)	–	–	+	+	–	+
Пяденицы (Geometridae)	–	–	+	–	–	–
Тараканы (Blattodea)	–	+	–	+	+	+
Божьи коровки (Coccinellidae)	–	+	–	–	–	+
Энхитреиды (Enchytraeidae)	–	–	–	+	–	+
Листоеды (Chrysomelidae)	–	–	–	+	–	–
Личинки Insecta	–	–	–	–	+	+
Трипсы (Thysanoptera)	–	–	–	–	–	+
Всего: таксонов	24	22	28	30	24	29
экз /100 лов.- сут.	50	149	283	153	383	105

Примечание. Доля беспозвоночных в ловушках: +++++ $\geq 10\%$, +++ $< 10\%$, ++ $< 5\%$, + $< 1\%$.

*Перепончатокрылые указаны без учета муравьев и пилильщиков. Прочерк – группа не выявлена

В более теплый сезон 2018 г. ($T_{cpVII-VIII}$ 11,6...13,1 °С в подстилке на разных участках), по сравнению с прохладным 2015 г. (9,2...9,8 °С), число таксонов увеличилось в исследованных лесных участках: в контроле с 24 до 28, в ГС – с 22 до 30, в том числе за счет насекомых–фитофагов: сеноедов (Psocoptera), тлей (Aphidoidea), гусениц пядениц (Geometridae) (таблица 4.3) (Зенкова, Штабровская, 2022).

В контрольном сосняке динамическая плотность представителей 9 таксонов возросла в 2–13 раз. Плотность подстилочных хищников: многоножек (Lithobiidae), жуужелиц (Carabidae), мягкотелок (Cantharidae), клещей-краснотелок (Trombidiidae) и растительноядных моллюсков (Gastropoda), цикадок (Cicadoidea), гусениц совок (Noctuidae) и жуков-усачей (Cerambycidae) сохранилась на уровне 2015 г. Наряду с муравьями, пауками и долгоносиками массовыми в ловушках (более чем по 100 экз.) были стафилиниды (Staphylinidae), клопы (Heteroptera) и разнородная группа перепончатокрылых (Hymenoptera), однако возросшее обилие муравьев (74% всех беспозвоночных против 59% в 2015 г.) определило более олигодоминантную структуру населения в 2018 г. (таблица 4.3) (Зенкова, Штабровская, 2022).

В ГС общими с контрольным С были 18 таксонов. Из них у представителей 8-ми таксонов динамическая плотность была ниже контрольных величин (пауки, мягкотелки, перепончатокрылые, короеды, цикадки, гусеницы совок, моллюски, личинки двукрылых), у 7-ми таксонов – выше (многоножки, муравьи, стафилиниды, жуужелицы, усачи, долгоносики, клопы), у растительноядных щелкунов и пилюльчиков – сопоставима с контролем. В ловушках появились обитатели открытых пространств – сенокосцы, тараканы и божьи коровки, не выявленные в контрольном С. Из 28 таксонов, отловленных на двух участках в 2015 году, представители 14 таксонов (или 50%) имели большую плотность в контрольном С, представители 11 таксонов (39%) – в ГС (таблица 4.4).

Основными доминантами (89% от общей плотности беспозвоночных) в ГС по сравнению с контрольным С были муравьи (северный лесной *Formica aquilonia*). Заселение муравьями нарушенных низовым пожаром участков сосновых лесов и активное формирование муравьиных семей в течение 3-х первых лет развития гарей было прослежено и в Окском заповеднике и объяснялось высокой численностью насекомых-ксилофагов и слабым задернением почвы (Аверина, 2002).

Таблица 4.4 – Показатели населения беспозвоночных в контрольном и горелом сосняках через 2 и 5 лет после пожара

Число таксономических групп	2015 г.	2018 г.
В контрольном сосняке, <i>С</i>	24	28
В горелом сосняке, <i>ГС</i>	22	30
Суммарно в <i>С</i> и <i>ГС</i>	28	34
Общих для <i>С</i> и <i>ГС</i> , из них:	18 (или 64%)	25 (или 74%)
<i>С</i> большей плотностью в <i>С</i>	8 (44%)	10 (40%)
<i>С</i> большей плотностью в <i>ГС</i>	7 (39%)	11 (44%)
Со сходной плотностью в <i>С</i> и <i>ГС</i>	3 (17%)	4 (16%)
Выявленных только в <i>С</i>	6	3
Выявленных только в <i>ГС</i>	4	5

Выявлена прямая зависимость межгодовых различий динамической плотности беспозвоночных на лесных участках *С* и *ГС* от $T^{\circ}\text{C}$ подстилки ($r \geq 0,71$) и обратная – от ее влажности ($-0,79 \leq r \leq -0,82$). Показателями, достоверно определяющими различия в плотности беспозвоночных между годами и участками, оказались: сумма $T^{\circ}\text{C}$ июля ($r = 0,95$), T_{max} сентября (0,94) и августа (0,92) и T_{min} июля (0,89), которые в вегетационный сезон 2018 г. были выше в подстилке *С* (рисунок 4.9, Приложение Д.1).

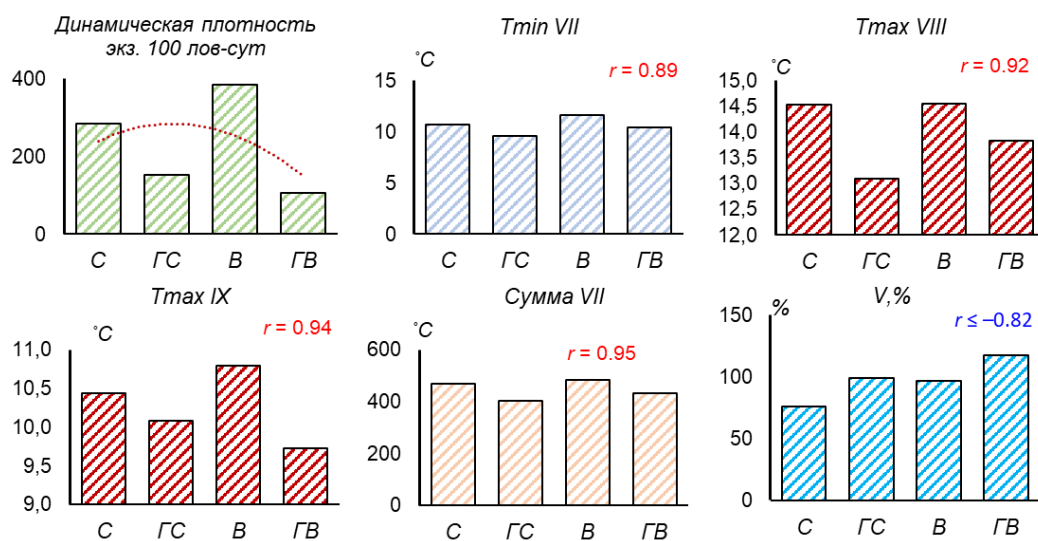


Рисунок 4.9 – Достоверно скоррелированные положительные и отрицательные тренды изменения динамической плотности беспозвоночных и температурных показателей подстилки в долине Кунийок

Корреляция плотности беспозвоночных с $T^{\circ}\text{C}$ и запасами влаги в подстилке была выявлена и при сравнении нарушенных участков под разными древесными породами в

процессе лесовосстановления в южной тайге Центральной Сибири (Безкоровайная, Егунова, 2011).

На шестилетней вырубке *B* (2018 г.) структура населения беспозвоночных отражала два сукцессионных процесса: смену лесной фауны на луговую и усиление гидроморфизма почвы. Несмотря на сохранение мощной лесной подстилки, плотность типичных подстилочных хищников – стафилинид, жужелиц, чернотелок, личинок мягкотелок и перепончатокрылых была в 3–10 раз ниже, чем в контрольном *C*. Плотность влаголюбивых муравьев, пауков, многоножек, дождевых червей, моллюсков и личинок двукрылых, напротив, в 1,2–3 раза превышала таковую в *C*, что соответствовало высокой влажности подстилки на *B* (100%) при сходной степени прогрева этих участков. Муравьи, моллюски, шмели и тараканы достигали на *B* наибольшей плотности среди всех участков. Это обусловило максимальную динамическую плотность беспозвоночных (380 экз./100 лов.-сут) по сравнению с контрольным *C* (280) и обеими гарями (100–150) (таблица 4.3, рисунок 4.11 а). В сравнении с контрольным *C*, на *B* плотность более половины таксонов (13 из 24) снизилась, у 9 таксонов – увеличилась. Представители 6 таксонов не были выявлены; как и в *ГС*, появились тараканы. Из-за обилия муравьев структура населения была более олигодоминантной: они составляли 86% уловов (против 75% в контрольном *C*), пауки – 10, цикадки – 3, суммарная доля представителей остальных таксонов не превысила 1%.

Структура населения беспозвоночных дважды нарушенной *ГВ* наиболее отличалась от контрольного *C* и была сходна частично с *ГС*, частично – с соседней негорелой *B*. Динамическая плотность была здесь достоверно меньшей: в 1,5 раза в сравнении с *ГС* и в 3–4 раза в сравнении участками *C* и *B*, сохранившими подстилку и кустарничковый ярус. Обилие муравьев, преобладающих на остальных участках, сократилось на два порядка; плотность типичных обитателей лесной подстилки – стафилинид и мягкотелок – на порядок; моллюски и сеноеды отсутствовали. В то же время представители 6 таксонов достигали на *ГВ* наибольшей плотности: обитатели открытых пространств – божьи коровки и активные хищники – пауки и жужелицы, предпочитающие в Хибинах открытые ландшафты лесотундры и горной тундры, и жуки-чернотелки.

Из-за снижения обилия муравьев – основного доминанта в уловах других участков, только *ГВ* отличалась полидоминантной структурой населения беспозвоночных и их более равномерным пространственным распределением (рисунок 4.10). Преобладали

пауки – 47, цикадки – 16, жужелицы – 13, чернотелки и перепончатокрылые – 5–6%. Доля представителей каждого из остальных 22-х таксонов не превысила 2% (таблица 4.3) (Зенкова, Штабровская, 2022).

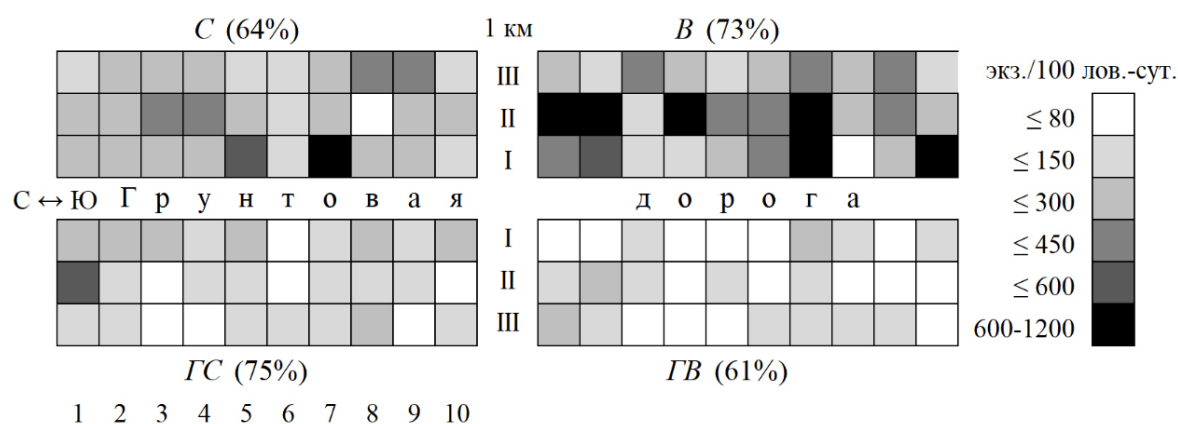


Рисунок 4.10 – Схема пространственного распределения беспозвоночных в долине Кунийок в 2018 г. (динамическая плотность, экз./100 лов.-сут.). 1–10 – почвенные ловушки, I–III – ловушко-линии (в направлении от грунтовой дороги и вглубь участков), в скобках – коэф. пространственного варьирования общей плотности беспозвоночных на участке, %

При оценке фаунистического сходства–различия четырех мониторинговых участков методом кластерного анализа (Ward's method) наиболее сходными по таксономическому составу, динамической плотности и структуре доминирования населения беспозвоночных, оказались участки *C* и *B*, удаленные друг от друга на расстоянии 1 км, но имевшие лесную подстилку и мощный мохово-кустарничковый ярус (рисунок 4.11 а). На обособление этих участков с негорелой лесной подстилкой в подкластер, противопоставленный подкластеру горелых участков *ГС* и *ГВ* повлияли: высокая плотность основного доминанта – муравьев (210–320 против 8–58 экз./100 лов.-сут. на горях), сходная плотность пауков (30–40 экз./100 лов.-сут.), клопов и присутствие сеноедов и шмелей. Обе гари, с большим таксономическим разнообразием беспозвоночных, но с их меньшей плотностью, образовали отдельный подкластер и отличались от негорелых участков присутствием энхитреид, пилюльщиков, листовблошек и божьих коровок, повышенной плотностью жужелиц (11–13 против 1–2 экз./100 лов.-сут.), многоножек, сенокосцев, личинок двукрылых (рисунок 4.11 в) (Зенкова и др., 2020).

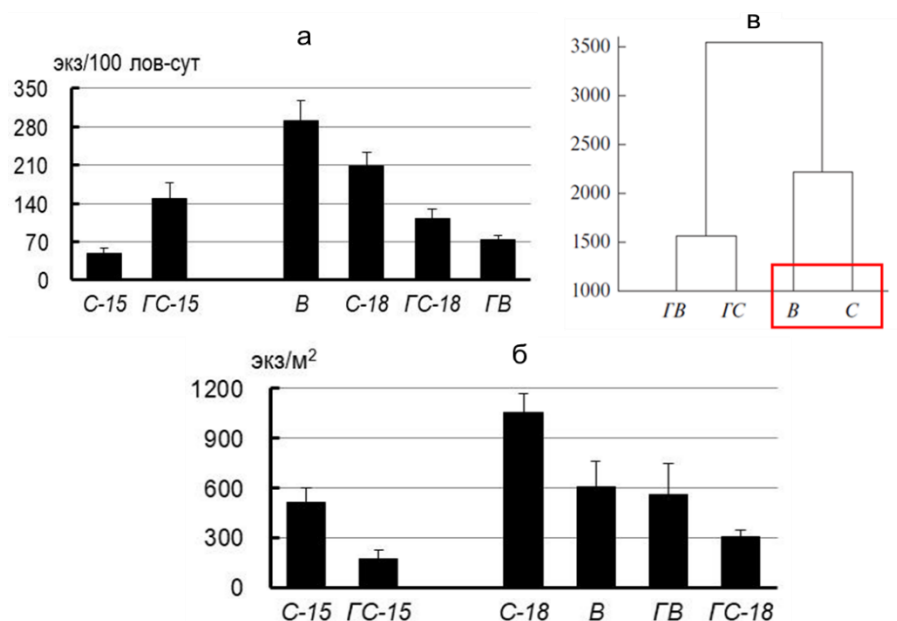


Рисунок 4.11 – Количественные показатели населения беспозвоночных в долине Кунийок 2018 г. (5–6 лет после воздействия): а – динамическая плотность беспозвоночных, отловленных почвенными ловушками; б – численность беспозвоночных в почвенных пробах; в – кластеризация участков по динамической плотности беспозвоночных

Таким образом, нами был сделан методический вывод: из четырех участков, изначально выбранных для попарного сравнения по принципу «горелый – негорелый леса» и «горелая – незатронутая пожаром вырубка» (C–ГС и B–ГВ), наиболее сходными по таксономическому составу, плотности и структуре доминирования беспозвоночных, оказались не эти пары соседних лесных участков или вырубок, а удаленные друг от друга участки леса и вырубки со сгоревшей или ненарушенной пожаром лесной подстилкой (т.е. ГС–ГВ и C–B). Несмотря на формирование на вырубке B лугового комплекса беспозвоночных, наличие подстилки и яруса напочвенной растительности имело первостепенное значение для сохранения горно-лесного комплекса беспозвоночных и поддержания гидротермического режима, благоприятного для его восстановления даже после полного уничтожения древесного полога (Зенкова и др., 2020).

В отличие от метода почвенных ловушек, которым в Хибинах учитывается большее число таксонов беспозвоночных, методом почвенных проб было выявлено меньшее разнообразие – от 10 до 12 таксонов (таблица 4.5). Спустя 5–6 лет, в почвах всех

нарушенных участков их численность оставалась значительно ниже контрольных значений (рисунок 4.11 б, таблица 4.5). При этом между соседними лесными участками С и ГС отмечено усиление различий на 5 год после пожара, по сравнению на 2 год после воздействия, когда в подстилке каждого из лесных участков выявлено по 12 сходных таксонов. Таким образом, население беспозвоночных учтенных методом отбора почвенных проб, отражали деградацию почвенного покрова, по сравнению с методом учтенных почвенными ловушками.

Таблица 4.5 – Таксономический состав и численность (экз./м²) беспозвоночных в почвах участков долины Кунийок (по результатам почвенных раскопок в 10-кратной повторности в июле 2018 г.)

Таксоны	С ^a		В ^b		ГС ^c		ГВ ^d	
	М ± m	min – max	М ± m	min – max	М ± m	min – max	М ± m	Min – max
Aranea	386,7±81,4 ^{bcd}	44–889	186,7±44,3	44–533	44,4±11,5	0–89	19,8±7,8	0–44
Diptera	253,3±55,8	44–533	106,7±82,3	0–844	31,1±17,6	0–177	–	–
Elateridae	133,3±33,8	0–311	102,2±17,6	0–177	53,3±25,5	0–222	79,0±28,5	0–266
Thysanoptera	111,1±22,2 ^{bc}	0–266	4,4±4,4	0–44	4,4±4,4	0–44	–	–
Staphylinidae	75,6±14,9 ^{bc}	0–133	22,2±9,9	0–88	35,6±12,9	0–133	98,8±36,9 ^{bc}	0–355
Cantharidae	48,9±20,4 ^d	0–177	22,2±7,4	0–44	35,6±21,8	0–222	4,9±4,9	0–44
Formicidae	22,2±11,9	0–88	26,7±11,9	0–88	13,3±9,5	0–88	9,9±6,5	0–44
Lithobiidae	13,3±6,8	0–44	84,4±27,7 ^a	0–266	31,1±11,6	0–88	24,7±16,7	0–133
Curculionidae	4,4±4,4	0–44	4,4±4,4	0–44	–	–	–	–
Lepidoptera	4,4±4,4	0–44	–	–	–	–	–	–
Enchytraeidae	–	–	35,6±16,0	0–133	13,3±9,5	0–88	246,9±144,4 ^{abc}	0–1277
Carabidae	–	–	4,4±4,4	0–44	4,4±4,4	0–44	64,2±19,8 ^{abc}	0–177
Hemiptera	–	–	4,4±4,4	0–44	–	–	–	–
Hymenoptera	–	–	–	–	13,3±9,5	0–88	4,9±4,9	0–44
Lumbricidae	–	–	–	–	8,9±5,9	0–44	–	–
личинки Insecta	–	–	–	–	8,9±8,9	0–88	–	–
Psocoptera	–	–	–	–	4,4±4,4	0–44	–	–
Pamphilidae	–	–	–	–	4,4±4,4	0–44	–	–
Byrridae	–	–	–	–	–	–	4,9±4,9	0–44
Всего экз./м ² групп	1058±112 ^{bcd}	356–1600	605±158	267–1956	307±38	89–533	558±189	222–2044
	10		12		15		10	

Примечание: ^{abcd} – различия в численности беспозвоночных на участках достоверны по t-критерию Стьюдента для $n = 18$, при $p \leq 0,05$. Прочерк означает отсутствие представителей таксона

Для трех таксонов членистоногих (пауков, стафилинид, жуужелиц), доминирующих во все сроки исследований вырубок и гарей в долине Кунийок был определен видовой состав. Выявлено 124 вида: пауков – 61, стафилинид – 41, жуужелиц – 22 вида (Приложение Д.1–Д.3). Что соответствовало убыванию известного числа видов этих таксонов в Хибинах (пауки – 169, стафилиниды – 128, жуужелицы – 48 видов) (Нехаева, 2015; Zenkova, Filippov, 2019; Зенкова и др., 2023, Zenkova et al., 2024). Следовательно,

доля каждого таксона составила в межгорной долине 36, 32 и 46% соответственно от их разнообразия в Хибинах. Из них 79 видов или 64% (пауков – 33 вида, стафилинид – 26 и жужелиц – 20) были отловлены только на нарушенных участках и отсутствовали в контрольном лесу, тогда как лишь три вида пауков (*Hypselistes jacksoni*, *Agyneta subtilis*, *Haplodrassus soerenseni*) и стафилинида *Othius lapidicola* обитали только в контроле, то есть были уникальными для этого участка; уникальных видов жужелиц здесь не выявлено.

Общими для четырех мониторинговых участков, расположенных в радиусе 0,5 км друг от друга, были лишь восемь видов пауков (или 13%), три вида стафилинид (7%) и два вида жужелиц (9%) (рисунок 4.12). Такое низкое видовое сходство между участками свидетельствовало о специфичности условий обитания, которые отличались как от исходных контрольных условий, так и в зависимости от типа нарушения, поскольку близкое взаимное расположение участков в радиусе 0,5 км не являлось преградой для миграции активно подвижных артропод. Специфичность обитания на участках с разными типами нарушений подтверждалась: – различиями в общем числе видов, – численности артропод, – числе уникальных видов, встреченных за период мониторинга только на одном из участков, – видов, впервые отмеченных для локальной фауны Хибин. В каждой из двух последних групп больше число видов обитало на гарях ГС и ГВ по сравнению с негорелыми С и В, а между гарями – в ГС по сравнению с ГВ (рисунок 4.12, коричневый цвет).

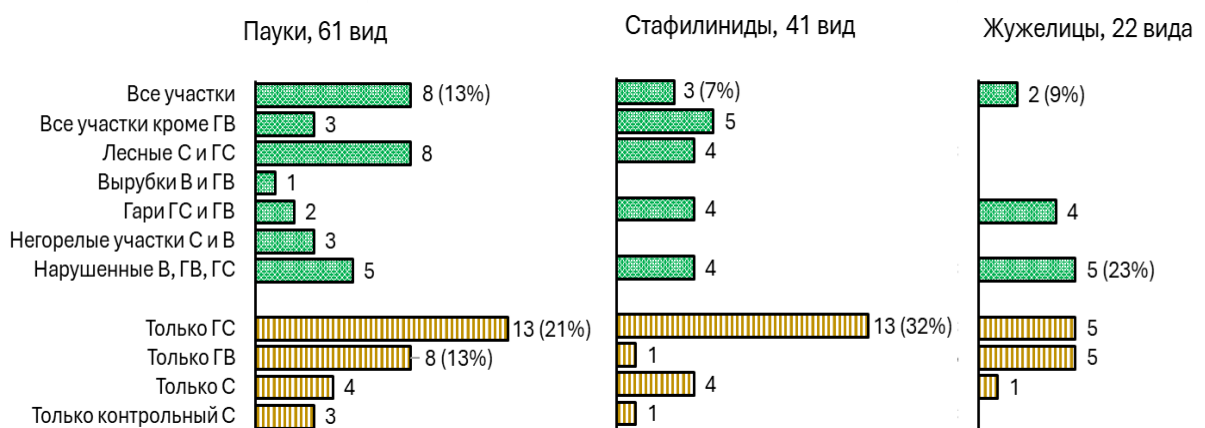


Рисунок 4.12 – Число видов, общих для разных комбинаций участков в долине Кунийок (зеленый цвет) и видов, уникальных только для одного из участков (коричневый цвет), в трех таксонах артропод. Для каждой комбинации участков указано число общих видов и их доля (в процентах) от отловленных в долине

Видовые списки членистоногих, полученные за три полевых сезона (2015, 2018 и 2021), позволили противопоставить мониторинговые участки по следующим критериям: «контрольный – нарушенные» ($C - ГС, B, ГВ$), «горелые – негорелые» ($ГС, ГВ - C, B$) и «леса – вырубки», т.е. лесные и открытые ($C, ГС - B, ГВ$). Так, все нарушенные участки $ГС, B, ГВ$ имели по 4–5 общих видов пауков, стафилинид и жуужелиц, не встреченных в контрольном C , и отличались большим числом уникальных видов. На гарях $ГС$ и $ГВ$ было больше общих видов каждого таксона артропод по сравнению с вырубкой B .

У пауков явную приуроченность к сложной многоярусной структуре контрольного горно-таежного леса C и его мощной влажной постилке, образованной кустарничками, лишайниками и зелеными мхами, проявляли виды-тенетники *Linyphiidae*, наиболее обильные на этом участке, тогда как на всех нарушенных участках были разнообразнее и обильнее охотники *Lycosidae* и *Gnaphosidae* и засадники *Thomisidae*, не строящие ловчих сетей. Напротив, доминирующие в нарушенных участках дневные хищные ликозиды рода *Pardosa* не были обнаружены в контрольном C (Приложение Д.1). Обе вырубки, B и $ГВ$, отличались от лесных C и $ГС$ большим числом доминирующих видов ликозид и обилием молодых и ювенильных особей линифид. Обе гари, $ГС$ и $ГВ$, уступали лесным участкам по числу уникальных видов, но превалировали по числу общих видов и видов, новых для аранеофауны Хибин.

У стафилинид отмечалось преобладание эвритошных видов над лесными подстилочными на нарушенных участках $ГС, B, ГВ$ по сравнению с контрольным C и в лесных C и $ГС$ по сравнению с вырубками. Негорелые C и B имели сходное число видов (15 и 16) против повышенного в $ГС$ (34) и пониженного на $ГВ$ (11 видов). Большинство видов, новых для стафилинидофауны Хибин, обитали на гарях $ГС$ и $ГВ$.

Жужелицы были более разнообразны и многочисленны на горелых участках $ГС$ и $ГВ$ (по 16 видов на каждом) по сравнению с негорелыми B и C (8 и 4 вида), тогда как оба негорелых отличались высоким доминированием лесного вида *Calathus micropterus* во все годы исследования.

Многие отловленные виды артропод оказались хорошими индикаторами изменившихся условий. Так, к подстилке $ГС$, переувлажненной после потери древесного полога и выгорания корней (Глава 4.2), были приурочены все найденные в долине Кунийок гигромезофильные виды стафилинид (*Olophrum boreale*, *Stenus palustris*, *S.*

biguttatus, *S. tarsalis*, *Lathrobium brunnipes*), тогда как на других участках обитали мезофильные виды этого семейства (Приложение Д.2).

Находка нового для Мурманской области ксерофильного и термофильного европейско-западносибирского паука *Micaria silesiaca* (2 экз.) на дважды нарушенной ГВ соответствовала максимальному прогреву (до 29,8 °С) и низкой влажности (до 30%) этой слабозарастающей территории (таблица 4.2).

Горелая вырубка также привлекала наибольшее число теплолюбивых и светолубивых видов жуужелиц, известных обитанием в открытых ландшафтах, включая полевые и луговые агроценозы. Это были либо жуужелицы, предпочитающих в Хибинах открытые пространства редкостойных березовых криволесий и горных тундр (*Calathus melanocephalus*, *Harpalus laevipes*, *Notiophilus aquaticus*), либо ранее не отмеченные в Хибинах *Pterostichus adstrictus* и виды родов *Amara* и *Harpalus* (*A. famelica*, *A. quenseli*, *H. nigritarsis*, *Dicheirotichus* (*Harpalus*) *cognatus*). тогда как в толстой и влажной кустарничково-мохово-дишайниковой подстилке контрольного сосняка С во все годы исследований присутствовали лишь два вида: полизональный лесной *Calathus micropterus*, самый распространенный и многочисленный вид жуужелиц в Хибинах, и аркто-альпийский вид *Pterostichus brevicornis*, менее многочисленный, но обитающий на всех высотах Хибин, включая холодные каменистые пустыни на платообразных вершинах (Zenkova, Filippov, 2019). Связь с открытыми, сухими, степными и горно-степными местообитаниями является характерной чертой жуужелиц родов *Amara* и *Harpalus* (Катаев, 2011). Их трофической особенностью является миксофитофагия, или способность потреблять не только животную, но и растительную пищу, в том числе травы и семена злаков, а горелая вырубка в первые годы восстановления зарастала куртинами злаков рода *Deschampsia*. Кроме того, морфологической особенностью жуужелиц родов *Amara* и *Harpalus* является приспособление первой пары ног как для лазания по травам, так и для рытья почвы (Шарова, 1981), и нарушение почвенного покрова ГВ в виде выгорания подстилки и обнажения минеральной массы сделало его наиболее подходящим субстратом для роющей деятельности жуужелиц этих родов.

На всех участках долины были представлены две жизненные формы жуужелиц-зоофагов: стратобионты поверхностно-подстилочные и подстилочные. На трех нарушенных участках дополнительно были отловлены жуужелицы четырех жизненных форм: крупный ходячий зоофаг-эпигебионт *Carabus glabratus* (самый крупный вид в

фауне жужелиц Мурманской области), мелкие роющие геобионты родов *Bembidion* и *Dicheirotichus* и две группы миксофитофагов-геохортобионтов: бегающий и роющий *Miscodera arctica* и гарпалоидные виды родов *Amara* и *Harpalus*. На обеих гарях обитал представитель седьмой жизненной формы – поверхностно-подстильно-почвенный зоофаг-стратобионт *Pterostichus oblongopunctatus*. Спектр жизненных форм жужелиц, расширившийся на ГВ и ГС, отражал наиболее разнообразные условия обитания на этих наиболее нарушенных пожаром участках.

Находки большинства новых для Хибин и уникальных видов артропод именно на гарях ГС и ГВ, где они были более разнообразны и обильны спустя шесть лет после рубки и пять лет после пожара, мы также связываем с развитием целого комплекса дереворазрушающих афиллофороидных грибов, активно заселяющих обугленную разлагающуюся древесину на этом этапе сукцессии. Семейство стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) в грибных энтомокомплексах представлено десятками видов, особенно в нарушенных лесах на начальных стадиях восстановления (Бабенко, 1998; Цинкевич, 2004; Schigel, 2011). Среди них *Scaphisoma agaricinum* (Staphylinidae, Scaphidiinae), впервые отмеченная нами для Хибинах по находкам на ГВ (три имаго), является специализированным мицетофагом и наиболее массовым видом жуков-мицетобионтов в лесной зоне Европы, европейской части России, Урала и Зауралья (Красуцкий, 2021). Она населяет плодовые тела ксилотрофных и шляпочных грибов в период их роста и спороношения и питается грибными спорами, способствуя их расселению.

Наличие мицето- и ксилофильных видов стафилинид разной трофической специализации (хищников, сапро-мицетофагов или сочетающих хищничество и мицетофагию) известно также в родах *Acidota*, *Anthophagus*, *Ischnosoma*, *Carphacis*, *Arpedium*, *Lordithon*, *Tachinus*, *Aleochara*, *Atheta*, *Liogluta*, *Bolitochara*, *Oxypoda*, *Stenus*, *Lathrobium*, *Xantholinus*, *Philonthus*, *Quedius* (Бабенко, 1998). Учитывая, что на нарушенных участках было сконцентрировано от 28 до 40% видового разнообразия этих родов от известного в Хибинах (Приложение Д.2), находки большинства этих видов можно объяснить связями с наземными и древесными грибами, активно заселяющими самозарастающие нарушенные территории (Benick, 1952).

Послепожарное подщелачивание почв (рисунок 4.1) оказалось благоприятным для развития личиночных стадий жесткокрылых, теснее связанных с почвой, чем имаго. Личинки жужелиц и стафилинид были достоверно наиболее обильными в почвенных

пробах обеих гарей, *ГС* и *ГВ* (таблица 4.5), несмотря на их разный гидротермический режим. Наибольшее число личинок, обитало в эродированной минеральной почве *ГВ* с наиболее контрастным прогревом и увлажнением, но повышенным значением pH. Кальцефильные многоножки косянки достигали большей численности на обеих гарях были многочисленными по сравнению с контролем, а дождевые черви в горелым сосняком.

На основе полученных данных по химическому составу и температуре почв был проведен анализ главных компонент (РСА), который расположил мониторинговые участки по четырем разным квадратам проекционного пространства, выделив факторы, специфичные для каждого участка (рисунок 4.13 а,б) (Zenkova et al., 2024).

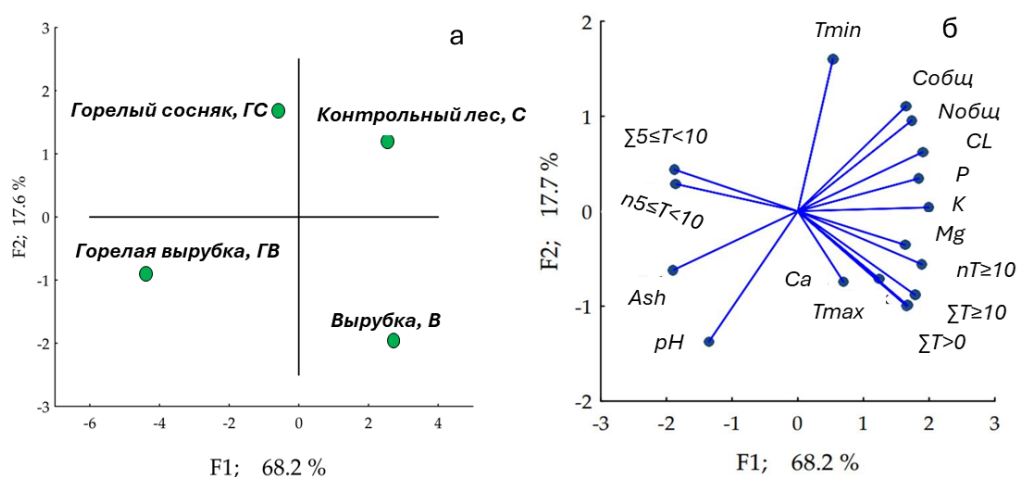


Рисунок 4.13 – Расположение мониторинговых участков долины Кунийок в проекционном пространстве (а) в зависимости от температурных и химических почвенных факторов (б)

В контрольном сосняке *С* это оказались запасы органического вещества, общего углерода и азота, соответствующие мощной лесной подстилке, и повышенные концентрации калия и фосфора, которыми обогащен опад хвойных пород. Вырубка, активно зарастающая березой, листья которой богаты кальцием и магнием, отличалась накоплением этих элементов в подстилке и ее лучшим прогревом до *активных* $T^{\circ}C$ (таблица 4.2). Почвенный покров *ГВ*, эродированный до минеральной массы, характеризовался наибольшей зольностью и наименьшей кислотностью, а влажная подстилка *ГС* – более длительным *периодом* и *суммой эффективных* $T^{\circ}C$.

Анализ главных компонент выделил критерий «горелые – негорелые» в качестве первой главной компоненты (ось ОУ – сила влияния фактора $F1 = 68\%$) и критерий «леса – вырубки» – в качестве второй (ось ОХ – $F2 = 18\%$), что подтвердило большой вклад низового пожара в трансформацию почвенно-растительного покрова исходного горно-таежного леса по сравнению со сплошной нерасчищенной вырубкой (рисунок 4.13 а). Третий фактор с наименьшим влиянием в 14% разделил участки на пары ГС, В и С, ГВ, различия между которыми сводились к более высокому содержанию двух основных элементов минерального питания, Са и Mg, в почве участков первой пары, зарастающих березой и травами, по сравнению с контрольным хвойным лесом и слабозарастающей ГВ (Глава 4.1).

Метод главных компонент показал очевидное предпочтение большинством видов пауков, стафилинид и жуужелиц двух гарей, но особенно – ГС (рисунок 4.14, а–с). Более 70% видов артропод было сосредоточено в ГС, в том числе: 71% всех выявленных в долине видов пауков, 88% стафилинид и 73% жуужелиц. Суммарное число уникальных видов из трех таксонов составило 31 против 14 на ГВ и 9 видов на В, а число видов, впервые отмеченных для Хибин, равнялось 18 против 13 на ГВ и 4 на В (Приложения Д.1–Д.3) (Zenkova et al., 2024).

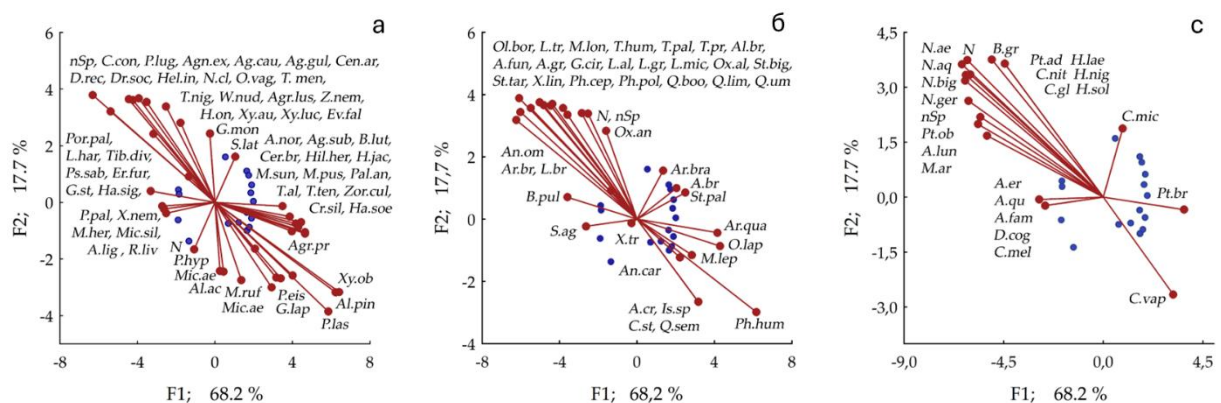


Рисунок 4.14 – Основные тренды распределения членистоногих (а – пауков; б – стафилинид; с – жуужелиц; красные точки) и абиотических факторов (синие точки) на мониторинговых участках в долине Кунийок. Анализ главных компонент (РСА)

При небольших различиях в числе дней с *эффективными* $T^{\circ}C$ на горелых участках (16–22 сут против 11–15 сут на сохранивших подстилку *С* и *В*), их сумма была выше (148...193 $^{\circ}C$ против 94...130 $^{\circ}C$ на *С* и *В*), причем *ГС* уступал *ГВ* по числу дней и сумме с этими температурами. Но устойчивый осенний переход на эти более низкие $T^{\circ}C$ в

горелом сосняке регистрировали позже (с 08.IX), чем на других участках (с 27.VIII), что и могло быть дополнительным фактором привлечения членистоногое. Также подстилка ГС отличалась наименьшей летней вариабельностью $T^{\circ}\text{C}$ подстилки ($\text{CV} = 18\%$ против 25–27% на участках В, ГВ и С), т.е. ее более стабильными температурными условиями, что является важным фактором жизнедеятельности и развития холоднокровных беспозвоночных. Следовательно, не только многие отловленные виды артропод, а также их надвидовые таксоны (рода и семейства) и экологические группы оказались хорошими индикаторами условий, сложившихся на нарушенных территориях.

* * *

Комплексный мониторинг почвенного покрова и населяющей его фауны в долине Кунийок, с одной стороны, выявил специфику температурных условий самой долины на севере Хибин, оказывающую влияние на температурный режим почв и контрольного горно-таежного леса, и его нарушенных участков; с другой, – обозначил различия, связанные с типом нарушения горных почв. Общими особенностями температурной динамики почв в долине оказались: короткий (4 месяца, с мая по август) период поглощения тепла при длительном (8 месяцев) периоде его излучения верхними (5–10 см) горизонтами; более длительные (на 1–2 месяца по сравнению с почвами горно-лесных поясов Хибин на разных высотах) сроки промерзания подстилки до отрицательных *среднемесячных* $T^{\circ}\text{C}$ (5–7 месяцев, с ноября–декабря по апрель или 157–208 суток) при положительных *среднегодовых* значениях $T^{\circ}\text{C}$; наличие дополнительного (декабрьского, наряду с февральским) пика промерзания подстилки и, напротив, сохранение положительных *среднемесячных* $T^{\circ}\text{C}$ на 40 см глубине почвенных профилей на протяжении всего года.

Различия, связанные с типом нарушения горных почв, проявились в парах «леса (С и ГС) – вырубки (В и ГВ)», «горелые (ГС и ГВ) и негорелые (С и В) участки», а также между всеми нарушенными участками (В, ГС, ГВ) и контролем (С). При этом в парах «леса – вырубки» большинство различий наблюдалось на глубинах 5–10 см, а в паре «гари – негорелые» – на глубине 15–20 см. Это свидетельствовало о теплорегулирующей функции лесной подстилки и важности ее сохранения для поддержания теплового баланса почвы при разных видах нарушений.

Вырубки отличались от лесных участков более ранними сроками остывания верхних (5–10 см) горизонтов почвы в августе, быстрым промерзанием в октябре–

ноябре и их оттаивания в апреле и перехода на *активные* $T^{\circ}C$ в июле, достоверно более высокими *среднегодовыми* $T^{\circ}C$ подстилки; повышенной сезонной вариабельностью $T^{\circ}C$ за счет высоких T_{max} и низких T_{min} ;

Гари ($ГС$ и $ГВ$) отличались от негорелых участков ($С$ и $В$) большим промерзанием верхних (5-10 см) горизонтов с ноября по апрель и их прогревом до более высоких T_{max} в самом теплом месяце – июле, более ранним остыванием минеральных горизонтов на глубинах 15 и 20 см в осенний период (с октября) и их ранним оттаиванием с первой–второй декады апреля. Последствия пожара сохраняются на гарях на протяжении десятилетия в виде пониженного содержания в верхних почвенных горизонтах органического вещества, общего азота и углерода, и основных биогенных элементов – калия и фосфора. Достоверное повышение зольности подстилки вызвало подщелачивание почвенного раствора с $pH_{водн}$.

Все нарушенные участки отличались от контроля ранним (на месяц) оттаиванием верхних (5-10 см) почвенных горизонтов и их прогревом до *эффективных* $T^{\circ}C$ весной, лучшим прогревом до более высоких T_{max} и наибольших *абсолютных внутрисуточных максимумов* летом; более ранним остыванием осенью; меньшим периодом с отрицательными $T^{\circ}C$ подстилки зимой и были подвержены большей зависимости суточной и сезонной вариабельности $T^{\circ}C$ почв от атмосферного воздуха. Почвы всех нарушенных участков, десятилетие спустя отличались от контрольного горно-таежного леса меньшим содержанием ОВ, общего углерода и азота.

Глава 5. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЗОНАЛЬНОГО ЛЕСНОГО ПОДЗОЛА НА ПРИХИБИНСКОЙ РАВНИНЕ

Обсуждаются результаты учета температурных показателей лесного подзола, типичного для северной тайги Мурманской области и сформированного на мониторинговом участке соснового леса на прихибинской равнине. Полученные за период 2016–2023 гг. данные сопоставлены с температурными исследованиями этой территории 50-ти летней давности, выполненными метеорологом ПАБСИ КНЦ РАН А. П. Семко в 1971–1982 гг. (Семко, Сергеев, 1974; Семко, 1980, 1982). Проведено сравнение температурных показателей зонального лесного подзола и горных почв Хибин, имеющих сходное широтное положение в пределах северотаежной подзоны Мурманской области.

5.1 Многолетняя динамика температуры

Сравнение круглогодичных температурных рядов в зональном лесном подзоле за шесть лет (2016, 2019, 2020, 2021, 2022 и 2023), три из которых (2019, 2020 и 2021) были достоверно более холодными ($T_{st} \geq 3,14$ при $p < 0,05$) по таким показателям лесной подстилки, как: T_{min} , число дней с отрицательными $T^{\circ}\text{C}$ и среднегодовые $T^{\circ}\text{C}$, выявило значительную вариабельность в сроках 5-ти основных температурных переходов годового цикла: осеннего снижения $T < 5^{\circ}\text{C}$, зимнего перехода на устойчивые $T < 0^{\circ}\text{C}$, весеннего оттаивания подстилки ($T \geq 0^{\circ}\text{C}$), ее прогрева до эффективных $T \geq 5^{\circ}\text{C}$ и наибольшего прогрева до активных $T^{\circ}\text{C}$ (рисунок 5.1, таблица 5.1).

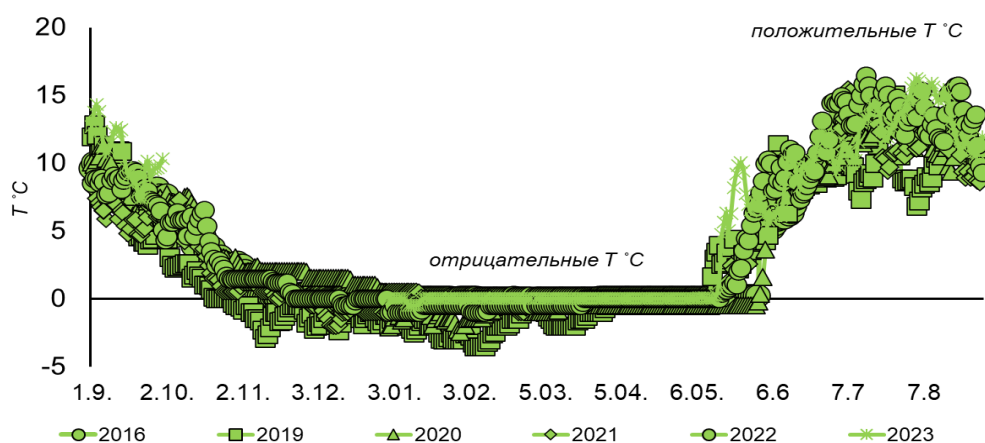


Рисунок 5.1 – Разногодичная динамика среднесуточной температуры в 5 см слое подстилки типичного лесного Al-Fe-гумусового подзола на предгорной равнине

Таблица 5.1 – Даты устойчивого перехода температуры через пороговые значения в подстилке зонального лесного Al-Fe-гумусового подзола в исследованные годы

Год	Переход $T^{\circ}C$				Лето $T \geq 10^{\circ}C$
	Осень $T < 5^{\circ}C$	Зима $T < 0^{\circ}C$	Весна $T \geq 0^{\circ}C$ $T \geq 5^{\circ}C$		
2016	4.10	не промерзала		1.06	17.06
2019	19.09	28.10	12.05	5.06	3.07
2020	17.10	1.01	1.06	4.06	1.07
2021	14.10	29.11	26.03	нет данных	нет данных
2022	19.10	1.01	21.03	28.05	24.06
2023	нет данных	не промерзала		17.05	22.06

В теплые вегетационные сезоны осеннее остывание подстилки ниже $T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ отмечалось со второй декады октября, а в холодные – на 15–30 дней раньше (таблица 5.1). Всю осень (октябрь–ноябрь) *среднесуточная* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки поддерживалась выше $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в теплые годы и на уровне околонулевых значений – в холодные.

Зимний период в зональном сосняке характеризовался либо отсутствием *отрицательных* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки, либо ее промерзанием до *абсолютных минимумов* – $3,5\ldots-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 5.2). Переход на устойчивые *отрицательные* $T^{\circ}\text{C}$ на глубине 5 см в холодные годы отмечался с конца октября по конец ноября (28.X–29.XI); в теплые зимы регистрировали только *околонулевые (слабоположительные)* $T^{\circ}\text{C}$ с первой декады октября (7.X). Число дней с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ варьировало в холодные 2019, 2020 и 2021 гг. от 117 до 195, т. е. составляло от 3,9 до 6,5 месяцев в году.

Устойчивый весенний переход $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в лесной подстилке в теплые 2016, 2022 и 2023 годы регистрировали на 47–52 сут раньше, чем в холодные годы (21–26.III против 12.V–1.VI), переход на *эффективные* $T^{\circ}\text{C}$ – на 9–24 сут раньше (17.V–1.VI против 4–5.VI) и на *активные* $T^{\circ}\text{C}$ – на 9–14 сут раньше (17–24.VI против 1–3.VII) (таблица 5.1). Таким образом, в более теплые годы удлинение весеннего сезона с *положительными* $T^{\circ}\text{C}$ лесной подстилки происходило преимущественно за счет *эффективных* $T^{\circ}\text{C}$ и, в меньшей степени, за счет *активных* $T^{\circ}\text{C}$.

Несмотря на описанные выше межгодовые различия, *среднегодовые* $T^{\circ}\text{C}$ в подстилке зонального подзола во все исследованные годы были *положительными* и в 2016 и 2020 гг. поддерживались на сходном уровне ($3,8 \pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), а в 2019, 2021, 2022 и 2023 гг. варьировали в диапазоне от $2,6 \pm 0,3$ до $5,5 \pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и были достоверно выше (на $1,1\ldots2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) в 2022 и 2023 гг. (таблица 5.2). *Средняя* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки за непрерывный пятилетний период 2019–2023 гг. составила $3,2 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 5.2 – Годовые показатели температуры в 5 см слое подстилки зонального лесного подзола на предгорной равнине в теплые (2016, 2022, 2023) и холодные (2019, 2020 и 2021) годы

Показатели	2016	2019	2020	2021	2022	2023
$T_{\text{средняя}} (^{\circ}\text{C})$	3.8±0.3	2.6±0.3*	3.8±0.3	3.1±0.3*	4.2±0.3*	5.5±0.4*
$T_{\text{max}} (^{\circ}\text{C})$	13.6	15.0	15.6	15.5	16.5	16.3
$T_{\text{min}} (^{\circ}\text{C})$	0	–3.5	–2.5	–2.0	–1.0	–0.5
Амплитуда ($^{\circ}\text{C}$)	13.6	18.5	18.0	17.5	17.5	16.8
Число дней в году с температурами выше/ниже пороговых значений						
$T < 0^{\circ}\text{C}$	0	195	152	117	87	7
$T \geq 0^{\circ}\text{C}$	365	170	214	215	285	267
$0 \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	233	59	79	116	139	130
$5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	71	68	67	48	68	49
$T \geq 10^{\circ}\text{C}$	61	43	68	51	78	88
Годовая сумма пороговых температур						
$T < 0^{\circ}\text{C}$	0	–270	–116	–46	–52	–3
$T \geq 0^{\circ}\text{C}$	1398	1229	1514	1074	1601	1508
$0 \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	105	159	152	98	99	6
$5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	541	570	538	335	530	394
$T \geq 10^{\circ}\text{C}$	751	500	824	641	972	1108

Примечание: синим шрифтом выделены минимальные по годам значения, красным – максимальные; *достоверные различия среднегодовых температур при $T_{st} \geq 3,14$, $p < 0,05$

В целом, различия между теплыми и холодными годами проявлялись в температурном режиме лесной подстилки в разные сезоны: холодные годы отличались ее более ранним осенним остыванием, наличием зимнего промерзания, поздним весенним оттаиванием, большим числом дней и суммами с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ и более низкими *абсолютными годовыми минимумами* $T^{\circ}\text{C}$, и, напротив, меньшим числом дней и суммами *положительных и активных* $T^{\circ}\text{C}$, но не более низкими T_{max} .

Высокие темпы современного потепления климата Арктики (Тишков и др., 2019), которые регистрируются в последние десятилетия, меняют и региональную метеобстановку. По данным Росгидромета за новый опорный период 1991–2020 гг. (Распоряжение..., 2022), в сравнении с предыдущим тридцатилетием 1961–1990 гг., климатическая норма *среднегодовой* $T^{\circ}\text{C}$ воздуха в Мурманской области увеличилась на 1,1 $^{\circ}\text{C}$, норма годовой суммы осадков – на 5% (Климатические нормы; Доклад..., 2023) (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Климатические показатели в северных (Мурманск), центральных (Апатиты) и южных (Кандалакша) районах Мурманской области за опорные периоды 1961–1990 и 1991–2020 гг.

Опорный период	1961–1990 гг.		1991–2020 гг.		
Район	Мурманск	Кандалакша	Мурманск	Апатиты	Кандалакша
Координаты, с.ш_в.д.	69°_33°	67°_32°	69°_33°	67,3°_32°	67,1°_32°
$T^{\circ}C$ среднегодовая	–0,05	–0,23	1,58	–1,21	1,00
$T^{\circ}C$ января	–11,2	–13,5	–9,6	–12,7	–11,4
$T^{\circ}C$ июля	12,5	14,3	13,2	14,5	15,0
Сумма осадков, мм/год	490	520	520	570	566

Климатические изменения не могут не влиять на гидротермический режим зональных почв, имеющих укороченный генетический профиль и легкий песчаный гранулометрический состав, обеспечивающий промывной режим почв на автоморфных позициях рельефа (Белов, Барановская, 1969; Манаков, Никонов, 1981; Переверзев, 2004).

Сравнение данных, полученных нами в зональном сосняке в 2016–2023 гг., с температурными исследованиями этой территории в 1971–1979 гг. (Семко, 1989) показало, что в последнее десятилетие *положительные* $T^{\circ}C$ в органогенном горизонте северотаежного подзола регистрируются раньше, с конца апреля – начала мая, и поддерживаются до середины октября, что в среднем на 50 суток дольше, чем в 1971–1979 гг. Более ранними и продолжительными стали периоды прогрева почв до *эффективных* и *активных* $T^{\circ}C$ (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Даты перехода температуры через пороги 5 °С и 10 °С в органогенном горизонте (на глубине 5 см) зонального подзола в 1971–1979 и 2016–2023 гг

Год	Переход через 5 °С		Период (сут) с $T > 5\text{ °С}$	Переход через 10 °С		Период (сут) с $T > 10\text{°С}$
	Весна	Осень		Лето	Осень	
Литературные данные (Семко, 1989)						
1971	15.06	21.09	99	06.08	09.08	4
1972	13.06	26.09	106	26.06	22.08	58
1973	02.06	10.09	101	29.06	02.08	35
1974	09.06	07.10	121	05.07	18.08	45
1975	14.06	23.09	102	24.07	06.08	14
1976	20.06	13.09	86	15.07	19.08	36
1977	06.06	16.09	103	19.07	15.08	28
1978	20.06	21.09	94	26.07	01.08	7
1979	23.06	27.09	97	10.07	24.08	46
Диапазон*	02.06–07.10		86–121	26.06–24.08		4–58
Собственные данные						
2016	1.06	4.10	125	17.06	4.09	79
2018	1.06	2.10	127	3.07	8.09	67
2019	5.06	19.09	106	3.07	14.09	42
2020	4.06	17.10	136	1.07	10.09	72
2021	нет данных	14.10	нет данных	нет данных	23.08	нет данных
2022	28.05	19.10	144	24.06	30.08	78
2023	17.05	нет данных	нет данных	22.06	15.09	88
Диапазон**	28.05–19.10		106–144	22.06–15.09		42–88

Среднемноголетние $T^{\circ}\text{C}$ мая и июня в подстилке зонального лесного подзола увеличились с 0,4 и 4,9 °С до 1,2 и 8,1 °С, июля и августа – с 10...11 до 12...13 °С. Из-за более теплых весен, максимальный летний прогрев почв, отмечавшийся А.П. Семко в августе, сместился на июль (рисунок 5.2). Среднегодовая $T^{\circ}\text{C}$ подстилки в последние годы характеризуется положительными значениями 2,6...5,5 °С при размахе средних $T^{\circ}\text{C}$ февраля –2,2...–0,3 °С и июля 10,6...14,3°С.

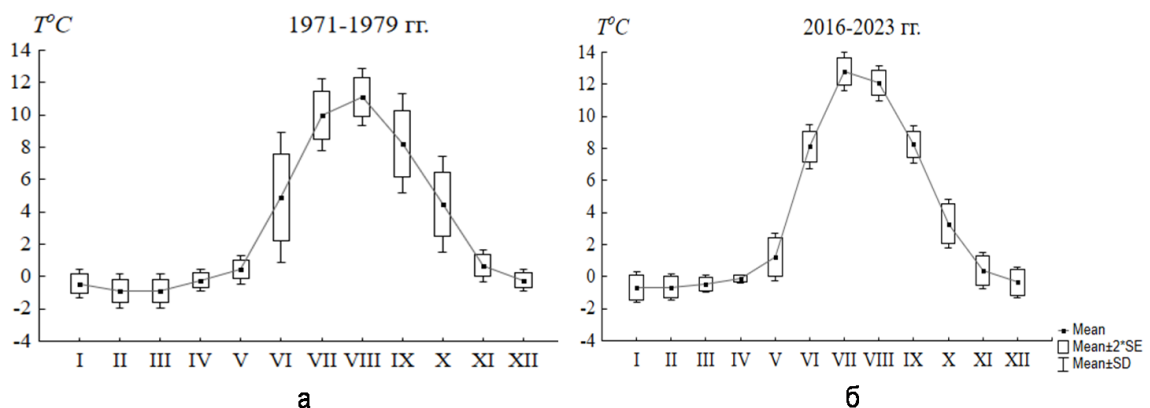


Рисунок 5.2 – Годовая динамика температуры в 5 см слое подстилки зонального лесного подзола на предгорной равнине в 1971–1979 (а, данные Семко, 1989) и 2016–2023 годах (б, собственные данные)

Результаты учета годовой динамики $T^{\circ}\text{C}$ в минеральном профиле лесного подзола на глубинах 5, 20 и 40 см показали сокращение сроков (до 2,6–4,5 мес против 7 мес по данным А.П. Семко) и степени промерзания минеральных горизонтов. Глубина проникновения *отрицательных* $T^{\circ}\text{C}$ уменьшилась с 40–100 см (Семко, 1989; Переверзев, Литвинова, 2012) до 15–20 см, что мы связываем с лучшим прогревом почв в теплый период года и увеличением мощности снегового покрова в зимний период до 90–100 см против 40–60 см (Доклад..., 2022). На глубинах 20–40 см *среднемноголетняя* $T^{\circ}\text{C}$ повысилась на 3–4 $^{\circ}\text{C}$: до 5,9...6,3 $^{\circ}\text{C}$ против 2...3 $^{\circ}\text{C}$ в 1971–1979 гг., а *годовая сумма положительных* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки увеличилась в 1.5 раза: до 1340–1360 $^{\circ}\text{C}$ против 840–900 $^{\circ}\text{C}$ (рисунок 5.3).

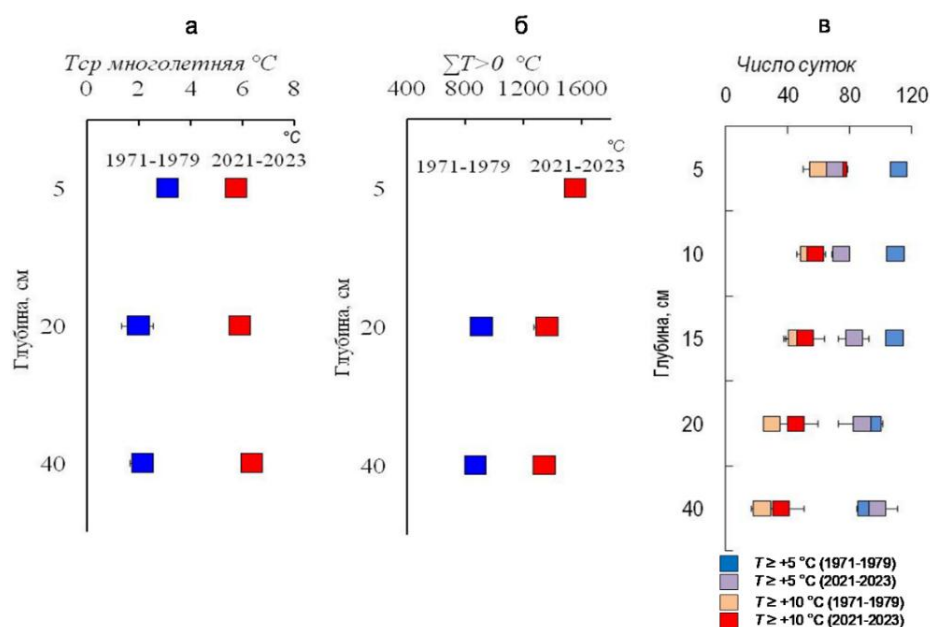


Рисунок 5.3 – Среднемноголетние значения годовой температуры (а), суммы положительных температур (б), числа суток (в) с *эффективными* ($\geq 5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$) и *активными* ($\geq 10 \text{ } ^{\circ}\text{C}$) температурами в профиле зонального лесного подзола на предгорной равнине в 1971–1979 и 2021–2023 гг.

Таким образом, полученные нами данные характеризуют современный температурный режим зонального лесного подзола следующими показателями: *положительной среднемноголетней температурой* органогенного горизонта, составляющей $3,2 \pm 0,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ (min–max по годам 2,6...5,5 $^{\circ}\text{C}$); *годовой суммой положительных* $T^{\circ}\text{C}$ в диапазоне 1070–1600 $^{\circ}\text{C}$, которые поддерживаются не менее 170 дней в году; *абсолютными летними максимумами* в интервале 13,6...16,5 $^{\circ}\text{C}$;

продолжительностью наиболее теплого периода с *активными* $T^{\circ}\text{C}$ не менее 43 сут в июле–августе. В холодные годы лесная подстилка промерзает до *абсолютных минимумов* не ниже $-3,5^{\circ}\text{C}$; *суммы отрицательных* $T^{\circ}\text{C}$ не превышают -270°C , а их продолжительность – 195 дней.

Очевидными трендами последнего десятилетия, по сравнению с исследованиями 50-летней давности, являются: более ранние сроки весеннего оттаивания и прогрева органогенного горизонта почв до *эффективных* и *активных* $T^{\circ}\text{C}$, смещение сроков максимального летнего прогрева с августа на июль, увеличение *средне многолетней* $T^{\circ}\text{C}$ органогенного горизонта на $0,41^{\circ}\text{C}$; сокращение сроков и степени промерзания минеральных горизонтов и глубины проникновения *отрицательных* $T^{\circ}\text{C}$, поддержание *положительных* $T^{\circ}\text{C}$ на глубине 40 см в теплые зимы.

5.2 Сравнение температурного режима зональных и горных почв

Сравнение годовой динамики температуры зонального лесного подзола на прихлебинской равнине и горных почв Хибин выявило общие закономерности:

- максимальный прогрев подстилки в июле (до $12,4...29,6^{\circ}\text{C}$ на разных участках при температуре атмосферного воздуха $19,3...25,1^{\circ}\text{C}$);
- наибольшее промерзание подстилки в первую неделю февраля (до $-0,6...-9,6^{\circ}\text{C}$ при температуре атмосферного воздуха $-14,0...-24,2^{\circ}\text{C}$);
- положительные значения *средне многолетней* $T^{\circ}\text{C}$ органогенного горизонта, лежащие в диапазоне $0,5...4,2^{\circ}\text{C}$.

Сходные сроки наибольшего летнего прогрева и зимнего промерзания зональных и горных почв свидетельствуют о преобладающем влиянии регионального климатического фактора на динамику почвенных температур, на которую в горах накладываются: высотное изменение метеопараметров, влияние экспозиции склонов, атмосферных процессов и температурных инверсий – подъема теплых воздушных масс вверх по склонам и стекания холодных в горные долины. Несмотря на вариации этих факторов, во всех высотных поясах Хибин, *средне годовые* $T^{\circ}\text{C}$ органогенного горизонта имели положительные значения в диапазоне $1,5...4,2^{\circ}\text{C}$ как и в зональном лесном подзоле ($2,6...5,5^{\circ}\text{C}$). *Слабоотрицательные средне годовые* $T^{\circ}\text{C}$ ($-0,1...-0,9^{\circ}\text{C}$) были зарегистрированы только в маломощных петроземах гольцовых пустынь на предельных высотах Хибин и лишь в отдельные годы. Среди исследованных почв разных горно-

растительных поясов *среднегодовые* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки зонального лесного подзола были сопоставимы с таковыми в поясе березовых криволесий на высотах 380–450 м, а также в хорошо прогреваемых в летний период нарушенных почвах вырубок и гарей и в меньшей степени соответствовали менее низким *среднегодовым* $T^{\circ}\text{C}$ одноименного таежного пояса на склонах Хибин на высотах 235–400 м (рисунок 5.4, Приложение Е.1).

Активные $T^{\circ}\text{C}$ подстилки во всех почвах регистрировали с начала июля – второй декады июля. *Абсолютные годовые максимумы* варьировали в подстилке горно-растительных поясов Хибин от 13,0 до 29,4 $^{\circ}\text{C}$, увеличиваясь в направлении от горных тундр (13,5...14,8 $^{\circ}\text{C}$) и березовых криволесий (13,0...15,8 $^{\circ}\text{C}$) к гольцовым пустыням (12,4...21,5 $^{\circ}\text{C}$) и горно-таежным редколесьям (15,3...20,4 $^{\circ}\text{C}$) и достигали максимальных значений в нарушенных почвах вырубок и гарей (19,9...29,4 $^{\circ}\text{C}$). В зональном лесном подзоле *абсолютные максимумы* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки варьировали в разные годы от 13,6 до 16,5 $^{\circ}\text{C}$, т.е. были сопоставимы с почвами всех поясов на горных склонах, но уступали участкам, расположенным на плоских позициях горного ландшафта: в контрольном сосняке и на его вырубках и гарях в долине Кунийок и на плато в поясе гольцовых пустынь (рисунок 5.4, Приложение Е.1).

В самый холодный месяц года – февраль, во всех высотных поясах подстилка промерзала до *абсолютных минимумов* –0,8...–9,6 $^{\circ}\text{C}$, а в зональном сосняке в разные годы – до значений (–0,5...–3,5 $^{\circ}\text{C}$), сопоставимых с горными вырубками и гарями и горными тундрами, но непродолжительный период (не более 8 суток в первой декаде февраля), и промерзала в меньшей степени по сравнению с поясами гольцовых пустынь, березовых криволесий и горно-таежных редколесий (рисунок 5.4, Приложение Е.1).

Таким образом, по летнему прогреву зональный лесной подзол был сопоставим с горными почвами всех поясов, расположенных на склонах, по зимнему промерзанию – с горными вырубками и гарями и горными тундрами, по *среднегодовым* $T^{\circ}\text{C}$ – с поясом березовых криволесий и нарушенными почвами вырубок и гарей.

Выявлены температурные закономерности осенне-зимнего периода, которые свидетельствуют о большем сходстве температурной динамики зонального лесного подзола не с подзолами одноименного горно-таежного пояса Хибин, а с почвами вышележащих поясов: подзолами березовых криволесий, подбурами горных тундр и петроземами гольцовых пустынь, а также с нарушенными подзолами горных вырубок и гарей.

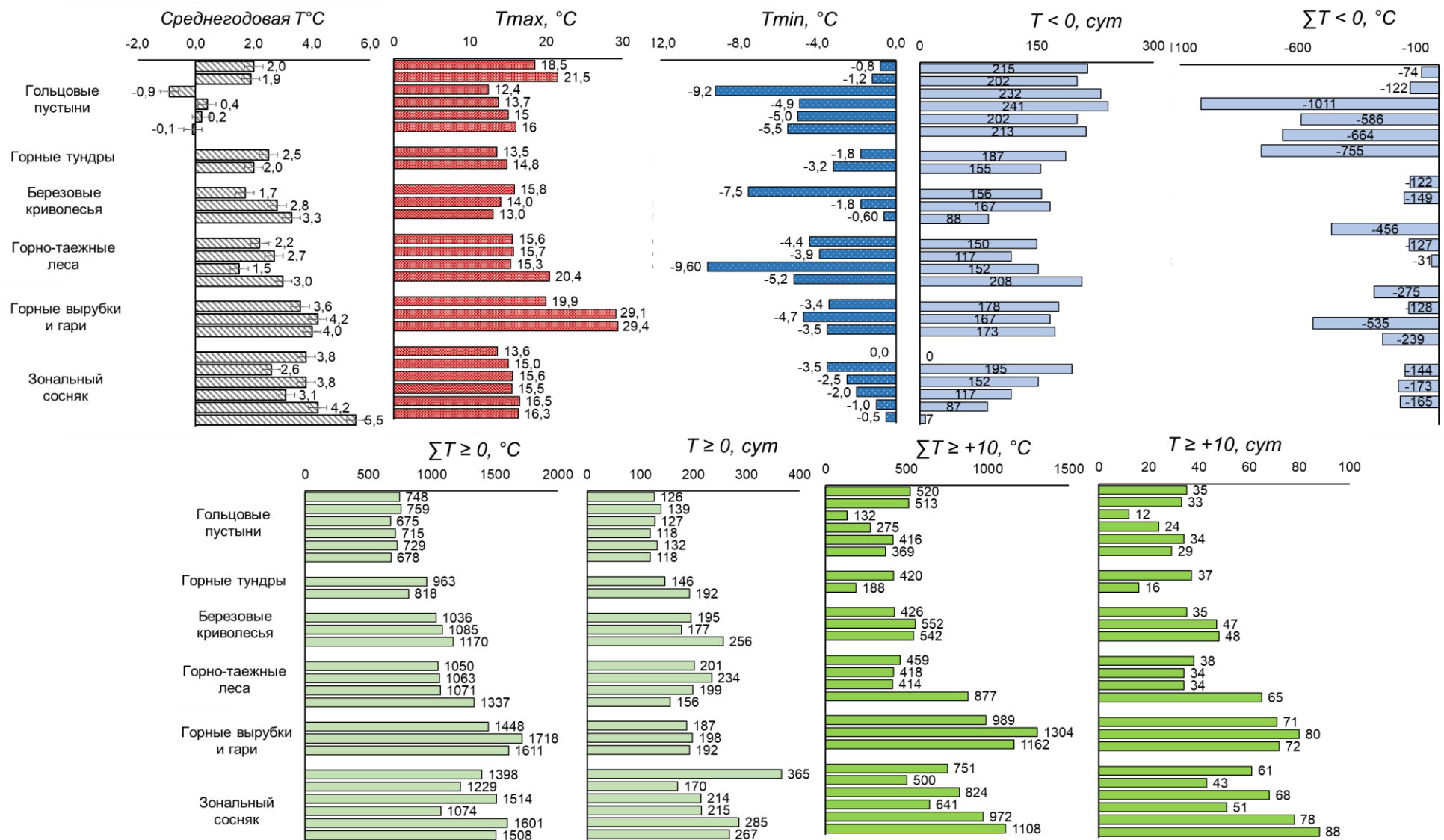


Рисунок 5.4 – Годовые температурные показатели подстилки естественных и нарушенных горных почв в высотном профиле Хибинских гор и в сравнении с зональным лесным подзолом на предгорной равнине

Так, лесные подзолы на предгорной равнине и в поясе березовых криволесий характеризовались сходным «запаздыванием» осеннего остывания подстилки до $T < 5$ °С по сравнению с атмосферным воздухом. Оно составило не менее 48 сут в разные годы для зонального лесного подзола на предгорной равнине, 42–68 сут в горно-таежных редколесьях и березовых криволесьях и снижалось до 35 сут в подбурях горной тундры и 19–33 сут в маломощных петроземах гольцовых пустынь. Таким образом, в условиях короткого вегетационного периода и невысокой суммы положительных температур, теплоизолирующая экологическая функция, характерная для развитого органогенного горизонта почв в лесных экосистемах, проявляется как в зональных лесных подзолах Мурманской области, так и в почвах горно-растительных поясов Хибин, включая маломощные подстилки слаборазвитых петроземов. Это имеет важное значение для поддержания активности почвенной биоты и пролонгации процессов ее жизнедеятельности в условиях короткого периода с положительными температурами воздуха. Наряду с общим для всех почв выраженным промерзанием в начале февраля, для зонального подзола были отмечены дополнительные, предшествующие февральскому, периоды промерзания подстилки в сроки, сходные с гольцовыми пустынями (30–31.X, Глава 3.3) и с почвами межгорной долины (третья декада декабря, Глава 4, рисунок 5.5), что можно объяснить малой мощностью снегового покрова в эти месяцы.

При этом в оба периода зональный подзол промерзал в меньшей степени, чем горные почвы на 1,7...5,7 °С. Известно, что снеговой покров обладает теплоизолирующими свойствами для почв в холодный период года и уменьшает глубину их промерзания. В различных ландшафтах Хибин высота снежного покрова варьирует более чем в 2 раза даже в пределах одного горно-растительного пояса: 80–180 см в горно-тундровом, 80–210 см на плато гольцовых пустынь, 100–230 см в горных долинах с холмистым моренным рельефом, с еловыми и сосновыми лесами, 110–260 см в поясе березовых криволесий и в горно-таежных редколесьях, расположенных в нижних частях склонов (Сапунов и др., 2001). Мощность снегового покрова может меняться в зависимости от скорости ветра и интенсивности метелевого переноса снега (Яковлев, 1961; Куваев, 1985; Сапунов и др., 2001).

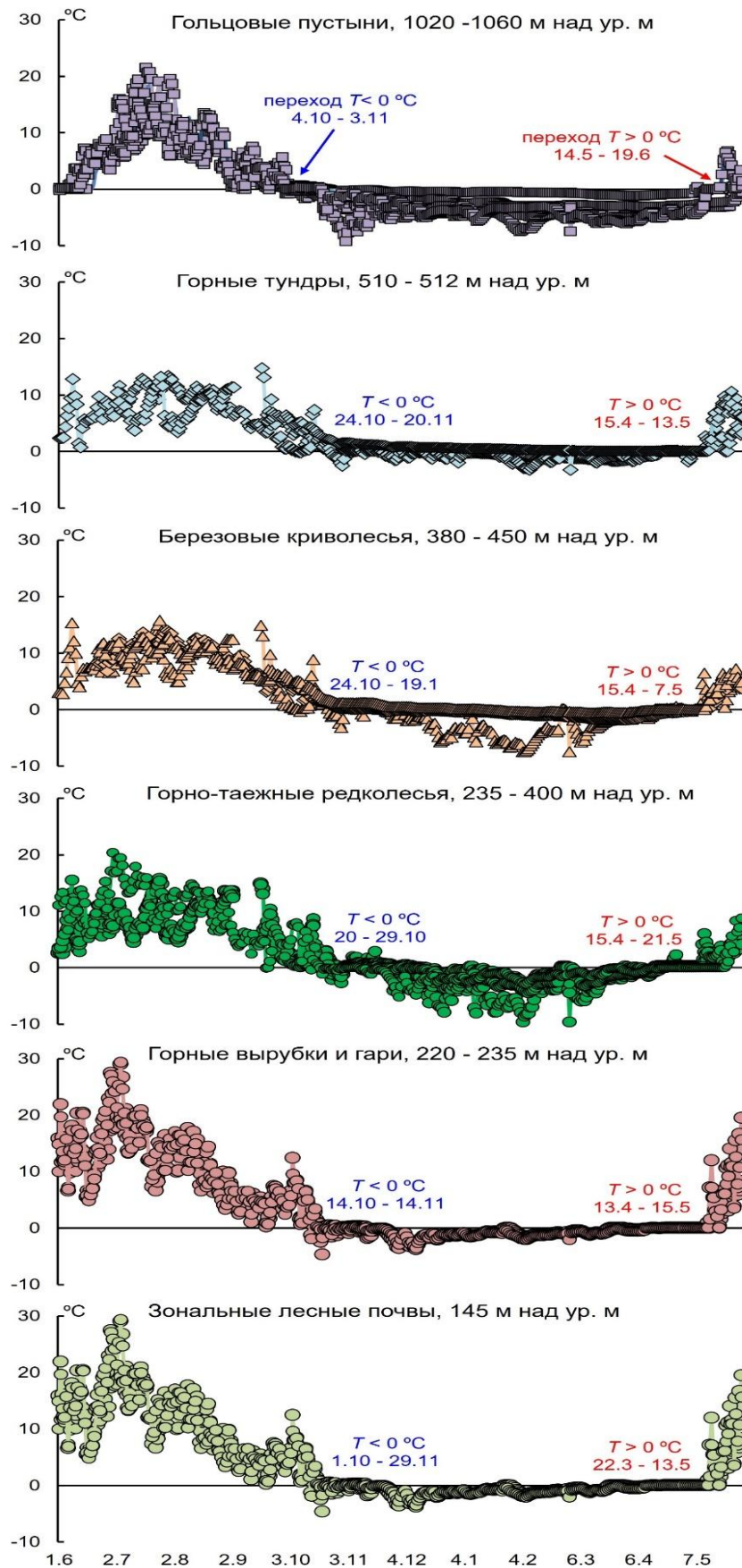


Рисунок 5.5 – Годовая динамика температуры в подстилке зонального лесного подзола в сравнении с почвами основных горно-растительных поясов Хибин на разных высотах

Общая продолжительность периода с *отрицательными* или *околонулевыми* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки в Хибинах увеличивалась при переходе от лесных поясов к горным тундрам и холодным гольцовым пустыням: горно-таежные редколесья (3,9–6,9 мес) → березовые криволесья (5,2–5,5 мес) → вырубки и гари (5,2–5,9 мес) → горные тундры (5,1–6,2 мес) → гольцовые пустыни (6,7–7,7 мес) (рисунок 5.4). В зональном сосняке в холодные годы продолжительность периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ достигала 5,0–6,5 месяцев (152–195 сут), т.е. совпадала с таковой в подзолах березовых криволесий (156–167 сут) и подбурях горной тундры (155–187 сут), а также в нарушенных подзолах вырубок и гарей в долине Кунийок (157–178 сут). В сравнении с одноименным горно-таежным поясом, в зональном сосняке продолжительность периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ была меньше на две недели даже в холодные годы. В теплые годы зональный лесной подзол был теплее всех горных почв, так как период с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ либо не превышал 87 сут, либо вообще отсутствовал.

Различия между зональным лесным подзолом и горными почвами проявлялись и в весенний период, когда зональный подзол в теплые годы оттаивал на 17–90 сут раньше всех типов горных почв (с 21–26.III), а в холодные годы – на 9–16 сут позже горно-лесных подзолов и горно-тундровых подбуров (12.V–1.VI против 13.IV–21.V), но раньше петроземов холодных гольцовых пустынь (19.VI) (рисунок 5.5).

Отличительными особенностями зонального северотаежного подзола на предгорной равнине от подзолов горно-таежных редколесий были: меньшая (на две недели) продолжительности периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки; меньшая степень промерзания до *абсолютных минимумов* ($-0,5 \dots -3,5^{\circ}\text{C}$ против $-2,9 \dots -9,6^{\circ}\text{C}$); прогрев до меньших *абсолютных годовых максимумов* ($13,6 \dots 16,5^{\circ}\text{C}$ против $15,3 \dots 20,4^{\circ}\text{C}$), но большая продолжительность периода с *положительными* (170...365 сут против 156...234 сут) и *активными* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки (43...88 сут против 34...65 сут), что в целом в годовом цикле отражало более теплый температурный режим зонального лесного подзола по сравнению с подзолами горно-лесных поясов (Приложение Е.1).

Выявленное нами в ходе исследований многолетней динамики $T^{\circ}\text{C}$ зонального лесного подзола сокращение продолжительности периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ в сравнении с результатами учета многолетней динамики $T^{\circ}\text{C}$ в 1971–1979 гг. (Семко, 1989) (Глава 5.1), оказалось актуальным и для горных почв Хибин. Исследованиями прежних лет было показано, что период с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ в Хибинах длился от

7,5–8 мес. в почвах межгорных долин (370 м над ур.м.) до 8,5–9 мес. на горных плато на высоте 900 м (Крючков, 1958 а, б). По нашим данным, с 2016 по 2023 гг. продолжительность этого периода не превысила 6,5 месяцев в зональном подзоле и 7,7 мес в почвах Хибин, включая петроземы на предельно высотных отметках (1020–1060 м над ур. м.) (рисунок 5.6., Главы 3, 4, 5.1).

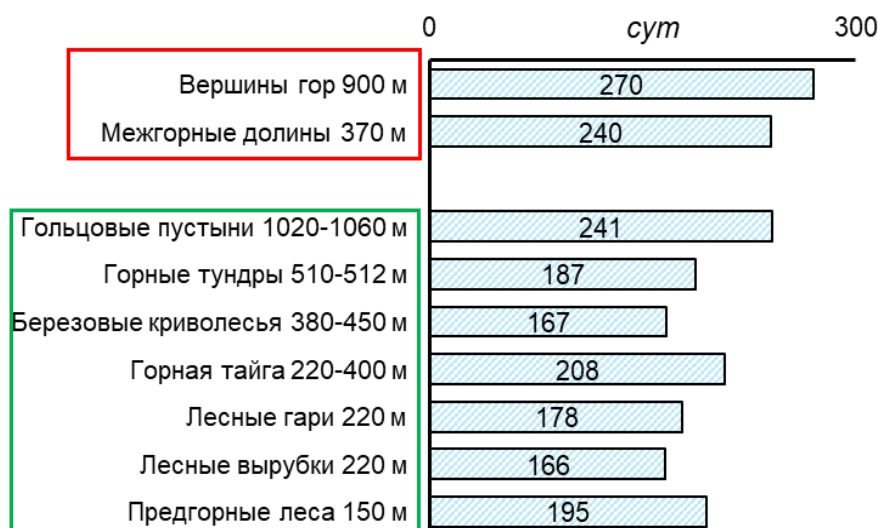


Рисунок 5.6 – Максимальная продолжительность периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки в почвах высотных поясов Хибин и предгорных лесов (зональный подзол). В красной рамке – литературные данные за 1956–1957 гг. (Крючков, 1958 а, б), в зеленой рамке – собственные данные за 2019–2023 гг.

Среднемноголетние суммы положительных $T^{\circ}\text{C}$ варьировали от 1500–1718 $^{\circ}\text{C}$ в нарушенных почвах горных *вырубок* и *гарей*, 1000–1130 $^{\circ}\text{C}$ в почвах горно-лесных поясов до 700–900 $^{\circ}\text{C}$ в подбурях горных тундр и петроземах гольцовых пустынь. В зональном лесном подзоле этот показатель (1387 $^{\circ}\text{C}$) был на 250–680 $^{\circ}\text{C}$ выше, чем в почвах всех высотных поясов Хибин, но ниже, чем в нарушенных почвах горных *вырубок* (на 335 $^{\circ}\text{C}$) и *гарей* (на 65 $^{\circ}\text{C}$) (рисунок 5.7).

В целом, на повышение *среднемноголетней $T^{\circ}\text{C}$* воздуха, отмечаемое за последнее десятилетия в центральной части Мурманской области, зональные и горные почвы отреагировали сокращением глубины и продолжительности зимнего промерзания, более ранним весенним прогревом и более поздним осенним остыванием (Глава 4, Глава 5.1), что согласуется с выводами о расширении границ теплого времени года (в обе стороны) и периода вегетации растительных сообществ, по результатам исследований на островах Баренцева моря (Лавриненко, Лавриненко, 2013).

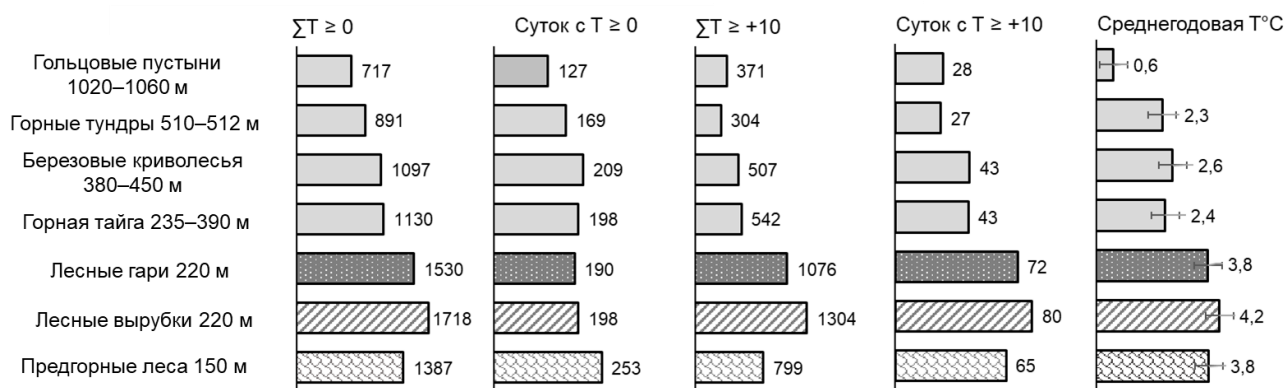


Рисунок 5.7 – Среднемноголетние температурные показатели подстилки естественных и нарушенных горных почв в высотном профиле Хибинских гор и в сравнении с зональным лесным подзолом на предгорной равнине

Сравнение температурного режима зонального лесного подзола на прихибинской равнине и горных почв Хибин показало, что первостепенное влияние на его динамику в годовых циклах как в зональных, так и в горных северотаежных лесах оказывает региональный климатический фактор, что проявляется в сходных сроках наибольшего летнего прогрева (в июле–августе) и зимнего промерзания (февраль) и положительных значениях *среднемноголетней* $T^{\circ}\text{C}$ органогенного горизонта.

Основные различия между зональным лесным подзолом на предгорной равнине и горными почвами проявлялись: в сроках перехода *положительных* $T^{\circ}\text{C}$ (оттаивание), когда зональный лесной подзол в теплые годы оттаивают раньше, чем горные на 17–90 сут, а в холодные годы позже на 9–16 сут позже, чем горные подзолы и подбуры; *сумме положительных* $T^{\circ}\text{C}$ в зональном сосняке превышающей таковые в поясах горно-лесных, горно-тундровых и гольцовых пустынь Хибин.

Отличительными особенностями зонального северотаежного подзола от подзолов горно-таежных редколесий были: меньшая продолжительности периода с *отрицательными* $T^{\circ}\text{C}$ подстилки; меньшая степень ее промерзания до *абсолютных минимумов*; прогрев до меньших *абсолютных годовых максимумов*, но большая продолжительность периода с *положительными* и *активными* $T^{\circ}\text{C}$, что, в целом, отражает более теплый режим зонального подзола в годовом цикле по сравнению с подзолами горно-таежного пояса в основании горных склонов. Температурный режим зонального лесного подзола был более сопоставим с лучше прогреваемыми подзолами березовых криволесий в средних частях горных склонов по сходным показателям

абсолютных максимальных $T^{\circ}\text{C}$, продолжительности периода с отрицательными $T^{\circ}\text{C}$, периодом «запаздывания» осеннего остывания ($T < 5^{\circ}\text{C}$) подстилки по сравнению с атмосферным воздухом.

Глава 6. ТЕМПЕРАТУРНАЯ БАЗА ДАННЫХ ГОРНЫХ ПОЧВ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ

С целью структурированного хранения и удобства использования массива данных, полученного за период 2012–2023 гг. и ежегодно пополняемого измерениями температуры в мониторинговых и вновь обследуемых горных и равнинных биогеоценозах, сформирована авторская информационная система (ИС), зарегистрированная как «Температурная база данных горных почв Кольской Субарктики», в Федеральной службе по интеллектуальной собственности «Роспатент» в 2022 году (Приложение Ж.1) (Штабровская, Зенкова, 2024).

Информационная система объединила температурные ряды, полученные в трех районах Мурманской области: Хибинском горном массиве (центральный р-он, подзона северной тайги), на мониторинговой участке северотаежного хвойно-мелколиственного леса на прихибинской равнине, а также в горах Государственного природного заповедника «Пасвик» с прилегающей территорией и природного парка «Кораблекк» (северо-запад области вдоль государственной границы с Северной Норвегией, зона притундровых лесов) федерального значения (Зенкова, 2012, 2013 б, Штабровская, Зенкова, 2024) (рисунок 6.1).

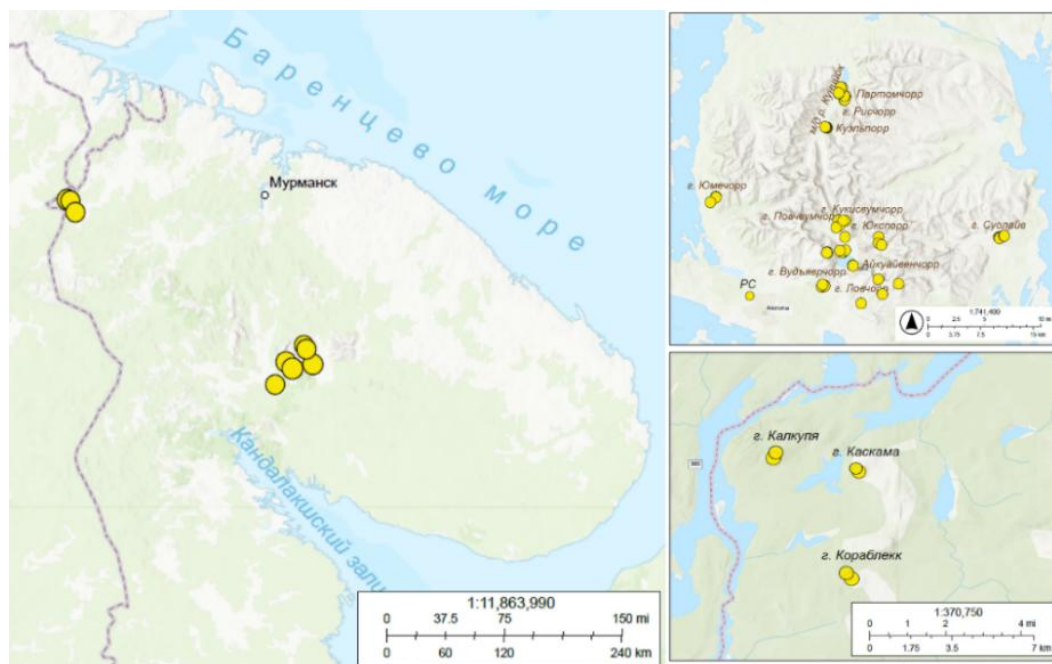


Рисунок 6.1 – Районы исследования почвенных температур, включенные в информационную систему «Температурная база данных горных почв Кольской Субарктики»

Таблица 6.1 – Характеристика районов исследования природных и антропогенно-нарушенных территорий Мурманской области

Показатели	Горные районы		Предгорная равнина
	Пасвик	Хибины	Равнинный сосняк
Координаты*	69°14' – 69°17' N 29°22 – 29°28' E	67°36' – 67°50 N 33°14' – 34°10' E	67°34'43,6" N 33°17'51,8" E
Природная подзона	Граница северной тайги и лесотундры	Северная тайга	Северная тайга
Климатический район Мурманской области	Подвержен влиянию Баренцева моря	Горный климатический район	Центральный континентальный район
Температурные показатели воздуха, °C [1–3,11]	T ср. годовая –2,0 °C T ср. января –12 °C T ср. июля 12 °C	T ср. годовая –1,2 °C T ср. февраля –13 °C T ср. июля 12 °C	T ср. годовая –0,8 °C T ср. февраля –12 °C T ср. июля 14 °C
Годовая сумма осадков, мм	800 (преобладают летом)	900–1200 (преобладают зимой)	500–600 (преобладают летом)
Рельеф ^[1,4,5]	Денудационно-тектонический		Автоморфная позиция ландшафта
	Низкогорный	Среднегорный	
Высотная поясность (протяженность, м над ур. м.) ^[1, 4, 5]	Горные тундры (выше 300 м) Березовые кривоlessя (≥ 200) Горная тайга (≥ 50)	Гольцовые пустыни (950–1200) Горные тундры (450–950) Березовые кривоlessя (380–440(500)) Горная тайга (220–380)	Зональная тайга 140 $\pm$ 10
Подстилающие породы ^[1,10,11]	Метаморфизованные габбро, пироксениты, габброанортозиты и амфиболиты	Магматические щелочные породы, покрытые моренами горных оледенений	Песчаные озерно-ледниковые отложения с примесью покровной морены
Почвы ^[7–9]	Горно-тундровые криоземы Горно-тундровые подбуры Горнолесные подзолы иллювиально-железистые	Горные петроземы горно-тундровые подбуры многогумусовые горнолесные подзолы иллювиально-многогумусовые	Песчаный лесной подзол иллювиально-гумусовый
Период исследований	2012–2013	2013–2022	2016–2022
Исследованные горы	Калкупя (заповедник Пасвик); Каскама; Кораблекк (одноименный природный парк)	Партомчорр; Рисчорр; Куэльпорр; Юмечорр; Юкспорр; Суолайв; Айкуайвенчорр; Вудьяврчорр; долина реки Кунийок	–
Экспозиция*	СЗ, ЮЗ, ЮВ	С, СЗ, З, ЮЗ, Ю, ЮВ	–
Исследованный диапазон высот, м над ур. м.*	125–345	220–1060	140 $\pm$ 10
Число биогеоценозов	6	40	1
Направления исследований	Учеты температуры и почвенной фауны	Регистрация температуры. Почвенно-зоологические и микробиологические исследования.	

Примечание. *Данные получены по GPS-навигатору GarminTrex Touch 35. ¹Государственный природный заповедник «Пасвик»; ²Димо, 1972; ³Семко, 1982; ⁴Хибины..., 2022; ⁵Рябцева, 1975; ⁶Мазыро, 1936; ⁷Национальный Атлас..., 2011; ⁸Ушакова, 1997; ⁹Миловский, Кононов, 1982; ¹⁰Светов и др., 2019; ¹¹Яковлев, 1961

К настоящему времени $T^{\circ}C$ естественных горных почв Мурманской области исследована в 41 биогеоценозе 11-ти Хибинских гор и в 6 биогеоценозах трех гор заповедника Пасвик и его окрестностей, а также на антропогенно-нарушенных территориях (гарей и вырубок) в межгорной долине реки Кунийок (таблица 6.1).

ИС включает 14 электронных таблиц формата Microsoft Excel, которые ежегодно пополняются измерениями $T^{\circ}C$ в мониторинговых биогеоценозах и вновь обследованных горных экосистемах.

Атрибутивная таблица базы данных (рисунок 6.2) оформлена в двух версиях – на русском и английском языках, и для каждой исследованной точки содержит указание ее аббревиатуры, географических координат (в форматах DD.MM.SS и DD.DDDDD), горы, экспозиции склона, высоты над уровнем моря, принадлежности к горно-растительному поясу, категории природных или нарушенных, лесных или открытых биогеоценозов.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
№	Location	№	Mountain	№	Year	№	Belt	№	Plots	Abbreviation	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Altitude	№	Exposition	№
1	PASVIK	11	Karablekk	1yr	2012	IV	mountain tundra	4	mountain tundra	KNWT	69°14'18"	29°27'41"	69.238333	29.461389	303		NW	IVex
2		11	Karablekk	1yr	2012		birch crooked forest	3	birch crooked forest	KNWB	69°14'23"	29°27'22"	69.242500	29.456111	249		NW	IVex
3		11	Karablekk	1yr	2012		mountain taiga	1	pine forest	KNWP	69°14'33"	29°27'22"	69.242500	29.456111	155		NW	IVex
4		12	Kalkupya	1yr	2012		birch crooked forest	3	birch crooked forests	KISEB	69°17'02"	29°22'43"	69.283889	29.378611	200		SE	Vlex
5		12	Kalkupya	1yr	2012		mountain taiga	1	Pine forest	KISEP	69°16'58"	29°22'53"	69.282778	29.381389	125		SE	Vlex
6		13	Kaskama	2yr	2013	IV	mountain tundra	4	mountain tundra	KsSET	69°16'41"	29°28'23"	69.278056	29.473056	344		SW	Vex
7		13	Kaskama	2yr	2013		birch crooked forest	3	birch crooked forests	KsSEB	69°16'26"	29°28'37"	69.273889	29.476944	291		SW	Vex
8		13	Kaskama	2yr	2013		mountain taiga	1	pine forest	KsSEP	69°16'8"	29°28'16"	69.268889	29.471111	162		SW	Vex
9																		
10	KIBINY	11	Putelchorr	10yr	2021		mountain taiga	1	Pine forest	V-P21	67°50'13.9"	33°39'35.1"	67.833333	33.650000	238		valley	0ex
11		11	Putelchorr	10yr	2021		mountain taiga	7	burnt forest	V-Pb21	67°50'16.9"	33°39'23.7"	67.833333	33.650000	227		valley	0ex
12		11	Putelchorr	10yr	2021		mountain taiga	8	cutting down	V-c21	67°50'13.9"	33°39'35.1"	67.833333	33.650000	234		valley	0ex
13		11	Putelchorr	10yr	2021		mountain taiga	9	burnt cutting down	V-bc21	67°50'16.9"	33°39'23.7"	67.833333	33.650000	221		valley	0ex
14		11	Putelchorr	4yr	2015		mountain taiga	1	pine forest	V-P15	67°49'49.4"	33°39'00.9"	67.816667	33.650000	238		valley	0ex
15		11	Putelchorr	4yr	2015		mountain taiga	7	burnt forest	V-Pb15	67°49'51.6"	33°38'46.2"	67.816667	33.633333	227		valley	0ex
16		11	Putelchorr	7yr	2018		mountain taiga	1	pine forest	V-P18	67°50'13.9"	33°39'35.1"	67.833333	33.650000	238		valley	0ex
17		11	Putelchorr	7yr	2018		mountain taiga	7	burnt forest	V-Pb18	67°50'16.9"	33°39'23.7"	67.833333	33.650000	227		valley	0ex
18		11	Putelchorr	7yr	2018		mountain taiga	8	cutting down	V-c18	67°49'49.4"	33°39'00.9"	67.816667	33.650000	221		valley	0ex
19		11	Putelchorr	7yr	2018		mountain taiga	9	burnt cutting down	V-bc18	67°49'51.6"	33°38'46.2"	67.816667	33.633333	224		valley	0ex
20		12	Partomchorr	2yr	2013		mountain taiga	1	pine-spruce forest	PrSEP	67°49'39"	33°40'18"	67.827500	33.671667	295		SE	Vlex
21		13	Rischorr	2yr	2013	IV	mountain tundra	4	shrub-lichen tundra	RNT	67°49'17"	33°40'04"	67.821389	33.667778	428		N	lex
22		13	Rischorr	2yr	2013		birch crooked forest	3	birch crooked shrubby forest	RNWB	67°49'22"	33°40'10"	67.822778	33.669444	377		NW	lex
23		13	Rischorr	2yr	2013		mountain taiga	1	pine-spruce forest	RNWP	67°49'36"	33°40'06"	67.826667	33.668333	296		NW	lex
24		14	Yumehorr	3yr	2014	IV	mountain tundra	3	shrub-lichen tundra	YmSWT	67°47'23.5"	33°36'34.8"	67.783333	33.600000	505		SW	Vex
25		14	Yumehorr	3yr	2014		birch crooked forest	3	birch crooked forests	YmSWB	67°47'24.5"	33°36'2.2"	67.790000	33.600556	484		SW	Vex
26		14	Yumehorr	3yr	2014		mountain taiga	1	pine forest	YmSWP	67°47'26.2"	33°36'20.5"	67.783333	33.600000	314		SW	Vex
27		15	Yuksporr	3yr	2014	IV	mountain tundra	5	high-mountain moss-lichen tundra	YkSHT	67°42'03"	33°14'06"	67.700833	33.235000	730	V	S	lex
28		15	Yuksporr	3yr	2014		mountain tundra	4	moss-lichen-shrub tundra	YkST	67°47'22.3"	33°36'45.2"	67.783333	33.600000	645		S	lex
29		15	Yuksporr	3yr	2014		birch crooked forest	4	birch crooked shrubby forest	YkSB	67°47'23.2"	33°36'40.0"	67.783333	33.611111	460		S	lex
30		16	Suolive	3yr	2014	IV	mountain tundra	4	shrub-lichen tundra	SWT	67°38'59"	33°47'17"	67.649722	33.788056	387		W	lex

Рисунок 6.2 – Фрагмент атрибутивной таблицы температурной базы данных

Для каждого биогеоценоза указан год и сезон измерений, а также комплексность проведенных исследований: учет температурных показателей, проведение почвенно-зоологических и/или микробиологических работ, отбор почвенных образцов для химического анализа. Дополнительно представлены 2 варианта расширенной атрибутивной таблицы (на русском и английском языках) с аналогичным детальным описанием тех горных биогеоценозов, где ежегодные почвенно-зоологические исследования выполнялись с 2008 г. до использования современных термохрон.

Таблица первичных данных (рисунок 6.3) включает ряды показаний, зарегистрированных термохронами с периодичностью 1, 2, 3 или 4 часа.

ФайлПравкаВидВставкаФорматСервисДанныеОкноСправка

Введите вопрос

Аrial Narrow14

Открыть с помощью...Закончить проверку...

AS25

	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	Строка формулы
1	Partomchorr				Rischorr				Yumechorr				Yuksport				Suol						
2	2013	Время	PrseP		2013	Время	RnSB	RnB	RnT		2013	Время	YmSB	YmP	YmSB	YmT	2014	Время	YkSB	YkT	YkHT	2014	Вре
3	13.07.2013	19:59	12.582		13.07.2013	17:59	11.613	9.051	8.637		17.06.2014	1:59	7.265	7.692	7.935		27.06.2014	13:59	9.184	6.819	3.655	24.06.2014	3:5
4	13.07.2013	21:59	12.081		13.07.2013	19:59	11.613	9.051	8.637		17.06.2014	3:59	7.014	7.064	7.434		27.06.2014	15:59	6.294	2.744	4.031	24.06.2014	5:5
5	13.07.2013	23:59	11.078		13.07.2013	21:59	11.613	9.552	8.637		17.06.2014	5:59	6.763	6.688	7.057		27.06.2014	17:59	5.979	2.744	4.094	24.06.2014	7:5
6	14.07.2013	01:59	10.576		13.07.2013	23:59	11.112	9.552	8.135		17.06.2014	7:59	6.637	6.437	6.806		27.06.2014	19:59	5.979	2.744	3.843	24.06.2014	9:5
7	14.07.2013	03:59	10.074		14.07.2013	01:59	10.110	9.051	8.135		17.06.2014	9:59	6.637	6.500	6.743		27.06.2014	21:59	5.854	2.619	3.216	24.06.2014	11:5
8	14.07.2013	05:59	10.074		14.07.2013	03:59	10.110	9.051	7.634		17.06.2014	11:59	6.700	7.002	6.994		27.06.2014	23:59	5.665	2.493	2.589	24.06.2014	13:5
9	14.07.2013	07:59	10.074		14.07.2013	05:59	9.609	9.051	7.634		17.06.2014	13:59	7.014	8.256	7.810		28.06.2014	1:59	5.476	2.368	2.150	24.06.2014	15:5
10	14.07.2013	09:59	10.074		14.07.2013	07:59	10.110	9.051	7.634		17.06.2014	15:59	7.265	10.012	9.002		28.06.2014	3:59	5.225	2.242	1.899	24.06.2014	17:5
11	14.07.2013	11:59	10.576		14.07.2013	09:59	11.112	9.051	8.135		17.06.2014	17:59	7.390	9.699	9.942		28.06.2014	5:59	5.099	2.242	1.774	24.06.2014	19:5
12	14.07.2013	13:59	11.579		14.07.2013	11:59	11.613	9.552	8.637		17.06.2014	19:59	7.453	9.636	11.134		28.06.2014	7:59	4.973	2.242	1.836	24.06.2014	21:5
13	14.07.2013	15:59	12.081		14.07.2013	13:59	13.116	10.054	9.138		17.06.2014	21:59	7.390	8.821	10.820		28.06.2014	9:59	5.162	2.242	2.025	24.06.2014	23:5
14	14.07.2013	17:59	13.585		14.07.2013	15:59	13.116	10.054	9.138		17.06.2014	23:59	7.076	7.817	9.754		28.06.2014	11:59	5.602	2.619	3.592	25.06.2014	1:5
15	14.07.2013	19:59	14.087		14.07.2013	17:59	13.617	10.556	9.639		18.06.2014	1:59	6.763	6.939	8.625		28.06.2014	13:59	6.042	3.058	5.661	25.06.2014	3:5
16	14.07.2013	21:59	13.585		14.07.2013	19:59	13.116	10.556	9.639		18.06.2014	3:59	6.511	6.249	7.622		28.06.2014	15:59	6.294	3.309	6.413	25.06.2014	5:5
17	14.07.2013	23:59	12.081		14.07.2013	21:59	12.615	10.556	9.138		18.06.2014	5:59	6.260	5.809	6.994		28.06.2014	17:59	5.545	3.559	7.228	25.06.2014	7:5
18	15.07.2013	01:59	11.078		14.07.2013	23:59	11.112	10.054	8.135		18.06.2014	7:59	6.135	5.684	6.618		28.06.2014	19:59	6.608	3.497	6.163	25.06.2014	9:5
19	15.07.2013	03:59	10.074		15.07.2013	01:59	9.609	9.552	7.634		18.06.2014	9:59	6.135	6.123	6.555		28.06.2014	21:59	6.419	3.371	5.160	25.06.2014	11:5
20	15.07.2013	05:59	9.573		15.07.2013	03:59	8.105	9.552	7.133		18.06.2014	11:59	6.323	6.813	6.869		28.06.2014	23:59	6.168	3.183	3.968	25.06.2014	13:5
21	15.07.2013	07:59	9.573		15.07.2013	05:59	8.105	9.051	7.133		18.06.2014	13:59	6.511	6.939	7.183		29.06.2014	1:59	5.791	2.870	2.526	25.06.2014	15:5
22	15.07.2013	09:59	9.573		15.07.2013	07:59	8.105	9.051	7.634		18.06.2014	15:59	6.574	6.939	7.308		29.06.2014	3:59	5.476	2.682	2.025	25.06.2014	17:5
23	15.07.2013	11:59	10.074		15.07.2013	09:59	9.609	9.051	7.634		18.06.2014	17:59	6.574	7.002	7.308		29.06.2014	5:59	5.288	2.619	1.836	25.06.2014	19:5
24	15.07.2013	13:59	11.078		15.07.2013	11:59	11.613	9.552	9.138		18.06.2014	19:59	6.574	6.813	7.120		29.06.2014	7:59	5.288	2.682	2.275	25.06.2014	21:5
25	15.07.2013	15:59	11.579		15.07.2013	13:59	13.116	10.054	9.639		18.06.2014	21:59	6.511	6.562	6.932		29.06.2014	9:59	5.665	3.183	4.470	25.06.2014	23:5

АТриггера

Рисунок 6.3 – Фрагмент таблицы первичных показаний термохронов

Из них в отдельные таблицы отсортированы значения, *минимальные* и *максимальные* за каждые сутки, указаны часы наступления этих $T^{\circ}\text{C}$, а также периоды прогрева (от T_{min} к T_{max}) и остывания воздуха и почвы (рисунок 6.4).

Основную часть ИС составляют вкладки с рассчитанными показателями, перечисленными в таблице 6.2. Рассчитанные показатели позволяют статистически сравнивать температурные условия в смежных высотных поясах в пределах одного склона, в одноименных поясах разных склонов или гор, в лесных и открытых, природных и нарушенных биогеоценозах, а также между горными и зональными почвами в зависимости от их географического положения и климатических особенностей в пределах Мурманской области (Штабровская, Зенкова, 2024).

Таблица 6.2 – Рассчитанные температурные показатели, включенные в ИС

Показатели	Динамика температуры			
	Суточная	Месячная	Летняя, VI–VIII	Годовая
$T_{\text{средняя}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{ср}_{\text{сут}}}$	$T_{\text{ср}_{\text{мес}}}$	$T_{\text{ср}_{\text{лет}}}$	$T_{\text{ср}_{\text{год}}}$
$T_{\text{минимальная}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{min}_{\text{сут}}}$	$T_{\text{min}_{\text{мес}}}$	$T_{\text{min}_{\text{лет}}}$	$T_{\text{min}_{\text{год}}}$
$T_{\text{максимальная}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}_{\text{сут}}}$	$T_{\text{max}_{\text{мес}}}$	$T_{\text{max}_{\text{лет}}}$	$T_{\text{max}_{\text{год}}}$
Амплитуда, $^\circ\text{C}$	$T_{\text{min}_{\text{сут}}} - T_{\text{max}_{\text{сут}}}$	$T_{\text{min}_{\text{мес}}} - T_{\text{max}_{\text{мес}}}$	$T_{\text{min}_{\text{лет}}} - T_{\text{max}_{\text{лет}}}$	$T_{\text{min}_{\text{год}}} - T_{\text{max}_{\text{год}}}$
Вариабельность $CV, \%$	$CV_{\text{сут}}$	$CV_{\text{мес}}$	$CV_{\text{лет}}$	$CV_{\text{год}}$
<i>Сумма с пороговыми значениями</i>				
$T < 0 ^\circ\text{C}$	не учит	$\sum T_{\text{мес}} < 0$	$\sum T_{\text{лет}} < 0$	$\sum T_{\text{год}} < 0$
$T \geq 0 ^\circ\text{C}$	–/–	$\sum T_{\text{мес}} \geq 0$	не учит.	$\sum T_{\text{год}} \geq 0$
$0 \leq T < 5 ^\circ\text{C}$	–	$\sum (0 \leq T_{\text{мес}} < 5)$	$\sum (0 \leq T_{\text{лет}} < 5)$	$\sum (0 \leq T_{\text{год}} < 5)$
$5 \leq T < 10 ^\circ\text{C}$	–	$\sum (5 \leq T_{\text{мес}} < 10)$	$\sum (5 \leq T_{\text{лет}} < 10)$	$\sum (5 \leq T_{\text{год}} < 10)$
$T \geq 10 ^\circ\text{C}$	–	$\sum (T_{\text{мес}} \geq 10)$	$\sum (T_{\text{лет}} \geq 10)$	$\sum (T_{\text{год}} \geq 10)$
<i>Число дней с пороговыми значениями</i>				
$T < 0 ^\circ\text{C}$	–	$n(T_{\text{мес}} < 0)$	$n(T_{\text{лет}} < 0)$	$n(T_{\text{год}} < 0)$
$T \geq 0 ^\circ\text{C}$	–	$n(T_{\text{мес}} \geq 0)$	$n(T_{\text{лет}} \geq 0)$	$n(T_{\text{год}} \geq 0)$
$0 \leq T < 5 ^\circ\text{C}$	–	$N(0 \leq T_{\text{мес}} < 5)$	$n(0 \leq T_{\text{лет}} < 5)$	$n(0 \leq T_{\text{год}} < 5)$
$5 \leq T < 10 ^\circ\text{C}$	–	$n(5 \leq T_{\text{мес}} < 10)$	$n(5 \leq T_{\text{лет}} < 10)$	$n(5 \leq T_{\text{год}} < 10)$
$T \geq 10 ^\circ\text{C}$	–	$n(T_{\text{мес}} \geq 10)$	$n(T_{\text{лет}} \geq 10)$	$n(T_{\text{год}} \geq 10)$

Значения рассчитанных показателей ранжированы по нескольким факторам, каждому из которых в ИС отведена отдельная вкладка. Фактор «район исследований» имеет три градации («Пасвик», «Хибины», «Равнинный сосняк»); фактор «горно-растительный пояс» – 4 градации (горно-таежный, березовых криволесий, горных тундр и холодных гольцовых пустынь), фактор «высота над уровнем моря» – 7 градаций с интервалом 140 м, рассчитанным по формуле Лагранжа (Смирнов, 2008); факторы «открытые–закрытые» и «природные–антропогенные биотопы», которые в свою очередь согласно статистическим различиям разделены на 2 под градации «вырубленные – не вырубленные» и «горелые – не горелые» территории.

В отдельные электронные таблицы сгруппированы данные по «пороговым» температурам: отрицательным, положительным, слабоположительным,

эффективным и активным $T^{\circ}C$. Рассчитаны суммы каждой из пороговых температур и число суток с этими температурами в каждом исследованном биогеоценозе.

Суммарно в ИС включены сведения о 47 исследованных горных, зональных и антропогенных биогеоценозах. Получено свыше 130 тыс. первичных измерений в природных горных биогеоценозах, на антропогенно-нарушенных территориях (2015–2023) – свыше 380 тыс., в равнинном сосняке (2016–2023) – свыше 101 тыс.

В отличие от $T^{\circ}C$ воздуха – стандартного показателя, фиксируемого метеослужбами и включенного во все региональные и мировые климатические базы данных, температура почв является объектом более частных тематических научных исследований. В последние годы государственную регистрацию получил целый ряд баз данных, которые связаны с температурами мерзлых почв и грунтов геокриологической зоны. Они являются основой для построения прогнозных моделей формирования или деградации этих пород в зависимости от климатических изменений (обзор: Павлов, 2008; Мажитова, 2008; Каверин и др., 2014; Каверзнева и др., 2016; Федоров–Давыдов и др., 2018; Светлаков и др., 2021). Важный прикладной характер имеют базы данных агрометеорологического мониторинга температурного режима естественных и окультуренных почв (Страшная и др., 2016; Бондарович, Понькина, 2017). Широко распространены базы данных по многолетним учетам температуры почв, которые сопровождаются мониторинговыми наблюдениями за состоянием экосистем, нарушенных пожарами (Казеев и др., 2020), рубками (Казеев и др., 2019) или подверженных загрязнению промышленными выбросами (Ершов и др., 2022). Экологический подход реализован в базе данных по величине и динамике температуры горных почв в зависимости от высоты над уровнем моря (Казеев и др., 2021). «Температурная база данных горных почв Кольской Субарктики», согласно делению почвенных атрибутивных баз данных по их основному назначению (Белоусова, Мешалкина, 2009; Белоусова и др., 2013), относится к типу тематических рабочих информационных систем (типу «рабочий стол»), так как это – инструмент, необходимый, в первую очередь, коллективу авторов, выполняющему комплексные экологические исследования заполярных горных экосистем.

За двенадцатилетний период исследований (2012–2023) в горных и зональных экосистемах Мурманской области получен обширный объем температурных показаний, который сведен в авторскую информационную систему, не имеющую аналогов для заполярных гор Мурманской области. Информационная система, зарегистрированная в Федеральной службе по интеллектуальной собственности «Роспатент», совместима с многолетним набором данных по разнообразию и численности горного населения беспозвоночных. Она ежегодно пополняется измерениями температуры на мониторинговых и вновь обследуемых горных биогеоценозах и является ценным инструментом научной аналитической работы, позволяющей выявить статистически достоверные тренды современной динамики температуры почв и атмосферного воздуха, анализировать зависимость температур от природных и антропогенных (пожары, вырубки) факторов и оценивать ее влияние на разнообразие, функциональную активность и распространение населения беспозвоночных в заполярных горах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Почвы Хибин функционируют в диапазонах среднегодовых температур – 0,9...4,2 °С, годовых сумм положительных температур 675–1610 °С, их продолжительности не менее 120 дней в году. Температурными показателями современного потепления являются: сокращение сроков и степени промерзания минеральных горизонтов и глубины проникновения отрицательных температур, поддержание положительных температур на глубине 40 см.

2. Наиболее разнообразные и многочисленные сообщества беспозвоночных формируются в высотном диапазоне 340–500 м с прогревом подстилки до средних температур 12,0...15,5 °С и максимальных 15,9...22,7 °С. Менее разнообразно население лесных почв в основании склонов, слабее прогреваемых летом и сильнее промерзающих зимой, независимо от высоты над ур. м. (270–490 м), экспозиции и растительного пояса.

3. В поясе холодных гольцовых пустынь на предельных высотах Хибин (более 1000 м над ур. м.) формируются специфические комплексы беспозвоночных, включающие виды, не характерные для нижележащих поясов. В слаборазвитых почвах–петроземах под фрагментарной растительностью сглаживаются колебания температуры и на две—три недели сохраняются ее положительные значения, продлевающие активность беспозвоночных на фоне отрицательных температур воздуха.

4. Пожар, по сравнению с вырубкой, является более мощным фактором трансформации горно-таежного леса, приводящей к длительному (не менее 10 лет) нарушению химического состава, температурного режима и населения беспозвоночных горных почв и, напротив, к формированию разнообразных и специфических комплексов герпетобионтных и аэробиионтных видов. Температурные условия определяют различия в динамической плотности беспозвоночных между годами и нарушенными участками.

5. Локальная фауна Хибин пополнена 8-ю видами пауков, 9-ю видами стафилинид, 13-ю видами жуужелиц (10 видов – с вырубок и гарей и 3 вида – из пояса гольцовых пустынь), 7-ю видами муравьев рода *Formica*, и теперь включает не менее 169 видов пауков, 127 – стафилинид, 48 – жуужелиц и 18 видов муравьев. Муравей шведский *Formica suesica* на основании находок в Хибинах включен в новое издание Красной книги Мурманской области (2024).

РЕКОМЕНДАЦИИ

По результатам диссертационного исследования рекомендовано:

- для более полного выявления фауны беспозвоночных проводить исследования в наиболее прогреваемых поясах березовых криволесий и горных тундр на склонах западной и южной экспозиции;
- продолжать комплексные экологические исследования на самозарастающих вырубках и гарях на сети пробных площадей на севере Хибин с целью долговременного сравнительного мониторинга темпов и направлений восстановительных сукцессий почвенного покрова и населяющей его фауны;
- при планировании мониторинга нарушенных горных территорий учитывать медленные темпы восстановления почвенного покрова в условиях заполярных широт и специфического горного микроклимата;
- учитывать сведения о специфическом разнообразии фауны гарей и вырубок при разработке маршрутов выявления местообитаний редких и охраняемых видов и планировании природоохранных мероприятий не только в границах ООПТ (Нацпарка «Хибины»), но и на нарушенных территориях за пределами их официальных зон;
- использовать списки выявленных на гарях и вырубках Хибин видов беспозвоночных (131 вид) в качестве чек-листов в экологическом мониторинге нарушенных почв в других заполярных районах и как основу для метаанализа и формирования межрегиональной информационной системы по видам, колонизирующим естественные и нарушенные заполярные экосистемы:
- для более полного выявления разнообразия беспозвоночных в поясе гольцовых пустынь использовать метод пролонгированного отлова животных почвенными ловушками, редко применяемый в каменистых экосистемах на вершинах гор.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Исследования сопряженной динамики температуры и активности почвенной биоты (беспозвоночных и микроорганизмов), участвующей в процессах биотрансформации органического вещества и потоках углерода в почвенном ярусе зональных и горных заполярных экосистем являются частью важнейшего инновационного проекта государственного значения по созданию «Единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ» в рамках работы научно-образовательного консорциума «РИТМ углерода».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Температурные и физико-химические показатели

T °C	Температура
T_{cp}	Средняя температура
$T_{сут}$	Среднесуточные температуры
$T_{мес}$	Среднемесячные температуры
$T_{лет}$	Среднелетние температуры
$T_{вег}$	Средние температуры вегетационного сезона
$T_{год}$	Среднегодовые значения температуры
T_{max}	Максимальная температура (абсолютный максимум)
T_{min}	Минимальная температура (абсолютный минимум)
$T < 0$ °C	Отрицательные температуры
$T \geq 0$ °C	Положительные температуры
$0 \leq T < 5$ °C	Слабоположительные температуры
$5 \leq T < 10$ °C	Эффективные температуры
$T \geq 10$ °C	Активные температуры
ОВ	Органическое вещество почв
ППП	Потери органического вещества при прокаливании

Исследованные горы / участки

$K_w E_{300}$	г. Куэльпорр, склон западной (З) экспозиции, ельник на высоте 300 м
$K_w E_{350}$	г. Куэльпорр, З экспозиция, ельник на высоте 350 м
$K_w E_{400}$	г. Куэльпорр, З экспозиция, ельник на высоте 400 м
$K_w БК$	г. Куэльпорр, З экспозиция, березовое криволесье на высоте 450 м
$K_w T$	г. Куэльпорр, З экспозиция, горная тундра на высоте 500 м
$C_w E_{270}$	г. Суолайв, З экспозиция, ельник на высоте 270 м
$C_w БК_{340}$	г. Суолайв, З экспозиция, березовое криволесье на высоте 340 м
$C_w T_{390}$	г. Суолайв, З экспозиция, горная тундра на высоте 390 м
$Ю_s БК_{490}$	г. Юкспорр, Ю экспозиция, березовое криволесье на высоте 490 м
$Ю_s T_{640}$	г. Юкспорр, Ю экспозиция, горная тундра на склоне на высоте 640 м
$Ю_s БТ_{730}$	г. Юкспорр, Ю экспозиция, высотная тундра на плато на высоте 730 м
$Ю_{msw} C_{315}$	г. Юмечорр, ЮЗ экспозиция, сосновое редколесье на высоте 315 м
$Ю_{msw} БК_{380}$	г. Юмечорр, ЮЗ экспозиция, березовое криволесье на высоте 380 м
$Ю_{msw} T_{505}$	г. Юмечорр, ЮЗ экспозиция, горная тундра на высоте 505 м
$ВГ_{ли}$	г. Вудъяврчорр, гольцовые пустыни на плато, лишайниковый покров
$ВГ_{зл}$	г. Вудъяврчорр, гольцовые пустыни на плато, куртины злаков
$АГ_{ли}$	г. Айкуайвенчорр, гольцовые пустыни на плато, лишайниковый покров
$АГ_{зл}$	г. Айкуайвенчорр, гольцовые пустыни на плато, куртины злаков
$АГ_{мх}$	г. Айкуайвенчорр, гольцовые пустыни на плато, моховые подушки
$АГ_{мх-ли}$	г. Айкуайвенчорр, гольцовые пустыни на плато, мохово-лишайниковые подушки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверина, И. А. Динамика численности и размещение на гари Окского заповедника муравьев рода *Formica* / И. А. Аверина // Мониторинг сообществ на гари и управление пожарами в заповедниках. – М.: ВНИИ природы, – 2002. – С. 66–69.
2. Алексеенко, Н. А. Изучение закономерностей распределения растительного покрова Хибинского горного массива с помощью картографического метода / Н. А. Алексеенко, Н. Е. Королева, А. А. Волкова // Труды Кольского научного центра РАН. Сер. Прикладная экология Севера. – 2017. – Вып. 7. – С. 81–89.
3. Алисов, Б. П. Климат СССР: [учебное пособие для вузов] / Б. П. Алисов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956. – 126 с.
4. Алифанов, В. М. Оценка и прогноз гидротермических условий почвообразования серых почв / В. М. Алифанов, Л. А. Гугалинская, Л. А. Иванникова // Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. – М.: Наука. – 2006. – С. 471–495.
5. Амирханов, А. М. Сохранение биологического разнообразия гор России / А. М. Амирханов, А. А. Тишков, Е. А. Белоновская. Проект ГЭФ "Сохранение биоразнообразия". Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Институт географии РАН. – М., – 2002. – 80 с.
6. Ануфриев, Г. А. О фауне цикадовых (Homoptera, Cicadinea) проектируемого национального парка "Хибины" / Чтения памяти проф. В.В. Станчинского. – Вып. 3. Смоленск, – 2000. – С. 24–26
7. Арманд, А. Д. Развитие рельефа Хибин и Прихибинской равнины / А. Д. Арманд. – М.: ВИНТИ, 1964. – 244 с.
8. Архангельская, Т. А. Температурный режим комплексного почвенного покрова / Т. А. Архангельская. – М.: ГЕОС, 2012. – 282 с.
9. Атлас Мурманской области. – М.: ГУГК, НИГЭИ, ЛГУ, – 1971. – 34 с.
10. Бабенко, А. С. Экология стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) лесных и антропогенно трансформированных экосистем юга Западной Сибири. Дисс. ... д.б.н., МПГУ, – Москва, – 1998. – 39 с.

11. Бабенко, А. Б. Ногохвостки (Hexapoda, Collembola) тундровых ландшафтов Кольского полуострова / А. Б. Бабенко // Зоологический журнал. – 2012. – Т. 91. – № 4. – С. 411–427.
12. Балаганская, Е. Д. Сравнение некоторых методов изучения кислотно- и щелочногидролизующих соединений азота подзолистых почв / Е. Д. Балаганская, Е. Е. Кислых, Т. А. Маслюкова // Почвоведение и Агрохимия в Мурманской области (отв. ред. В.Н. Переверзев, Е. Е. Кислых, В. В. Никонов). – Апатиты: КФ АН СССР, – 1983. – С. 62–74.
13. Бартыш, А. А. Динамика верхней границы леса в связи с потеплением климата на склонах Серебрянского Камня (Северный Урал) / А. А. Бартыш // Материалы II Всероссийской научно-техн. конф. студентов и аспирантов. Ч. 2. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун.-т, – 2006. – С. 14–17.
14. Безкоровайная, И. Н. Формирование комплексов почвенных беспозвоночных в процессе лесовосстановления (южная тайга, Центральная Сибирь) / И. Н. Безкоровайная, М. Н. Егунова // Ульяновский мед.-биол. журн. – 2011. – № 4. – С. 117–129.
15. Безкоровайная, И. Н. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края / И. Н. Безкоровайная, Г. А. Иванова, П. А. Тарасов, Н. Д. Сорокин [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2005. – Т. 12, – № 1. – С. 143–152.
16. Беленький, Б. М. Климатические условия района карьеров комбината «Апатит» им. С. М. Кирова. / Б. М. Беленький. В сб.: Снег и лавины Хибин. М., 1967. – С. 126–137
17. Белицина, Г. Д. Почвоведение: учебник для университетов / Г. Д. Белицина, В. Д. Василевская, Л. А. Гришина и др. В 1 ч. Почва и почвообразование. – М.: высш. шк., 1988. – 400 с.
18. Белоусова, Н. И. Методические аспекты создания почвенно-атрибутивной базы данных / Н. И. Белоусова, Ю. Л. Мешалкина // Бюл. Почв.ин-та им. В. В. Докучаева. – 2009. – № 64. – С. 23–33.
19. Белоусова, Н. И. Типы почвенных атрибутивных баз данных / Н. И. Белоусова, Ю. Л. Мешалкина, И. И. Васенев // Почвоведение. – 2013. – № 10. – С. 1214–1221. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1310002X>

20. Белов, Н. П. Почвы Мурманской области / Н. П. Белов, А. В. Барановская. – Л.: Наука, 1969. – 148 с.
21. Большаков, В. Н. Изучение и сохранение биологического разнообразия животных горных регионов / В. Н. Большаков // Лекции лауреатов Демидовской премии (1993–2004). – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, – 2004. – С. 511–517.
22. Бондарович, А. А. Температурный режим воздуха и почвы по данным метеорологической и почвенно-гидрологической мониторинговой сети в Кулундинской равнине за вегетационные периоды 2013–2016 гг / А. А. Бондарович, Е. В. Понькина [и др.] // Вестн. Алтайского гос. аграрн. ун-та. – 2017. – № 3(149). – С. 30–37.
23. Богородская, А. В. Изменение микробиологических и физико-химических свойств почв после пожаров в сосновых и березовых лесах центральных районов Забайкальского края / А. В. Богородская, Е. А. Кукавская О. П., Каленская, Л. В. Буряк // Евразийское почвоведение. – 2023. – № 11. – С. 1418–1436. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600245>
24. Боровичев, Е. А. Охрана фиторазнообразия в горнопромышленном районе (Хибины, Мурманская область) / Е. А. Боровичев, Н. Е. Королева, М. Н. Кожин [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2022. – № 3. – С. 31–41.
25. Боруцкий, Б. Е. Современные представления о природе и геологической истории формирования пород Хибинского щелочного массива. (Критическое сопоставление предлагавшихся гипотез и комментарии к ним) / Б. Е. Боруцкий // Уникальные геологические объекты Кольского полуострова: Хибины. Матер. Всерос. Научно практич. конф., посвященной 80-летию КНЦ РАН (Апатиты, 20–23 июня 2010 г). – Апатиты, 2010. – С. 7–30.
26. Брянин, С. В. Постпирогенный уголь как фактор почвообразования в таёжных лесах Дальнего Востока / С. В. Брянин, Е. С. Сулопарова, Д. А. Молчанов, Е. Р. Абрамова // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: матер. VII Всерос. научн. конф. с межд. уч. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. – С. 98–101.
27. Буренина, Т. А. Снежный покров на вырубках разных лет в пихтово-кедровых лесах Енисейского края / Т. А. Буренина, А. С. Шишкин, А. А. Онучин, А. Н. Борисов // Лесоведение. – 2013. – № 6. – С. 26–36.

28. Бызова, Ю. Б. Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандалакшского заповедника / Ю. Б. Бызова, А. В. Уваров, В. Г. Губина. – Москва. Издательство «Наука». – 1986. – 312 с.
29. Владыченский, А. С. Особенности почв горно-тундрового пояса Хибин под различными растительными сообществами / А. С. Владыченский, Е. Г. Богомолова // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2004. – № 3. – С. 3–10.
30. Воейков, А. И. Избранные сочинения / А. И. Воейков. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – Т. 4. – 358 с.
31. Волобуев, В. Р. Соотношение между тепловым режимом почв и климатом приземного слоя воздуха / В. Р. Волобуев // Почвоведение. – 1983. – № 2. – С. 52–63.
32. Геннадиев, А. Н. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) / А. Н. Геннадиев, Ю. И. Пиковский, А. С. Цибарт, М. А. Смирнова // Почвоведение. – 2015. – № 10. – С. 1195. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15100020>
33. Гергелчев, В. Н. Общая геолого-геофизическая и металлогеническая характеристика рифтовых зон Балканского п-ова / В. Н. Гергелчев, И. Н. Петков, Т. Е. Панов // Роль рифтогенеза в геологической истории Земли. – Н.: Наука, 1974. – 312 с.
34. Гиляров, М. С. Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых / М. С. Гиляров. – Ленинград: Академ. Науч.-изд., центр РАН "Издательство "Наука", 1949. – 279 с.
35. Гиляров, М. С. Методы почвенно-зоологических исследований / М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1975. – 277 с.
36. Гиляров, М. С. Почвенные беспозвоночные как показатели почвенного режима и условий среды / М. С. Гиляров // Биол. методы оценки природной среды. – М., –1978. – С. 78–90.
37. Государственный природный заповедник «Пасвик»: [Электронный ресурс]. URL: <https://pasvik-reserve.ru/information> (дата обращения: 16.12.2022).
38. Голощапова, Ю. Ю. Влияние пожара на органическое вещество темно-серых лесных почв / Ю. Ю. Голощапова, Н. А. Калинин // Омский научный вестник. – 2012, – № 1 (108). – С. 217–220.
39. Горбунова, Ю. С. Изменение ферментативной активности дерново-лесной почвы после пирогенного воздействия / Ю. С. Горбунова, Т. А. Девятова // Проблемы региональной экологии. – 2013, – № 2. – С. 38–42.

40. Горичев, Ю.П. Температурные инверсии как фактор пространственной дифференциации лесных формаций на Урале и в Предуралье / Ю.П. Горичев // Вестник Тамбовского университета. – 2014. – Т. 19, № 5. – С. 1267–1269.
41. Горы и биоразнообразие. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, ФАО URL: <http://foris.fao.org> > Biodiv_fs_RU_HIGHRES (дата обращения: 27.05.2024).
42. Грюнталь, С. Ю. Организация сообществ жужелиц (Coleoptera, Carabidae) лесов Восточно-Европейской равнины / С. Ю. Грюнталь. – М.: Галлея-Принт, – 2008. – 463 с.
43. Данилова, А. Д. Гольцовые пустыни Хибин или что вы изучаете – там же ничего нет! / А. Д. Данилова, Н. Е. Королева // Вестник Кольского Научного центра РАН. – 2020. – Т. 12. – № 1. – С. 34–39.
44. Данилова, А. Д. Отличия флоры и растительности гольцово-пустынного и горно-тундрового поясов на примере Хибинских и Ловозерских гор (Кольский полуостров) / А. Д. Данилова, Н. Е. Королева, А. Б. Новаковский // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. – 2022. – Т. 1. № 2. – С. 129–139. <https://doi.org/10.37614/2949-1185.2022.1.2.016>
45. Димо, В. Н. Тепловой режим почв СССР / В. Н. Димо. – М.: Колос, – 1972. – 360 с.
46. Дмитриев, А. С. Заболачивание и разболачивание концентрированных вырубков в борах черничниках в бассейне Сысолы (Коми АССР): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Сыктывкар, 1950. – 16 с.
47. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2022. – Мурманск. МПР Мурманской области, – 2023. – 141 с.
48. Дымов, А. А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми / А. А. Дымов. – М.: ООО "Издательство ГЕОС", 2020. – 336 с. <https://doi.org/10.34756/GEOS.2020.10.37828>
49. Дымов, А. А. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почв / А. А. Дымов, Д. Н. Габов, Ю. А. Дубровский, Е. В. Жангуров [и др.] // Лесоведение. – 2015. – № 1. – С. 52–62.
50. Дюкарев, Е. А. Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы / Е. А. Дюкарев // Вестник Томского госуниверситета. – 2012. – № 365. – С. 201–205.

51. Евдокимова, Г. А. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского севера / Г. А. Евдокимова, Н. П. Мозгова. Рос. акад. наук. Кол. науч. центр. Ин-т проблем пром. экологии Севера. – Апатиты, – 2001. – 184 с.
52. Евдокимова, Г. А. Комплексная экологическая оценка территории предстоящего строительства завода по сжижению газа Штокманского месторождения / Г. А. Евдокимова, И. В. Зенкова, В. Н. Переверзев. – Апатиты: КНЦ РАН, – 2006. – 49 с.
53. Ежегодный доклад о состоянии окружающей среды 2021 [Электронный ресурс] // Правительство Мурманской области. Мурманск. URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения: 20.04.2022).
54. Ершов, В. В. Температуры воздуха и органогенного горизонта почвы в хвойных лесах Мурманской области на разных стадиях техногенной дигрессии / Ершов В. В., Л. Г. Исаева, Е. А. Белова. Авторск. св-во № 2022622567 от 19.10.2022.
55. Заика, Ю. В. Многолетняя динамика нивальных процессов в Хибинах / Ю. В. Заика, М. А. Викулина, П. А. Черноус // Лед и снег. – 2012. – № 1. – С. 69–74.
56. Залесов, С. В. Лесоводство: учебник / С. В. Залесов. – Екатеринбург: УГЛТУ, – 2020. – 295 с.
57. Зенкова, И. В. Динамика параметров мезофауны в природных подзолах Кольского полуострова / И. В. Зенкова // Кольский полуостров на пороге третьего тысячелетия: проблемы экологии. Сб. науч.тр. – Апатиты: изд. КНЦ РАН, – 2003. – С. 107–118.
58. Зенкова, И. В. К материалам по почвенной фауне Государственного природного заповедника «Пасвик» (Мурманская область) / И. В. Зенкова // Экология, эволюция и систематика животных: Сб. научн. труд. РГУ им. С. А. Есенина. Сер. Зоол. – Т. 3. Рязань: Голос губ., 2012. – С. 313–329.
59. Зенкова, И. В. Влияние высотной поясности и экспозиции склонов на структуру почвенной фауны в горах заповедника «Пасвик» (Мурманская область) / И. В. Зенкова // Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов: Матер-лы V Всеросс. научн. конф. по лесному почвоведению. Пущино: ИФХиБПП РАН, – 2013а. – С. 113–115.
60. Зенкова, И. В. Летняя динамика температуры в горных почвах заповедника Пасвик / И. В. Зенкова // Вестн. МГТУ. Тр. МГТУ. – 2013 б. – Т. 16. – № 4. – С. 715–724.

61. Зенкова, И. В. К характеристике летней динамики температуры подстилок в горах Хибинского массива (Мурманская область) / И. В. Зенкова // Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения: Матер-лы VI Всеросс. научн. конф. по лесному почвоведению. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, – 2015. – С. 85–87.
62. Зенкова, И. В. Биота северотаежного соснового леса на иллювиально-гумусовом подзоле / И. В. Зенкова, Е. А. Боровичев, Н. Е. Королева, Д. А. Давыдов // Научные основы устойчивого управления лесами. – М.: ЦЭПЛ. – 2016. – С. 31–32.
63. Зенкова, И. В. Разнообразие почвенной фауны Хибин (итоги 10-летних исследований) / И. В. Зенкова // Труды ФНС Ги КНЦ РАН. – 2020. – № 17. – С. 195–200. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.036>
64. Зенкова, И. В. Панцирные клещи (Acari: Oribatida) Хибинского горного массива / И. В. Зенкова, Е. Н. Мелехина // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Апатиты: КНЦ РАН, – 2014. – Ч. 1. – С. 135–140.
65. Зенкова, И. В. Материалы к фауне микроартропод Хибинского горного массива / И. В. Зенкова, А. А. Таскаева // Горные экосистемы и их компоненты. Нальчик: «Полиграфсервис и Т», – 2012. – С. 146–147.
66. Зенкова, И. В. Первичные материалы о коллемболах (Insecta: Collembola) пояса полярной пустыни Хибин / И. В. Зенкова, А. А. Таскаева // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ, – 2013. – С. 85–86.
67. Зенкова, И. В. Материалы к мирмекофауне Хибинского горного массива / И. В. Зенкова, З. М. Юсупов // Научные исследования в заповедниках и национальных парках России. – Петрозаводск: КНЦ РАН, – 2016. – С. 84–85.
68. Зенкова, И. В. Материалы к почвенной фауне Хибинского горного массива на примере горы Вудъяврчорр / И. В. Зенкова, В. В. Пожарская, А. А. Похилько // Вест. МГТУ. Тр. МГТУ. – 2009. – Т. 12. – № 3. – С. 516–524.
69. Зенкова, И. В. Высотное распределение почвенной фауны Хибин / И. В. Зенкова, В. В. Пожарская, А. А. Похилько // Почвоведение. – 2011а. – № 9. – С. 1083–1093.
70. Зенкова, И. В. Жесткокрылые (Coleoptera: Carabidae, Staphylinidae) пирогенного леса в Хибинском горном массиве / И. В. Зенкова, А. А. Колесникова, Б. Ю. Филиппов // Проблемы почвенной зоологии: Материалы XVIII Всероссийского

совещания по почвенной зоологии, Москва (22–26 октября 2018 г). – М: ООО Товарищество научных изданий КМК, – 2018. – С. 90–91.

71. Зенкова, И. В. Высотная поясность и комплексы жесткокрылых в почвах Хибинского горного массива / И. В. Зенкова, В. В. Пожарская, А. А. Колесникова, Б. Ю. Филиппов, С. Д. Середюк // Тр. КарНЦ РАН. – 2011 б. – № 2. – С. 107–118.

72. Зенкова, И. В. Вырубки и гари Хибин как территории локального фаунистического разнообразия / И. В. Зенкова, А. А. Дитц, А. А. Нехаева, З. М. Юсупов // Материалы XV Сибирского совещания и школы молодых ученых по мониторингу климата и окружающей среды. – Томск. – 2023. – С. 234–237.

73. Зенкова, И. В. Влияние гидротермических условий на подсти-лочных беспозвоночных вырубков и гарей Хибин / И. В. Зенкова, И. М. Штабровская // Лесоведение. – 2022. – № 4. – С. 364–380. <https://doi.org/10.31857/S0024114822030123>

74. Зенкова, И. В. Почвенная фауна вырубков и гарей Хибин / И. В. Зенкова, И. М. Штабровская, Д. В. Усова // Вестник МГТУ. Науки о Земле. – 2020. – Т. 23. – № 2. – С. 160–172. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172>

75. Зенкова, И. В. Температурная база данных горных почв Кольской Субарктики / И. В. Зенкова, И. М. Штабровская. Автор. св-во № 2022622566 от 19.10.2022.

76. Зенкова, И. В. Локальная фауна муравьев (Hymenoptera, Formicidae) Хибинского горного массива / И. В. Зенкова, З. М. Юсупов, И. М. Штабровская. Автор. св-во № 2021620847 от 26.04.2021.

77. Зрянин, В. А. Систематический список видов насекомых, выявленных в Хибинской и Ловозерской тундрах. Семейство Formicidae. Эколого-экономическое обоснование национального парка «Хибины». – Апатиты. – 1999. [Электронный ресурс]. URL: <http://hibiny.info/documents/eoo> (дата обращения: 28.08.2024)

78. Иванова, Е. Н. Почвенно-географическое районирование СССР / Е. Н. Иванова, П. А. Летунов и др. // Почвоведение. – 1958. – №10. – С.10–22.

79. Иванова, Е. Н. Почвы Хибинских тундр / Е. Н. Иванова, Н. А. Колосов. – Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, – 1937. – 77 с.

80. Иванов, А. В. Лесная пирология / А. В. Иванов. Поволжский государственный технологический университет. 2-е изд., перераб. и доп. – Йошкар-Ола: ПГТУ, – 2015. – 300 с.

81. Ивантер, Э. В. Элементарная биометрия: учеб. Пособие / Э. В. Ивантер, А. В. Коросов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, – 2010. – 104 с.
82. Ильина, Т. М. Лесные подстилки как компонент лесного биогеоценоза / Т. М. Ильина, А. П. Сапожников // Вестник Крас ГАУ. – 2007. – С. 45–47.
83. Каверин, Д. А. Температурные режимы почв Субарктики Европейского Северо-Востока в условиях современных климатических и ландшафтных изменений: дисс... на соиск. уч. степ. д. г. н. / Д. А. Каверин. – Москва, 2022. – 380 с.
84. Каверин, Д. А. Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород (европейский северо-восток России) / Д. А. Каверин, А. В. Пастухов, Г. Г. Мажитова // Криосфера Земли. – 2014. – Т. XVIII, № 3. – С. 23–32.
85. Каверзнева, Т. Т. Создание единой базы данных для определения температуры воздуха и температуры грунта в климатических условиях вечной мерзлоты / Т. Т. Каверзнева, Д. И. Идрисова, И. Л. Скрипник // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы: Мат-лы Всерос. научн. прак. конф. – СПб.: Санкт-Петербургский ун-ет ГПС МЧС России, 2016. – С. 185–187.
86. Казеев, К. Ш. Изменение температуры почвы в модельных опытах с кострами разной интенсивности / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, П. А. Дмитриев. Автор. св-во № 2020622721 от 21.12.2020.
87. Казеев, К. Ш. Экологическое состояние почв среднегорий Адыгеи через 8 лет после сведения леса / К. Ш. Казеев, В. П. Солдатов, С. И. Колесников, П. А. Дмитриев. Автор. св-во № 2019622047 от 13.11.2019.
88. Казеев, К. Ш. Динамика изменения температуры почвы при моделировании пожаров в лабораторных условиях / К. Ш. Казеев, М. С. Нижельский, Д. К. Казеев, С. И. Колесников, П. А. Дмитриев. Автор. св-во № 2021622294 от 27.10.2021.
89. Камаев, И. О. Население пауков (Aranei) в высотном градиенте Хибин / И. О. Камаев // Ломоносов-2010. – М.: МАКС-Пресс, – 2010. – С. 126–127
90. Камаев, И. О. Население почвенной мезофауны в экологических градиентах Северной тайги Восточной Фенноскандии: дисс. ... канд. биол. наук. – Москва. – 2012. – 240 с.
91. Карпачевский, Л. О. Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. – Москва: Лесная промышленность, – 1981. – 261 с.

92. Карпачевский, Л. О. Экологические функции лесных почв / Л. О. Карпачевский, Т. А. Зубкова, Л. С. Ильина // Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. – М.: Наука. – 2003. – С. 206–214.
93. Катаев, Б. М. Жужелицы рода *Harpalus* Latr. (Coleoptera, Carabidae) мировой фауны: систематика, зоогеография, филогения. Дисс. ... д.б.н., РАН, – Москва. – 2011. – 23 с.
94. Кашулина, Г. М. Сравнительный анализ температуры горизонта О подзола на двух в различной степени деградированных участках техногенно трансформированной экосистемы (Кольский полуостров) / Г. М. Кашулина, Т. И. Литвинова, Н. М. Коробейникова // Почвоведение. – 2020. – № 9. – С. 1132–1143. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20090087>
95. Кашулина, Г. М. Комплексный мониторинг окружающей среды около медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове / Г. М. Кашулина // Почвоведение. – 2022. – № 5. – С. 556–570. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050021>
96. Киселева, Г. А. Изменение водно-физических свойств почв в результате послепожарного заболачивания / Г. А. Киселева // Изменение почвенного покрова Дальнего Востока в результате сельскохозяйственного использования и мелиорации: сб. ст. Уссурийск: Изд-во ПримСХИ. – 1978. – Вып. 52. – С. 92–94.
97. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, – 2004. – 342 с.
98. Климатические нормы // Гидрометцентр России. – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/climatecities>.
99. Козаренко, А. Е. Особенности химического состава почв Хибинского и Ловозерского массивов / А. Е. Козаренко, В. А. Семенов // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Биологические науки. – 2016, – № 2(22). – С. 62–72
100. Козупеева, Т. А. Полярно-альпийский ботанический сад: Справочник / Т. А. Козупеева, Г. Н. Андреев, А. П. Семко. Отв. ред. Т. А. Козупеева. – Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, –1984. – 91 с.
101. Количественные методы в почвенной зоологии. – М.: Наука, – 1987. – 288 с.
102. Кольская энциклопедия. В 5 т. Т 1. / Гл. ред. А. А. Киселёв. СПб.: ИС. Апатиты: КНЦ РАН, – 2008. – 600 с.

103. Кононова, В. А. (отв. ред.). Магматические горные породы. Щелочные породы. – М.: Наука, – 1984. – 415 с.
104. Коноплева, Н. Г. Сравнение состава нефелиновых сиенитов краевой и центральной частей Хибинского массива / Н. Г. Коноплева, Я. А. Пахомовский, В. Н. Яковенчук [и др.] // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2020. – № 17. – С. 281–286. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.053>
105. Королева, Н. Е. Синтаксономический обзор горно-тундровой растительности Хибин / Н. Е. Королева // Бюллетень МОИП. Отделение биологии. – 2001. – Т.106. – № 4. – С. 50–57.
106. Королева, Н. Е. Кольский полуостров с точки зрения геоботаники / Н. Е. Королева // Наука в России. – 2014. – № 5 (203). – С. 93–98.
107. Королева, Н. Е. 100 лет геоботанических исследований в Мурманской области: итоги и перспективы / Н. Е. Королева // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2012. – № 2(9). – С. 43–51.
108. Королева, Н. Е. Комплексное экологическое исследование пояса гольцовых пустынь Хибинских гор / Н. Е. Королева, М. Н. Маслов, А. Д. Данилова, Д. А. Давыдов, А. Б. Новаковский, И. В. Зенкова, В. В. Редькина, И. М. Штабровская, Р. Р. Шалыгина // Сибирский экологический журнал. – 2024. – Т. 31. – № 5. – С. 657–668. <https://doi.org/10.15372/SEJ20240501>
109. Краснощеков, Ю. Н. Почвенно-экологические изменения на вырубках и гарях Восточного Хэнтэя (МНР) / Ю. Н. Краснощеков, Н. Д. Сорокин // Почвоведение. – 1988. – № 1. – С. 117–127.
110. Краснощеков, Ю. Н. Влияние пожаров на экосистемы Подтаежно-Леостепных сосновых лесов юго-западного Прибайкалья / Ю. Н. Краснощеков // Сибирский лесной журнал. – 2014, – № 2, – С. 43–52.
111. Кривовичев, С. В. Экологические проблемы арктического побережья и Титано силикаты Кольских Хибин: от бионики к геонике / С. В. Кривовичев, А. И. Николаев, В. Н. Яковенчук [и др.] // Биосфера. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 161–170. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v11i4.514>
112. Кравцова, В. И. Исследование северной границы леса по космическим снимкам разного разрешения / В. И. Кравцова, А. Р. Лошкарева // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. – 2010. – №6. – С.49–57.

113. Красуцкий, Б. В. Жесткокрылые (Insecta, Coleoptera), ассоциированные с ксилотрофным грибом *Lenzites betulinus* (L.) Fr. (Agaricomycetes: Polyporales) на Южном Урале / Б. В. Красуцкий // Евразийский энтомол. журнал. – 2021, – № 20. – С. 320–329. <https://doi.org/10.31857/S0044513422090070>
114. Крыжановский, О. Л. Жуки подотряда Aderphaga / О. Л. Крыжановский // Фауна СССР. Жесткокрылые. – Т. 1, – вып. 2. – Л.: Наука. – 341 с.
115. Крючков, В. В. О факторах, определяющих верхний предел березы и ели в Хибинских горах / В. В. Крючков // Вестник МГУ. – 1957. – №3. – С. 58–71.
116. Крючков, В. В. Факторы, определяющие верхние пределы растительных поясов в Хибинских горах / В. В. Крючков // Ботанический журнал. – 1958 а. – Т. 43. – № 6. – 16 с.
117. Крючков, В. В. Границы древесной растительности как фиксаторы климатических условий / В. В. Крючков // Информ. сборн. о работе геог. ф-та МГУ по МГГ. – 1958 б. – № 3. – 47 с.
118. Крючков, В. В. Некоторые данные о температуре почв в различных растительных сообществах Мурманской области / В. В. Крючков. – М.: –Л., – 1962. – 33 с.
119. Куваев, В. Б. Холодные гольцовые пустыни в приполярных горах Северного полушария / В. Б. Куваев. – М.: Наука, – 1985. – 78 с.
120. Лаврова, М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова / М. А. Лаврова. – М.–Л.: АН СССР, – 1960. – 239 с.
121. Лавриненко, И. А. Влияние климатических изменений на растительный покров островов Баренцева моря / И. А. Лавриненко, О. В. Лавриненко // Труды Карельского научного центра РАН. – 2013. – № 6. – С. 4–16.
122. Лаптева, Е. М. Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок / Е. М. Лаптева, Г. М. Втюрин, К. С. Бобкова, Д. А. Каверин [и др.] // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 5. – С. 64–76. <https://doi.org/10.15372/sjfs20150505>.
123. Левина, В. И. Сезонная динамика и химический состав подзолистых, горно-подзолистых и горно-тундровых почв Мурманской области / В. И. Левина // Почвенные режимы на Полярном Севере. – Л.: Наука. – 1969. – С. 5–58.

124. Леонов, В. Д. Панцирные клещи (Acari: Oribatida) тундровых почв Кольского полуострова. Автореф. дисс. ... к.б.н. – Москва. – 2016. – 26 с.
125. Леонов, В. Д. Состав и распределение сообществ микроартропод в ландшафтно-экологическом профиле высотной поясности горы Вудъяврчорр (Мурманская область, Хибинские горы) / В. Д. Леонов, А. А. Рахлеева // Известия Пензенского гос. пед. ун-та им. Белинского. Естественные науки. – 2011. – № 25. – С. 376–382.
126. Лисковая, А. А. Фаунистическое и экологическое разнообразие панцирных клещей (Acariformes: Oribatei) в экосистемах Кольского Севера. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Петрозаводск. – 2011. – 27 с.
127. Литвинова, Т. И. Распределение температурных показателей по профилю серогумусовой почвы, Западный Шпицберген / Т. И. Литвинова, Г. М. Кашулина // Труды КНЦ РАН. – 2021. – Т. 12. – № 6(9). – С. 281–286. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.042>
128. Лукина, Н. В. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность / Н. В. Лукина, М. А. Орлова, Л. Г. Исаева // Лесоведение. – 2010. – № 5. – С. 45–56.
129. Лукина, Н. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения / Н. В. Лукина, В. В. Никонов. В 2-х частях. Ч. 2. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. – 1996. – С. 1–192.
130. Лысак, Г. Н. Влияние рельефа на температуру пахотного горизонта чернозема / Г. Н. Лысак // Почвоведение. – 1957. – № 12. – С. 98–103.
131. Мажитова, Г. Г. Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты европейского северо-востока России / Г. Г. Мажитова // Почвоведение. – 2008. – № 1. – С. 54–67.
132. Мазыро, М. М. Почвы Хибинских тундр / М. М. Мазыро. – М.: Изд-во АН СССР, 1936. – Ч. 1. – 70 с.
133. Макарова, О. А. Летопись природы государственного природного заповедника «Пасвик» / О. А. Макарова. Рязанский государственный педагогический университет. – 2005. – 148 с.
134. Макаров, М. И. Азотное питание растений альпийской лишайниковой пустоши в условиях обогащения почвы элементами минерального питания / М. И.

Макаров, Н. Г. Лавренев, В. Г. Онопченко [и др.] // Экология. – 2020. – № 2. – С. 83–89.
<https://doi.org/10.31857/S0367059720020080>.

135. Манаков, К. Н. Элементы биологического круговорота на Полярном Севере / К. Н. Манаков. – Л.: Наука. – 1970. – 160 с.

136. Манаков, К. Н. Продуктивность и биологический круговорот в тундровых биогеоценозах / К. Н. Манаков. – Л.: Наука. – 1972. – 148 с.

137. Манаков, К. Н. Закономерности биологического круговорота минеральных элементов и почвообразование в биогеоценозах трех горно-растительных поясов / К. Н. Манаков, В. В. Никонов // Почвообразование в биогеоценозах Хибинских гор. – Апатиты: Кольский филиал АН СССР. – 1979. – С. 65–94.

138. Манаков, К. Н. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера / К. Н. Манаков, В. В. Никонов. – Л.: Наука. – 1981. – 195 с.

139. Манаков, К. Н. Продуктивность и биологический круговорот в биогеоценозах Хибинских гор / К. Н. Манаков, Г. И. Ушакова // Почвенные исследования на Кольском полуострове. Апатиты: Кольского фил. АН СССР. – 1975. – С. 42–59.

140. Маслов, М. Н. Почвы пояса гольцовых пустынь Хибинских гор / М. Н. Маслов, А. Д. Данилова, Н. Е. Королева // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2021. – № 1. – С. 31–37.

141. Мелехов, Н. С. Лесоведение: Учебник для вузов / Н. С. Мелехов. – М.: Лесн. пром-сть. – 1980. – 408 с.

142. Меньшикова, Г. П. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / Г. П. Меньшикова. – АН СССР Ботанический институт им. В. Л. Комарова. Ленинград. – 1990. – 195 с.

143. Мерзляков, О. Э. Влияние сплошных рубок на изменение лесорастительных свойств мерзлотных грубогумусных почв / О. Э. Мерзляков // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2008. – № 1(2). – С. 71–74.

144. Миловский, А. В. Минералогия / А. В. Миловский, О. В. Кононов. – М.: МГУ, – 1982. – 312 с.

145. Мишкин, Б. А. Флора Хибинских гор, ее анализ и история / Б. А. Мишкин. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, – 1953. – 113 с.

146. Моисеев, П. А. Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона / П. А. Моисеев, С. Г. Шиятов, Н. М. Дэви: монография [отв. ред. Т. В. Яшина]; – УрО РАН ИЭРиЖ. – Красноярск, – 2010. – 82 с.
147. Моисеев, П. А. Климатогенная динамика древесной растительности на верхнем пределе ее распространения на хребте Большой Таганай за последнее столетие / П. А. Моисеев, С. Г. Шиятов, А. А. Григорьев: монография. Отв. ред. В. А. Мухин; – УрО РАН ИЭРиЖ. – Екатеринбург, – 2016. – 134 с.
148. Морозова, Р. М. Влияние концентрированных рубок еловых лесов на свойства почв / Р. М. Морозова // Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы: экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты. Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (Петрозаводск, 23–25 ноября 2004 г.). – Петрозаводск, – 2004. – С. 182–184.
149. Национальный Атлас почв Российской Федерации: [Электронный ресурс]. URL: <http://soilatlas.ru> (дата обращения: 15.03.2023).
150. Национальная Стратегия сохранения биоразнообразия России. – М., – 2001. – 76 с.
151. Назаркина, А. В. Изменение плотности сложения и влагозапасов лесных почв долины р. Амур в результате действия пожаров / А. В. Назаркина // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 4(31). – С. 37–41.
152. Нехаева, А. А. Население пауков (Arachnida, Aranei) некоторых биотопов побережья Кольского залива: фенологический аспект / А. А. Нехаева // Зоологический журнал. – 2015. – Т. 94, № 5. – С. 505–516. <https://doi.org/10.7868/S0044513415030083>
153. Осокин, Н. И. Влияние температуры и плотности снега на массоперенос в снежном покрове / Н. И. Осокин, А. В. Сосновский, А. В. Шевченко // Материалы гляциологических исследований. – Вып.1. – 2012. – С. 3–8.
154. Павлов, А. В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России / А. В. Павлов // Криосфера Земли. – 2008. – Т. 13. – № 3. – С. 22–27.
155. Переверзев, В. Н. Лесные почвы Кольского полуострова / В. Н. Переверзев. – М.: Наука, – 2004. – 232 с.
156. Переверзев, В. Н. Генетические особенности почв высотных природных зон Хибинских гор / В.Н. Переверзев // Евразийское почвоведение. – 2010. – № 43. – С. 509–518.

157. Переверзев, В. Н. Почвообразование на рыхлых и кристаллических породах в Северной Фенноскандии / В.Н. Переверзев. – Апатиты: КНЦ РАН, – 2013. – 158 с.
158. Переверзев, В. Н. Гидроморфизм и почвообразование на Кольском Севере / В. Н. Переверзев, Т. И. Литвинова. – Апатиты: Кольский науч. центр РАН, – 2012. – 94 с.
159. Переверзев, В. Н. Генетическая характеристика и органическое вещество почв Хибин / В. Н. Переверзев, Н. С. Алексеева, О. И. Полях // Почвообразование в биогеоценозах Хибин. Кольский филиал Академии наук СССР. – 1979. – С. 3–56.
160. Перель, Т. С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР / Т. С. Перель. – М. Изд-во: Наука, – 1979. – 272 с.
161. Петров, И. А. Динамика древесно-кустарниковой растительности в горной лесотундре Восточного Саяна / И. А. Петров, А. С. Шушпанов, А. С. Голюков // Экология. – 2021. – № 5. – С. 372–379. <https://doi.org/10.31857/S0367059721050127>
162. Подольская, Т. В. Почвы пояса березового криволеся юго-западной части Хибин: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Т. В. Подольская. – Москва, – 2005. – 26 с.
163. Подольская, Т. В. Химические свойства почв пояса березового криволеся юго-западной части Хибин / Т. В. Подольская, А. С. Владыченский // Вестник МГУ. Сер. 17.–2003. – №3. – С. 9–16.
164. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. Методическое руководство / Под ред. Е. В. Шеина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, – 2001. – 200 с.
165. Пономарева, В. В. Материалы по изучению органического вещества почв Хибинского горного массива / В. В. Пономарева // Труды Кольской базы АН СССР. – 1940. – № 5. – С. 5–30.
166. Пономарева, В. В. Теория подзолообразовательного процесса (биохимические аспекты) / В. В. Пономарева. – М.; Л., – 1964. – 380 с.
167. Потапов, Г. С. Фауна и зоогеографическая характеристика шмелей (Hymenoptera, Apidae: Bombus) Хибин / Г. С. Потапов, Ю. С. Колосова // Евраз. энтомол. журн. – 2011. – Т. 10. – № 4. – С. 483–485.

168. Пожарская, В. В. Почвообитающие беспозвоночные в экосистемах Хибинского горного массива: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.04; 03.02.08 / Пожарская Виктория Викторовна. – Петрозаводск, 2012. – 167 с.
169. Пушкина, Н. М. Лишайники и мхи Лапландского заповедника / Н. М. Пушкина // Труды Лапландского государственного заповедника. – 1960. – Вып. 4. – С. 189–248.
170. Раменская, М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии / М. Л. Раменская. – Л.: Наука, – 1983. – 216 с.
171. Распоряжение Росгидромета от 29.06.2022 № 197–р «О внедрении актуализированных климатических норм в оперативно-производственную практику подведомственных учреждений Росгидромета». – Режим доступа: <http://kolgimet.ru/news/news/klimaticheskie-osobennosti-2022-goda-na-territorii-murma/?cHash=cfe371a9dcaedb172dc6c6379a9ab6fc>.
172. Решоткин, О. В. Температурный режим иллювиально-гумусовых подзолов Кольского полуострова / О. В. Решоткин, О. И. Худяков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Т.19. – № 2(3). – С. 528–531.
173. Россолимо, Т. Е. Высотное распределение и термопреферендум жуужелиц в Хибинах / Т. Е. Россолимо // Зоологический журнал. –1989. – Т.68. – № 4. – С.58–65.
174. Россолимо, Т. Е. Сравнительный анализ параметров холодостойкости некоторых жесткокрылых (Coleoptera) гипоарктических районов / Т. Е. Россолимо // Зоол. Журнал. –1994. – Т.73, – № 7. – С.101–113.
175. Рыбалов, Л. Б. Сравнительная характеристика населения дождевых червей в Карелии и полярно-альпийском ботаническом саду на Кольском полуострове / Л. Б. Рыбалов. Современные экологические проблемы Севера. Мат-лы Междунар. конф.: Апатиты, КНЦ РАН, – 2006. –Ч. 2. – С.176–177.
176. Рябцева, К. М. Хибины / К. М. Рябцева. – М.: Знание, 1975. – 63 с.
177. Рябцева, К. М. Геохимические особенности растительности высокогорных зон Хибин / К. М. Рябцева // Вопросы геохимии и геологии. – М. – 1968. – С. 20–29.
178. Сапожников, С. А. Микроклимат и местный климат / С. А. Сапожников. – Л., 1950. – 241 с.
179. Сапожников, А. П. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах / А. П. Сапожников, Л. О. Карпачевский, Л. С. Ильина //

Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2001, – № 1, – С. 132–165.

180. Сапунов, В. Н. Температурный режим воздуха в зимние сезоны и его влияние на лавинную активность в Хибинах / В. Н. Сапунов, Ю. Г. Селиверстов, Е. С. Трошкина, П. А. Черноус // Криосфера Земли. – 2006. – Т. 10, – № 4. – С. 68–73.

181. Сапунов, В. Н. Ландшафтная дифференциация в распределении снежного покрова в Хибинских горах / В. Н. Сапунов, Г. Г. Сапунова, Т. Г. Глазовская, Ю. Г. Селиверстов, А. Ю. Соловьев // Материалы гляциологических исследований. – 2001. – вып. 91. – С. 55–59.

182. Светлаков, А. А. Температура пород в современной природно-климатической обстановке степного Прибайкалья (на примере О. Ольхон) / А. А. Светлаков, Е. А. Козырева, Д. О. Сергеев // Криосфера Земли. – 2021. – Т. 25. – № 5. – С. 13–21. <https://doi.org/10.15372/KZ20210502>

183. Светов, С. А. Геологическое строение территории Зеленого пояса Фенноскандии (Российская часть) / С. А. Светов, В. С. Куликов, А. И. Слабунов // Труды КарНЦ РАН. – 2019. – № 4. – С. 32–40. <https://doi.org/10.17076/them1001>

184. Семко, А. П. Гидротермический режим целинных и окультуренных почв Северной тайги Кольского полуострова. Автореф. дис. канд. биологич. наук. Ленинград, 1980. – 23 с.

185. Семко, А. П. Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова / А. П. Семко. – Апатиты: Кольский ф-л АН СССР, – 1982. – 134 с.

186. Семко, А. П. Температурный режим целинных и окультуренных почв в условиях Крайнего Севера / А. П. Семко, Б. Ф. Сергеев // Биологические процессы и минеральный обмен в почвах Кольского п-ова. – Апатиты: Кольский ф-л АН СССР. – 1974. – С. 3–25.

187. Смирнов, В. И. Курс высшей математики / В. И. Смирнов. – В 6 т. – Т. I. – СПб.: БХВ-Петербург, – 2008. – 624 с.

188. Сняtkова, О. Л. Отчет о результатах геологического доизучения и геохимических поисков на редкие металлы и апатит масштаба 1:50000, проведенных в пределах Хибинского массива и его обрамления за 1979–1983 гг / О. Л. Сняtkова, Н. К. Михняк, Т. М. Маркитахина, Н. И. Принягин [и др.]. Фонды Мурманкомприроды, – 1983. – 486 с.

189. Соколова, Т. А. Факторы, определяющие формы соединений и валовое содержание калия в серых лесных почвах / Т. А. Соколова, И. Л. Куйбышева // Почвоведение. – 1989. – №2. – С. 23–34.
190. Старцев, В. В. Органическое вещество и реологические характеристики почв Приполярного Урала: специальность 03.02.13 "Почвоведение": диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / В. В. Старцев, 2021. – 162 с.
191. Старцев, В. В. Годовая динамика температур органогенных горизонтов почв Приполярного Урала / В. В. Старцев, Е. В. Жангуров, А. А. Дымов // Известия Коми научного центра. – 2016. – № 2. – С. 28–35.
192. Страшная, А. И. База данных агрометеорологических показателей для анализа условий перезимовки озимых зерновых культур по субъектам Черноземной зоны за 1985–2013 гг. / А. И. Страшная, Т. А. Максименкова, Н. А. Богомоллова Автор. св-во № 2016620086 от 21.01.2016.
193. Сухарева, Т. А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях антропогенного загрязнения / Т. А. Сухарева // Химия для устойчивого развития. – 2012, – № 20, – С. 369–376.
194. Тарасов, П. А. Особенности температурного режима почв в сосняках средней тайги, пройденных низовыми пожарами / П. А. Тарасов, В. А. Иванов, Г. А. Иванова // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. 25. – № 3(4). – С. 300–304.
195. Тарасов, П. А. Оценка пирогенного воздействия на почвы лесов Алтайского пояса / П. А. Тарасов, А. С. Михно, А. Ф. Сизина // Вестник КрасГАУ. – 2011, – № 1. 26–30.
196. Таскаева, А. А. Фауна и население коллембол (Collembola) горных экосистем Хибин и Урала / А. А. Таскаева // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Апатиты: КНЦ РАН, – 2014. – Ч. 3. – С. 82–84.
197. Танасевич, А. В. Пауки Кольского полуострова (Arachnida: Aranei) / А.В. Танасевич, И. О. Камаев // Кавказский энтомологический бюллетень, – 2011. – Т. 7. – № 1. – С. 7–32.
198. Татаринцов, А. Г. Локальные фауны булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera: Papilionoidea, Hesperioidea) Европейского Севера России: Хибины / А. Г. Татаринцов, О. И. Кулакова // Вестник Поморского ун-та. Сер. Естественные и точные науки, – 2009. – № 1. – С. 68–76.

199. Термохроны: технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elin.ru> (дата обращения: 25.01.2023).
200. Тишков, А. А. Сохранение биологического разнообразия в России / А. А. Тишков // Россия в окружающем мире. – 2005. – № 8. – С. 82–124.
201. Тишков, А. А. Биотически значимые тренды климата и динамика биоты российской Арктики / А. А. Тишков, М. А. Вайсфельд, П. М. Глазов, [и др.] // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 1 (33). – С. 71–87. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2019-1-71-87>
202. Трошкина, Е. С. Влияние изменения климатических условий на нивально-гляциальные процессы в Хибинах / Е. С. Трошкина, Ю. Г. Селиверстов, Е. Г. Мокров [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2009. – № 2. – С. 26–32.
203. Тыртиков, А. П. Влияние экспозиции и некоторых компонентов растительного и почвенного покрова на температурный режим почв у северной границы тайги / А. П. Тыртиков // Почвоведение. – 1962. – № 7. – С. 82–86.
204. Тютюкова, Е. А. Отклик *Betula tortuosa* Ledeb и *Larix sibirica* Ledeb, произрастающих в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау, на изменение климата / Е. А. Тютюкова, И. А. Петров, С. Р. Лоскутов // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. – Кострома: Костромской гос. ун-т, – 2021. – С. 67–69.
205. Ушакова, Г. И. Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова / Г. И. Ушакова. Апатиты: КНЦ РАН, – 1997. – 150 с.
206. Ушакова, Г. И. Особенности миграции минеральных элементов в биогеоценозах Хибин / Г. И. Ушакова // Почвообразование в биогеоценозах Хибин. Кольский филиал Академии наук СССР. – 1979. – С. 113–115.
207. Федоров-Давыдов, Д. Г. Температурный режим почв Северной Якутии / Д. Г. Федоров-Давыдов, С. П. Давыдов, А. И. Давыдова [и др.] // Криосфера Земли. – 2018. – Т. 22. – № 4. – С. 15–24. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-4\(15-24\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-4(15-24))
208. Фридланд, В. М. Структура почвенного покрова / В. М. Фридланд. – М.: Наука, – 1983. – 196 с.
209. Фридолин, В. Ю. Животно-растительное сообщество горной страны Хибин / В. Ю. Фридолин. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, – 1936 а. – 293 с.

210. Фридолин, В. Ю. Дифференциальная фенология и исключительный 1934 год в Хибинской горной стране / В. Ю. Фридолин // Изв. Всесоюзн. геогр. об-ва. – 1936 б. – Т. LXVIII. – В. 1. – С. 80–107.
211. Халафян, А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. Учебник. – М.: ООО «Бином-Пресс», – 2007. – 512 с.
212. Хибины: природа и человек / Н. А. Алексеенко, Е. А. Боровичев, А. А. Волкова [и др.]. Министерство науки и высшего образования РФ, КНЦ РАН, ИППЭС, Мурманское отделение РБО. – СПб: Свое издательство, 2022. – 308 с.
<https://doi.org/10.37614/978.5.4386.2149.2>
213. Худяков, О. И. Криогенез и почвообразование / О. И. Худяков. Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, – 1984. – 196 с.
214. Худяков, О. И. Почвообразование, элементарные почвообразовательные процессы, твердофазные продукты функционирования элементарных почвообразовательных процессов / О. И. Худяков, О. В. Решоткин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Т. 19. – № 2(2). – С. 354–359.
215. Цибарт, А. С. Ассоциации полициклических ароматических углеводов в пройденных пожарами почвах / А. С. Цибарт, А. Н. Геннадиев // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. – 2011. – № 3. – С. 13–19.
216. Цибарт, А. С. Полициклические ароматические углеводороды в пирогенных почвах заболоченных ландшафтов Мещеры / А. С. Цибарт, А. Н. Геннадиев, Т. С. Кошовский, Н. С. Гамова // Почвоведение. – 2016. – № 3. – С. 312–320.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X16030114>
217. Цинзерлинг, Ю. Д. География растительного покрова Северо-Запада Европейской части СССР / Ю. Д. Цинзерлинг. Изд-во: – Л.: АН СССР, – 1934. – 378 с.
218. Цинзерлинг, Ю. Д. Материалы по растительности Северо-Востока Кольского полуострова / Ю. Д. Цинзерлинг. – М.; –Л.: Изд-во Акад. наук СССР, – 1935. – 162 с.
219. Цинкевич, В. А. Жесткокрылые (Coleoptera) — Обитатели плодовых тел базидиомицетов западной лесной зоны Русской равнины (Беларусь) / В. А. Цинкевич // Бюлл. МОН. – 2004, – № 109. – С. 17–25.

220. Чепурко, Н. Л. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в лесных и тундровых сообществах Хибинских гор / Н. Л. Чепурко. – Л.: Наука, 1971. – С 213–220.
221. Чернов, Ю. И. Экология и биогеография. Избранные работы. / Ю. И. Чернов. – М.: Товарищество научных изданий КМК. – 2008. – 580 с.
222. Черноус, П. А. Некоторые результаты оценки пространственной изменчивости высоты снежного покрова на склонах Хибин / П. А. Черноус, Н. О. Михайленко // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: Материалы V Байкальской международной научной конференции - стратегической сессии, Иркутск, 19–23 июня 2023 года. – Иркутск: Репроцентр А1, – 2023. – С. 94–100.
223. Четвертый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации». Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Программа развития ООН, – 2009. – 174 с.
224. Шарова, И. С. Жизненные формы жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) / И. С. Шарова. Наука: – Москва, –1981. – 346 с.
225. Шиятов, С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата / С. Г. Шиятов ИЭРиЖ. – Екатеринбург: УрО РАН, – 2009. – 215 с.
226. Шляков, Р. Н. Флора листостебельных мхов Хибинских гор / Р. Н. Шляков. –Мурманск, – 1961. – 251 с.
227. Шмакин, А. Б. Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене / А. Б. Шмакин, Н. И. Осокин, А. В. Сосновский [и др.] // Лёд и снег. – 2013. – Т. 53, № 4. – С. 52–59.
228. Шмакова, Н. Ю. Горно-тундровые сообщества Кольской Субарктики (эколого-физиологический аспект) / Н. Ю. Шмакова, Г. И. Ушакова, В. И. Костюк. – Апатиты: КНЦ РАН, – 2008. – 167 с.
229. Штабровская, И. М. Температурные данные в экологическом мониторинге горных почв Кольской Субарктики / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Труды Карельского НЦ РАН. Экологические исследования. – 2024. – № 3. – С. 105–120. <https://doi.org/10.17076/eco1758>

230. Штабровская, И.М. Сравнительная динамика температуры подстилки в лишайниковой и кустарничковой тундре Хибин / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2017. – № 14. – С. 461–464
231. Штабровская, И. М. Анализ температуры горных почв с применением методов описательной статистики / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Математические исследования в естественных науках // Труды XV Всеросс. Научн. школы. – 2018. – № 15. – С. 164–175. <https://doi.org/10.31241/MIEN.2018.15.22>
232. Штабровская, И. М. К исследованию годичной динамики температуры Хибинского горного массива / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019 а. – № 16. – С. 620–623. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.127>
233. Штабровская, И. М. Анализ годичной динамики температуры горных почв с применением методов описательной статистики в высотном градиенте горы Куэльпорр / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Математические исследования в естественных науках. Труды XVI Всеросс. Научн. школы. – 2019 б. – С. 155–164
234. Штабровская, И. М. Годовая динамика температуры в почвенном покрове пояса гольцовых пустынь Хибин (Мурманская обл.) / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Труды Кольского НЦ РАН. Прикладная экология Севера. – 2021. – Вып. 9. – Т. 12. – № 6. – С. 264–270. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.039>
235. Штабровская, И. М. Летние температуры почвенных профилей на вырубках и гарях Хибин / И. М. Штабровская, И. В. Зенкова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2022. – № 19. – С. 418–423. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.076>
236. Шульгин, А. М. О температурном режиме и влажности приповерхностных слоев почвы под сельскохозяйственными культурами / А. М. Шульгин // Метеорология и гидрология. – 1940. – № 5(6). – С. 86–90.
237. Шульгин, А. М. Климат почвы и его регулирование / А. М. Шульгин. – Л. Гидрометеорологическое издательство. – 1967. – 302 с.
238. Щербакова, А. А. Создание и визуализация базы данных по результатам мониторинга Надымского геокриологического стационара / А. А. Щербакова, О. В. Пономарева, К. О. Щербакова, Б. А. Овезов // Деловой журнал Neftegaz.RU, – 2022. – № 3(123). – С. 90–92.

239. Эколого-экономическое обоснование национального парка Хибин. Мат-лы комплексного экологического обследования участков территории, обосновывающие придание этой территории правового статуса ООПТ федерального значения – национального парка «Хибины» в Мурманской области. Апатиты, – 2014. – 133 с.
240. Яковлев, Б. А. Климат Мурманской области / Б. А. Яковлев. – М.: Мурманское книжное издательство, – 1961. – 200 с.
241. Allison, S. D. Resistance of microbial and soil properties to warming treatment seven years after boreal fire / S. D. Allison, K. L. McGuire, K. K. Treseder // *Soil Biol Biochem.* – 2010. – №42 (10). – P. 1872–1878.
242. Barber, H. S. Traps for cave-inhabiting insects / H. S. Barber // *J. Elisha Michell Scientific Soc.* – 1931. – Vol. 46. – № 3. – P. 259–266.
243. Benick, L. Pilzkäfer und Käferpilz. Okologische und statistische Untersuchungen / L. Benick // *Acta Zool. Fenn.* – 1952, – № 70. – 250 p.
244. Bezkorovaynaya, I. N. Nitrogen stock of sandy podzols after controlled burning of middle Siberian pine forests / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova, A. V. Bogorodskaya, E. N. Krasnoschekova // *Soil Sci.* – 2007. – № 6. – P. 775–783.
245. Bezkorovaynaya, I. N. Influence of fire on soil temperatures of pine forests of the middle taiga, Central Siberia, Russia / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, I. G. Gette, I. A. Mogilnikova // *Journal of Forestry Research.* – 2020. – Vol. 32. – P. 1139–1145.
246. Conant, R. T. Environmental factors control-ling soil respiration in three semiarid ecosystems / R. T. Conant, J. M. Klopatek, C. C. Klopatek // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 2000. – Vol. 64. – P. 383–390.
247. Ding, W. Soil respiration under maize crops: effects of water, temperature, and nitrogen fertilization / W. Ding, Y. Cai, Z. Cai, K. Yagi, X. Zheng // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 2007. – Vol. 71. – P. 944–951.
248. Frey, R. En resa till Kola-halfön. – Terra, Helsingfors. – 1915. P. 111–126.
249. Guenon, R. Trends in recovery of Mediterranean soil chemical properties and microbial activities after infrequent and frequent wildfires / R. Guenon, M. Vennetier, N. Dupuy, S. Roussos, A. Pailler, R. Gros // *Land Degradation and Development.* – 2013. – № 24. – P. 115–128. <https://doi.org/10.1002/ldr.1109>
250. Grigoriev, A. A. Upward Treeline Shifts in Two Regions of Subarctic Russia Are Governed by Summer Thermal and Winter Snow Conditions / A. A. Grigor1ev, Y. V.

Shalaumova, S. O. Vyukhin [et al.] // Forests. – 2022. – Vol. 13. – № 2.
<https://doi.org/0.3390/f13020174>

251. Hamilton, D. L. Nephelines as crystallization temperature indicators / D. L. Hamilton // J. Geol. – 1961. – Vol. 69. – P. 321–329.

252. Horton, R. Soil temperature in a row crop with incomplete surface cover / R. Horton, O. Aguirre-Luna, P.J. Wierenga // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1984. – Vol. 48. – P. 1225–1232.

253. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, – 616 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>

254. IUCN Red List of Threatened Species (1996) Ver. 2 (2020).
<https://www.iucnredlist.org>

255. Lewis, W. V. Snow-patch in Iceland / W. V. Lewis // The Geographical Journal. – 1939. – V. 44. – № 2. – P. 153–161.

256. Lindroth, C. H. Ground Beetles (Carabidae) of Fennoscandia / C. H. Lindroth. A zoogeographic study. Part. I. Washington: Amerind Publishing Co Pvt. Ltd., – 1992. – 630 p.

257. Löbl, I. Catalogue of Palaearctic Coleoptera / I. Löbl, D. Löbl. Hydrophiloidea Staphylinoidea; Revised and Updated Edition; Brill: Leiden, The Netherlands; Boston, MA, USA, – 2015. – 1702 p.

258. Löbl, I. Catalogue of Palaearctic Coleoptera / I. Löbl, A. Smetana. Archostemata – Myxophaga – Adephaga; Apollo Books: Stenstrup, Denmark. – 2003. – 819 p.

259. Kamayev, I. Long-term dynamics of earthworms in forest-tundra ecotones in the Khibiny Mountains, Kola Peninsula, Russia / I. Kamayev, L. Rybalov, N. Lukina // Understanding Circumpolar Ecosystems in a Changing World Outcomes of the International Polar Year. Edmonton, Canada: University of Alberta. – 2010. – 78 p.

260. Karppinen, E. List of oribatid mites (Acarina, Oribatei) of northern palaearctic region. 1. Europe / E. Karppinen, D. A. Krivolutsky // Acta Entomol. Fennica. – 1982. – Vol. 41. – P. 1–18.

261. Koroleva, N. E. Complex Ecological Study of the Fjell Field in the Khibiny Mountains / N. E. Koroleva, M. N. Maslov, A. D. Danilova, D. A. Davydov, A. B. Novakovskiy, I. V. Zenkova, V. V. Redkina, I. M. Shtabrovskaya, R. R. Shalygina // Contemporary Problems of Ecology. – 2024. – Vol. 17. – № 5. – P. 575–585.
<https://doi.org/10.1134/S1995425524700379>

262. Kullman, L. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology / L. Kullman // J. of Ecology. – 2007. – Vol. 95. – P. 41–52.
263. McCabe, L. H. Nivation and corrie erosion in West Spitzbergen / L. H. McCabe // The Geographical Journal. – 1939. – V. 44. – № 6. – P. 447–465.
264. Oliver, S. A. Soil heat flux and temperature variation with vegetation, soil type and climate / S. A. Oliver, H. R. Oliver, J. S. Wallace, A. M. Roberts // Agricultural and Forest Meteorology. – 1987. – Vol. 39. – № 2–3. – P. 257–269.
265. Phillips, H. R. P. Global data on earthworm abundance, biomass, diversity and corresponding environmental properties / H. R. P. Phillips, J. M. Bennett, R. Beugnon [et al.] // Scientific Data. – 2021. – Vol. 8, №. 1. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00912-z>.
266. Poppius, B. R. Kola-half on soch Enare Lappmark Coleoptera / B. R. Poppius // Festschrift Herrn Professor Dr. J.A. Palmen. Helsingfors: Aktiebolaget Handelstryckeriet. – 1905. – Bd. 2. – Hf. 2. – P. 1–200.
267. Radke, J. K. Laboratory simulation of temperature and hydraulic head variations under a soil ridge / J. K. Radke, D. C. Reicosky, W. B. Voorhees // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1993. – Vol. 57. – P. 652–660.
268. Rantala, L. Venäjän Vallan Kuolan Niemimaalla Käyneet Suomalaiset Tiedemiehet Ja Heidän Kirjoituksensa / L. Rantala. Rovaniemi, – 2010. – 74 p.
269. Rees, G. Mapping of the Eurasian Circumboreal Forest-Tundra Transition Zone by Remote Sensing / G. Rees, O. Tutubalina, G. Tommervik et al. // CBVM meeting (Helsinki, 3–6 November 2008), – 2008. – P. 1–7.
270. Rybalov, L. B. Comparative analysis and long-term dynamics of soil macrofauna in forest-tundra ecotone of the Khibiny mountains / L. B. Rybalov, I. O. Kamayev // Russian Entomol. J. – 2012. – Vol. 21. – № 2. – P. 179–183.
271. Santana, V. M. Effects of soil temperature regimes after fire on seed dormancy and germination in six Australian Fabaceae species / V. M. Santana, R. A. Bradstock, M. K. Ooi, A. J. Denham, T. D. Auld, M. J. Baeza // Aust J Bot. – 2010. – Vol. 58(7). – P. 539–545.
272. Schigel, D. S. Polypore-beetle associated in Finland / D. S. Schigel // Ann. Zool. Fenn. – 2011, – № 48. – P. 319–348. <https://doi.org/10.5735/086.048.0601>

273. Sharratt, B. S. Soil temperature, water content, and barley development of level vs. ridged subarctic seedbeds / B. S. Sharratt // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1996. – Vol. 60. – P. 258–263.
274. Sharrow, S. H. Effects of fire, ash, and litter on soil nitrate, temperature, moisture and Tobosa-grass production in the rolling plains / S. H. Sharrow, H. A Wright // *J Range Manag.* – 1977. – Vol. 30(4). – P. 266–270.
275. Southwood, T. R. E. *Ecological methods* / T. R. E. Southwood. London: Champan and Hall., – 1978. – 253 p.
276. Sorvari, J. Distribution of Finnish mound-building *Formica* ants (Hymenoptera: Formicidae) based on using a citizen science approach / J. Sorvari // *European Journal of Entomology.* – 2021. – Vol. 118. – P. 57–62. <https://doi.org/10.14411/eje.2021.007>
277. Vermeire, L. T. Fire and grazing effects on wind erosion, soil water content, and soil temperature / L. T. Vermeire, D. B. Wester, R. B. Mitchell, S. D. Fuhlendorf // *J Environ Qual.* – 2005. – Vol. 34(5). – P. 1559–1565
278. World Spider Catalog. World Spider Catalog Version 24.5. Natural History Museum Bern. 2023. Available online: <http://wsc.nmbe.ch> (accessed on 1 September 2023).
279. Zenkova, I. V. Myriapods (Myriapoda) occurring on plains and in mountain ecosystems on the Kola Peninsula (Russia) / I. V. Zenkova // *Acta Societatis Zool. Bohem* (Special Issue: *Proced. 16th Int. Congress of Myriapodology, 16 ICM*), 2016. –V. 80. – № 1. – P. 87–99.
280. Zenkova, I. V. Species richness and high-altitude distribution of earthworms in the Khibiny Mountain Massive (Murmansk Region) / I. V. Zenkova, I. B. Rapoport // *Advances in Earthworm Taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta): Proced. 6th Int. Oligochaete Taxonomy Meeting (6th IOTM, Palmeira de Faro, Portugal, 22-25 April 2013)*. Heidelberg: KasperekVerlag. – 2014. – P. 141–151. <https://doi.org/10.13140/2.1.3734.7841>
281. Zenkova, I. V. The ground beetles fauna (Coleoptera, Carabidae) of natural and anthropogenic habitats in Khibiny polar massif / I. V. Zenkova, B. Y. Flippov // *Proced. of the 8th Int. Symp. of Ecologists (ISEM8, Budva, Montenegro, 2-5 October 2019)*. – 2019. – P.121–128.
282. Zenkova, I. V. Fires and Clear-Cuttings as Local Areas of Arthropod Diversity in Polar Regions: Khibiny Mountains / I. V. Zenkova, A. A. Ditts, I. M. Shtabrovskaya, A. A. Nekhaeva // *Fire.* – 2024. – № 7. – Is. 203. <https://10.3390/fire7060203>

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Летние показатели температуры подстилки на склонах гор Юкспорр и Суолайв

Показатель	Юкспорр, южная экспозиция			Суолайв, западная экспозиция		
	$Ю_{SBK_{490}}$	$Ю_{ST_{640}}$	$Ю_{SBT_{730}}$	$C_{WE_{270}}$	$C_{WBK_{340}}$	$C_{WT_{390}}$
<i>Температура, °C</i>						
Среднеголетняя $T^{\circ}\text{C}$, VII–VIII (70 сут)	$12,03 \pm 0,23$	$11,40 \pm 0,33$	$11,81 \pm 0,33$	$11,27 \pm 0,29$	$12,40 \pm 0,33$	$15,48 \pm 0,51$
Максимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII–VIII	15,91 (15.VII)	16,68(7.VIII)	16,43(6.VIII)	16,20 (6.VII)	18,06(6.VII)	22,71(6.VII)
Минимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII–VIII	8,57 (1.VII)	6,38 (30.VIII)	5,65(3.VII)	7,76(4.VII)	8,80(4.VII)	9,13(29.VIII)
Летняя амплитуда, °C	7	10	11	8	9	14
Летняя вариабельность, CV %	15,7	23,1	22,3	16,0	18,1	24,8
Средняя $T^{\circ}\text{C}$, VII	$12,22 \pm 0,33$	$11,88 \pm 0,45$	$12,23 \pm 0,49$	$11,75 \pm 0,33$	$13,45 \pm 0,37$	$17,98 \pm 0,63$
Максимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII	14,91 (15.VII)	15,41(15.VII)	15,94(15.VII)	16,20(6.VII)	18,06 (6.VII)	22,71(6.VII)
Минимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII	8,57 (03.VII)	7,05 (01.VII)	5,65 (03.VII)	7,76(04.VII)	8,80(04.VII)	10,64(04.VII)
Амплитуда, °C VII	6	8	10	7	8	12
Вариабельность VII, CV %	15,1	21,0	22,4	15,4	15,3	19,5
Средняя $T^{\circ}\text{C}$, VIII	$12,07 \pm 0,34(15.VIII)$	$11,21 \pm 0,49$	$11,70 \pm 0,44$	$11,93 \pm 0,36$	$12,58 \pm 0,47$	$14,53 \pm 0,70$
Максимальная $T^{\circ}\text{C}$, VIII	15,91(7.VIII)	16,68(7.VIII)	16,43(6.VIII)	14,30 (6.VIII)	16,61(6.VIII)	22,34(7.VIII)
Минимальная $T^{\circ}\text{C}$, VIII	8,94(30.VIII)	6,38(30.VIII)	7,28(29.VIII)	9,05(30.VIII)	8,88(29.VIII)	9,13(29.VIII)
Амплитуда, °C VIII	7	10	12	7	9	13
Вариабельность VIII, CV %	15,7	24,2	21,1	17,0	20,9	26,8
<i>Сумма среднесуточных пороговых температур VII, °C</i>						
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	379	368	379	364	417	557
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	45	57	37	53	28	0
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	334	312	342	310	389	557
<i>Число суток с пороговыми температурами VII</i>						
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	31	31	31	31	31	31
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	5	7	5	6	3	0
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	26	24	26	25	28	31
<i>Сумма среднесуточных пороговых температур VIII, °C</i>						
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	374	348	363	370	390	450
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	37	105	70	38	38	9
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	337	243	293	332	342	441
<i>Число суток с пороговыми температурами VIII</i>						
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	31	31	31	31	31	31
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	4	12	8	4	4	1
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	27	19	23	27	26	30

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Температурные показатели воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр

Показатели / Участки	Еловые редколесья			Березовое криволесье	Горная тундра
	K_{WE300}	K_{WE350}	K_{WE400}	K_{WBK}	K_{WT}
Атмосферный воздух (2 м над поверхностью почвы)					
Среднегодовая T , °C	-0,8±0,6	-0,2±0,6	-0,03±0,6	0,3±0,5	-0,2±0,6
Абсолютный годовой максимум, °C	19,2	21,0	21,0	20,9	22,8
Абсолютный годовой минимум °C	-23,3	-19,9	-19,4	-14,0	-18,3
Годовая амплитуда T , °C	42,5	40,9	40,4	34,9	41,1
Годовая вариабельность, %	8,3	2,3	1,1	3,8	2,3
Поверхность почвы					
Среднегодовая T , °C	1,4±0,4	2,6±0,3	2,4±0,3	1,5±0,3	2,3±0,3
Абсолютный годовой максимум, °C	22,4	21,4	22,6	21,0	21,5
Абсолютный годовой минимум °C	-13,0	-6,1	-5,9	-9,6	-5,8
Годовая амплитуда T , °C	35,4	27,6	28,4	30,6	27,4
Годовая вариабельность, %	28,1	11,5	13,3	23,2	13,3
Число суток с пороговыми температурами					
$T < 0$ °C	179	174	180	179	184
$T \geq 0$ °C	173	178	172	173	168
$0 \leq T < 5$ °C	63	71	57	73	68
$5 \leq T < 10$ °C	60	57	66	53	55
$T \geq 10$ °C	50	50	49	47	45
Сумма среднесуточных пороговых температур					
$T < 0$ °C	-787	-293	-389	-640	-352
$T \geq 0$ °C	1263	1219	1241	1154	1151
$0 \leq T < 5$ °C	144	125	68	141	136
$5 \leq T < 10$ °C	455	431	504	413	410
$T \geq 10$ °C	664	663	669	600	605
Подстилка (на глубине 5 см)					
Среднегодовая T , °C	1,5±0,3	2,7±0,2	2,2±0,3	1,7±0,3	2,0±0,2
Абсолютный годовой максимум, °C	15,3	15,7	15,6	15,8	14,8
Абсолютный годовой минимум °C	-9,6	-3,9	-4,4	-7,5	-3,2
Годовая амплитуда T , °C	24,9	19,6	20,0	23,3	18,0
Годовая вариабельность, %	19,6	9,0	12,0	17,5	10,5

Продолжение таблицы Б.1

Показатели / Участки	K_{WE300}	K_{WE350}	K_{WE400}	$K_{WBк}$	K_{WT}
<i>Число суток с пороговыми температурами</i>					
$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	152	120	150	152	149
$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	200	232	202	200	203
$0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	101	134	101	102	114
$5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	65	64	63	63	69
$T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	34	34	38	35	20
<i>Сумма среднесуточных пороговых температур</i>					
$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	–534	–127	–274	–456	–150
$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	1045	1065	1052	1039	864
$0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	158	164	113	137	134
$5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	473	483	480	477	502
$T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	414	418	459	425	228

Обозначения участков: K_{WE300} ; K_{WE350} , K_{WE400} – еловые редколесья на высотах 300, 350 и 400 м соответственно; $K_{WBк}$ – березовое криволесье; K_{WT} – горная тундра

Таблица Б.2 – Достоверность различий годовой динамики температуры воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр (дисперсионный анализ ANOVA)

Объект	Сравниваемые участки на разных высотах									
	K_{WE300}/K_{WE350}	K_{WE300}/K_{WE400}	$K_{WE300}/K_{WBк}$	K_{WE300}/K_{WT}	K_{WE350}/K_{WE400}	$K_{WE350}/K_{WBк}$	K_{WE350}/K_{WT}	$K_{WE400}/K_{WBк}$	K_{WE400}/K_{WT}	$K_{WBк}/K_{WT}$
Воздух	$F=0,58$	0,90	1,94	0,58	0,22	0,04	0,40	0,001	0,04	0,40
	$p=0,45$	0,34	0,16	0,45	0,64	0,84	0,53	0,99	0,84	0,53
Поверхность	6,91	4,60	0,05	3,57	0,22	6,61	0,70	4,21	0,12	3,16
	0,009	0,03	0,83	0,06	0,64	0,01	0,40	0,04	0,73	0,08
Подстилка	8,82	2,91	0,09	1,81	1,63	7,29	4,03	1,06	0,30	1,06
	0,003	0,09	0,77	0,18	0,20	0,01	0,05	0,30	0,58	0,30

Примечание. Красным цветом выделены достоверные значения. Обозначения участков как в таблице Б.1

Таблица Б.3 – Достоверность различий среднегодовой температуры воздуха, поверхности почвы и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр (t -критерий Стьюдента)

Среды	Сравниваемые участки на разных высотах									
	K_{WE300}/K_{WE350}	K_{WE300}/K_{WE400}	K_{WE300}/K_{WBK}	K_{WE300}/K_{WT}	K_{WE350}/K_{WE400}	K_{WE350}/K_{WBK}	K_{WE350}/K_{WT}	K_{WE400}/K_{WBK}	K_{WE400}/K_{WT}	K_{WBK}/K_{WT}
Воздух	0,76	0,95	1,39	0,76	0,20	0,63	0,001	0,43	0,20	0,63
Поверхность	2,63	2,15	0,21	1,89	0,47	2,57	0,84	2,05	0,34	1,78
Подстилка	2,97	1,70	0,30	1,35	1,28	2,70	2,01	1,42	0,55	1,03

Примечание. Красным цветом выделены достоверные значения. Обозначения участков как в таблице Б.1

Таблица Б.4 – Достоверность различий среднемесячных температур поверхности почвы и толщи подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр (t -критерий Стьюдента)

Месяц	Сравниваемые участки									
	K_{WE300}/K_{WE350}	K_{WE300}/K_{WE400}	K_{WE300}/K_{WBK}	K_{WE300}/K_{WT}	K_{WE350}/K_{WE400}	K_{WE350}/K_{WBK}	K_{WE350}/K_{WT}	K_{WE400}/K_{WBK}	K_{WE400}/K_{WT}	K_{WBK}/K_{WT}
<i>Поверхность почвы</i>										
IX	0,31	0,60	0,65	0,85	0,30	0,34	0,55	0,03	0,25	0,22
X	0,42	0,45	0,00	0,42	0,98	0,46	0,94	0,50	0,02	0,47
XI	0,87	0,24	0,40	0,23	1,08	0,71	1,65	0,24	0,67	0,85
XII	6,43	5,33	2,44	4,87	1,54	5,35	2,68	3,76	0,91	3,12
I	11,03	9,24	2,51	12,19	4,84	9,36	2,77	7,24	7,30	10,72
II	4,67	4,11	0,95	5,02	1,14	4,34	0,44	3,68	1,66	4,78
III	4,53	4,61	0,56	5,43	0,40	3,98	0,95	4,04	1,66	4,89
IV	0,61	1,77	1,02	0,03	2,33	0,71	0,55	0,58	1,67	0,96
V	0,04	0,67	0,97	1,11	0,68	1,09	1,21	1,68	1,73	0,28
VI	0,22	0,24	0,69	0,77	0,02	0,94	1,00	0,91	0,98	0,12
VII	0,08	0,50	0,23	0,23	0,40	0,31	0,30	0,73	0,67	0,02
VIII	0,20	0,17	0,27	0,57	0,38	0,06	0,39	0,46	0,75	0,35
<i>Подстилка</i>										
IX	0,04	0,70	0,83	0,97	0,74	0,87	1,01	0,13	0,28	0,14
X	0,88	1,38	1,37	1,50	2,76	2,51	2,75	0,16	0,25	0,07
XI	1,17	0,67	1,17	1,48	9,77	5,37	6,99	1,29	2,26	0,53

Продолжение таблицы Б,4

XII	7,74	4,52	1,59	7,06	3,57	7,35	2,19	3,36	2,55	6,50
I	12,87	8,00	1,84	13,54	10,63	12,37	2,14	6,67	11,48	13,10
II	5,97	3,85	0,83	6,18	2,99	5,20	0,09	3,00	3,26	5,40
III	6,35	4,26	1,42	7,71	3,20	5,10	1,49	2,81	5,34	6,55
IV	1,33	1,28	0,94	1,13	4,41	3,03	3,60	0,27	0,10	0,16
V	2,53	1,02	0,30	2,59	1,50	2,17	0,46	0,71	1,68	2,28
VI	0,99	2,53	1,18	0,66	1,57	0,25	1,55	1,25	2,95	1,70
VII	0,31	0,59	0,52	1,89	0,27	0,20	2,18	0,06	2,56	2,43
VIII	0,10	0,14	0,15	2,75	0,03	0,04	2,49	0,02	2,75	2,68

Примечание. Красным цветом выделены значения, достоверные при $(28;0,05) = 2,04$. Обозначения участков как в таблице Б.1

Таблица Б.5 – Достоверность различий летней динамики температуры воздуха, поверхности и подстилки в высотном градиенте горы Куэльпорр (дисперсионный анализ ANOVA)

Среды	Участки									
	K_{WE300}/K_{WE350}	K_{WE300}/K_{WE400}	K_{WE300}/K_{WBK}	K_{WE300}/K_{WT}	K_{WE350}/K_{WE400}	K_{WE350}/K_{WBK}	K_{WE350}/K_{WT}	K_{WE400}/K_{WBK}	K_{WE400}/K_{WT}	K_{WBK}/K_{WT}
Воздух	$F=0,07$	0,18	0,001	0,001	0,44	0,08	0,02	0,13	0,23	0,01
	$p=0,78$	0,66	0,97	0,91	0,50	0,77	0,88	0,71	0,62	0,89
Поверхность	0,007	0,30	0,46	0,74	0,21	0,60	0,89	1,53	1,82	0,06
	0,93	0,58	0,49	0,38	0,64	0,43	0,34	0,21	0,17	0,80
Подстилка	0,36	2,61	0,70	7,97	0,96	0,05	11,78	0,56	21,55	13,84
	0,54	0,10	0,40	0,005	0,32	0,81	0,0007	0,45	0,0001	0,00001

Примечание. Красным цветом выделены достоверные значения. Обозначения участков как в таблице Б.1

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Годовые показатели температуры в поясе холодных гольцовых пустынь Хибин

Показатель	Вудъяврчорр, 2017 / 2018 гг.		Айкуайвенчорр, 2019 / 2020 гг.			Среднее ± ошибка, n = 4	
	<i>ВГли</i>	<i>ВГзл</i>	<i>АГвз</i>	<i>АГли</i>	<i>АГзл</i>		
<i>Температура, °C</i>							
Среднегодовая <i>T</i> °C	1,98 ± 0,26	1,88 ± 0,27	–3,81 ± 0,45	–0,70 ± 0,27	0,55 ± 0,24	–0,02 ± 1,1	
Максимальная среднесуточная <i>T</i> °C	18,46 (19.VII)	21,51 (17.VII)	19,29 (5.VII)	12,35 (22.VII)	13,74 (22.VII)	17,1 ± 1,7	
Минимальная среднесуточная <i>T</i> °C	–0,78 (24.III–11.IV)	–1,18 (29.III–9.IV)	–20,93 (22.II)	–9,21(1.XI)	–4,90 (8.II)	–7,4 ± 3,7	
Годовая амплитуда <i>T</i> , °C	19,2	22,6	40,2	21,5	18,6	24 ± 4	
Годовая вариабельность, CV %	90	83	49	13	11	49 ± 17	
Абсолютный годовой минимум, °C	–0,78 (24.III–11.IV)	–1,18 (29.III–9.IV)	–22,5 (23.II)	–9,93 (1.XI)	–4,92 (7–8.II)	–7,8 ± 4,0	
Абсолютный годовой максимум, °C	22,29 (18.VII)	35,39 (13.VII)	21,50 (6.VII)	17,31 (7.VII)	16,55 (7.VII)	18,3 ± 5,7	
Максимальная внутрисуточная амплитуда	9,4 (18.VII)	26 (13.VII)	5,5 (6.VII)	11 (7.VII)	10 (7.VII)	14 ± 2	
<i>Сумма среднесуточных пороговых температур, °C</i>							
Отрицательные <i>T</i> < 0 °C	–74	–122	–1651	–1015	–588	–690 ± 295	
Положительные <i>T</i> > 0 °C	753	770	–	753	794	614 ± 154	
0 ≤ <i>T</i> < 5 °C	84	88	–	119	92	77 ± 20	
Эффективные 5 ≤ <i>T</i> < 10 °C	150	170	–	502	427	249 ± 103	
Активные <i>T</i> ≥ 10 °C	519	512	–	132	275	287 ± 103	
<i>Число суток с пороговыми температурами</i>							
Отрицательные <i>T</i> < 0 °C	215	208	228	233	240	224 ± 6	
Положительные <i>T</i> > 0 °C	127	139	–	141	134	108 ± 27	
0 ≤ <i>T</i> < 5 °C	72	82	–	58	50	52 ± 14	
Эффективные 5 ≤ <i>T</i> < 10 °C	20	24	–	71	60	35 ± 13	
Активные <i>T</i> ≥ 10 °C	35	33	–	12	24	20±6.5	
Переход <i>T</i> °C через 0	весной	19.VI.18	15.VI.18	29.V.20	27.V.20	02.VI.20	27.V–19.VI
	осенью	23.X.17	3.XI.17	18.IX.20	07.X.19	04.X.19	4.X–3.XI

Примечание. Прочерк – данные отсутствуют. Обозначение участков: ВГ– Вудъяврчорр, АГ– Айкуайвенчорр; вз – воздух, ли – лишайники, зл – злаки

Таблица В.2 – Сравнение температурных показателей в петроземах пояса холодных гольцовых пустынь Хибин и серогумусовых арктических почвах Шпицбергена

Показатель	Пояс холодных гольцовых пустынь Хибин					Шпицберген ^{1,2}	
	Плато Вудъяврчорр, 2017 / 2018 гг.		Плато Айкуайвенчорр, 2019 / 2020 гг.			2016 / 2017, 2018 / 2019	
	<i>ВГли</i>	<i>ВГзл</i>	<i>АГвз</i>	<i>АГли</i>	<i>АГзл</i>	<i>Швз, 2 м</i>	<i>Шмх, 2 см</i>
Среднегодовая $T^{\circ}\text{C}$	1,8±0,27	1,9±0,26	–3,81±0,45	–0,70±0,27	0,55±0,24	–2,4	– 2,8
Максимальная среднесуточная $T^{\circ}\text{C}$	21,5 (17.VII)	18,4 (19.VII)	19,29	12,35 (22.VII)	13,74 (22.VII)	11,8	8,0
Минимальная среднесуточная $T^{\circ}\text{C}$	–1,18 (29.III–9.IV)	–0,7 (24.III–11.IV)	–20,93	–9,21 (1.XI)	–4,90 (8.II)	–22,6	–19,3
Годовая амплитуда $T, ^{\circ}\text{C}$	22,6	19,2	40,2	21,5	18,6	34,4	27,3
Абсолютный годовой минимум, $^{\circ}\text{C}$	–1,18 (29.III–9.IV)	–0,78 (24.III–11.IV)	–22,5 (23.II)	–9,93 (1.XI)	–4,92 (7–8.II)	–23,0	–20,5
Абсолютный годовой максимум, $^{\circ}\text{C}$	35,39 (13.VII)	22,29 (18.VII)	–	17,31 (7.VII)	16,55 (7.VII)	14,4	9,1
$\sum T < 0^{\circ}\text{C}$	–122	–74	–1651	–1015	–588	–1536	– 1512
$\sum T > 0^{\circ}\text{C}$	770	753	–	753	794	754	469
$\sum 5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	170	150	–	502	427	585	237
Число суток с $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	24	20	–	71	60	83	38
Число суток с $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	33	35	–	12	24	0	0
Переход $T^{\circ}\text{C}$ через 0°C	весной 15.06.18	19.06.18	29.05.20	27.05.20	02.06.20	15.09.18	01.06.19
	осенью 3.11.17	23.10.17	18.09.20	07.10.19	04.10.19	17.05.19	28.09.18

Примечание. Обозначения: *вз* – воздух, *ли* – лишайники, *зл* – злаки, *мх*– мхи. Литературные данные: ¹Шмакин и др., 2013; ²Литвинова, Кашулина, 2021

Таблица В.3 – Температурные показатели вегетационного сезона в поясе холодных гольцовых пустынь Хибин

Показатель		Плато Вудъяврчорр 2018		Плато Айкуайвенчорр					Среднее ± ошибка, n = 7
		ВГли	ВГзл	2020		2022			
		Температура, °C							
Средняя T°С	сезон VII–IX	10,8 ± 0,8	10,7 ± 0,8	7,4 ± 0,3	8,2 ± 0,3	8,8 ± 0,5	8,5 ± 0,5	7,8 ± 0,4	8,9 ± 0,5
	VII	14,9±0,5	15,4±0,7	8,7±0,4	10,0±0,4	11,5±0,4	11,6±0,5	11,4±0,4	11,7± 0,9
	VIII	10,9±0,8	9,7±0,8	7,0±0,3	7,7±0,4	9,3±0,5	8,9±0,5	8,2±0,5	8,8 ± 0,5
	IX	3,0±0,3	2,8±0,3	2,6±0,5	2,6±0,5	2,6±0,3	2,0±0,3	2,2±0,3	2,5 ± 0,1
Максимальная среднесуточная T°С	сезон VII–IX	18,46	21,51	12,35	13,74	15,00	16,00	14,00	15,9 ± 1,2
	VII	18,46	21,51	12,35	13,74	15,00	16,00	14,00	15,9 ± 1,2
	VIII	16,84	16,89	10,08	11,16	13,75	13,50	12,70	13,5 ± 0,9
	IX	6,52	6,18	7,39	7,55	4,33	4,00	4,00	5,7 ± 0,6
Абсолютный максимум, °С	сезон VII–IX	35,39	22,29	17,31	16,55	23,50	24,50	19,00	22,6 ± 2,4
	VII	35,39	22,29	17,31	16,55	23,50	24,50	19,00	22,6 ± 2,4
	VIII	23,70	20,47	11,49	13,85	16,00	15,00	14,00	16,3 ± 1,6
	IX	8,50	13,50	7,66	8,21	5,00	4,50	4,50	7,4 ± 1,2
Минимальная среднесуточная T°С	сезон VII–IX	0,64	0,25	0,39	0,36	0,75	0,00	0,50	1,3 ± 0,6
	VII	8,95	8,25	5,67	6,39	6,38	5,92	5,10	6,6 ± 0,5
	VIII	7,72	5,96	3,62	3,90	3,88	1,75	2,20	4,1 ± 0,7
	IX	0,64	0,25	0,39	0,36	0,75	0,00	0,50	1,3 ± 0,6
Абсолютный минимум, °С	сезон VII–IX	0,60	0,11	3,33	2,69	0,50	0,00	0,00	1,7 ± 0,6
	VII	2,08	3,80	4,52	5,26	4,50	3,50	4,50	4,0 ± 0,3
	VIII	2,59	6,31	2,96	2,56	2,50	0,50	1,50	2,7 ± 0,6
	IX	0,60	0,11	3,33	2,69	0,50	0,00	0,50	1,7 ± 0,6
Амплитуда (Tmin – Tmax), °С	сезон VII–IX	17,8	21,3	8,8	10,3	14,3	16,0	13,5	14,6 ±1,6
	VII	17,8	21,3	8,8	10,3	14,3	16,0	13,5	14,6 ±1,6
	VIII	9,1	14,1	6,4	7,2	9,8	11,7	10,5	9,8 ± 0,9
	IX	5,8	5,9	7,0	7,2	3,5	4,0	4,0	5,3 ± 0,5
Вариабельность, CV%	сезон VII–IX	54	60	30	32	46	52	49	46 ± 4,3
	VII	19	25	24	23	20	23	21	22 ± 0,8
	VIII	24	30	28	29	27	32	33	29 ± 1,1
	IX	55	62	95	98	47	72	53	68 ± 7,7

Таблица В.4 – Суммы пороговых температур вегетационного сезона в поясе гольцовых пустынь Хибин (°С)

Показатель	Плато Вудъяврчорр 2018		Плато Айкуайвенчорр					Среднее ± ошибка, n = 7
	<i>ВГли</i>	<i>ВГзл</i>	2020		2022			
			<i>АГли</i>	<i>АГзл</i>	<i>АГли</i>	<i>АГмх-ли</i>	<i>АГмх</i>	
VII (nсуток = 31)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	493	477	269	309	344	347	313	364 ± 32
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	443	451	122	190	274	259	192	276 ± 48
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	19	26	148	119	70	87	121	84 ± 18
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
VIII (nсуток = 31)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	130	117	216	237	287	276	255	217 ± 26
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	96	62	10	85	142	131	102	90 ± 17
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	34	55	180	135	137	141	132	116 ± 20
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	26	18	8	5	21	11 ± 4
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
IX (nсуток = 20)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	70	74	61	62	54	42	46	58 ± 4
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	12	17	32	38	0	0	0	14 ± 6
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	58	57	29	24	71	62	63	52 ± 7
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
сезон VII–IX (nсуток = 82)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	636	631	564	626	666	648	596	624 ± 13
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	250	513	132	275	406	390	294	323 ± 47
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	79	88	390	313	216	228	253	224 ± 43
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	26	31	43	38	62	47	67	45 ± 6
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0

Обозначения: *ВГ*– Вудъяврчорр, *АГ*– Айкуайвенчорр; *вз* – воздух, *ли* – лишайники, *зл* – злаки, *мх*– мхи

Таблица В.5 – Число суток с пороговыми температурами вегетационного сезона в поясе гольцовых пустынь Хибин

Показатель	Плато Вудъяврчорр 2018		Плато Айкуайвенчорр					Среднее ± ошибка, n = 7
	<i>ВГли</i>	<i>ВГзл</i>	2020		2022			
			<i>АГли</i>	<i>АГзл</i>	<i>АГли</i>	<i>АГмх-ли</i>	<i>АГмх</i>	
VII (nсуток = 31)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	31	31	31	31	31	31	31	31 ± 0
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	29	28	11	16	22	20	16	20 ± 2
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	2	3	20	15	9	11	15	11 ± 2
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
VIII (nсуток = 31)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	12	12	31	31	31	31	31	25 ± 4
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	8	5	1	8	12	11	9	7 ± 1
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	4	7	24	19	17	18	17	15 ± 3
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	6	4	2	2	5	3 ± 1
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
IX (nсуток = 20)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	25	25	24	24	21	21	21	23 ± 1
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	2	3	5	6	0	0	0	2 ± 1
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	23	22	19	18	21	21	21	21 ± 1
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
сезон VII–IX (nсуток = 82)								
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	55	61	76	76	82	82	82	73 ± 4
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	33	35	12	24	33	31	25	28 ± 3
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	9	11	54	43	26	28	31	29 ± 6
Слабоположительные $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	13	15	10	9	23	23	26	17 ± 3
Отрицательные $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0

Обозначения: *ВГ*– Вудъяврчорр, *АГ*– Айкуайвенчорр; *вз* – воздух, *ли* – лишайники, *зл* – злаки, *мх*– мхи.

Таблица В.6 – Достоверность различий среднемесячных температур подстилки в поясе гольцовых пустынь горы Вудъяврчорр (t -критерий Стьюдента)

Месяц	$B\Gamma_{ли} / B\Gamma_{зл}$
IX	0,32
X	3,33
XI	10,42
XII	19,45
I	15,92
II	12,49
III	8,68
IV	10,15
V	0,55
VI	0,88
VII	0,56
VIII	1,01

Примечание. Красным цветом выделены значения, достоверные при $t_{(28;0,01)} = 2,76$

Таблица В.7 – Достоверность различий среднемесячных температур подстилки в поясе гольцовых пустынь горы Айкуайвенчорр (t -критерий Стьюдента)

Месяц	$A\Gamma_{ли} / A\Gamma_{зл}$
IX	0,07
X	3,23
XI	9,07
XII	26,47
I	12,38
II	6,77
III	50,87
IV	22,79
V	1,27
VI	0,93
VII	2,13
VIII	1,35

Примечание. Красным цветом выделены значения, достоверные при $t_{(28;0,01)} = 2,76$

Таблица В.8 – Достоверность различий среднемесячной динамики температуры подстилки в поясе гольцовых пустынь горы Айкуайвенчорр (дисперсионный анализ ANOVA)

Месяц / Сравнимые участки	<i>АГли / АГзл</i>	
	<i>F</i> -критерий Фишера	уровень значимости <i>p</i>
IX	0,005	0,95
X	10,5	0,001
XI	82,2	0,0001
XII	700,7	0,0001
I	153,3	0,0001
II	45,8	0,001
III	2587,5	0,00001
IV	519,4	0,00001
V	1,61	0,21
VI	0,86	0,36
VII	4,53	0,04
VIII	1,82	0,18

Примечание. Красным цветом выделены достоверные значения.

Таблица В.9 – Достоверность различий среднемесячной динамики температуры подстилки в поясе гольцовых пустынь горы Вудъяврчорр (дисперсионный анализ ANOVA)

Месяц	<i>ВГли / ВГзл</i>	
	<i>F</i> -критерий Фишера	уровень значимости <i>p</i>
IX	0,11	0,75
X	11,1	0,002
XI	108,5	0,0001
XII	378,4	0,0001
I	253,4	0,0001
II	156,1	0,001
III	69,4	0,00001
IV	108,5	0,00001
V	0,44	0,51
VI	0,89	0,35
VII	0,23	0,63
VIII	0,53	0,47

Примечание. Красным цветом выделены достоверные значения

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 – Летние показатели температуры подстилки на вырубках и гарях Хибин

Показатель	Контрольный сосняк, 236 м				Горелый сосняк, 235 м				Вырубка, 227 м			Горелая вырубка, 237 м		
	C_{15}	C_{18}	C_{21}	C_{22}	$ГC_{15}$	$ГC_{18}$	$ГC_{21}$	$ГC_{22}$	B_{18}	B_{21}	B_{22}	$ГB_{18}$	$ГB_{21}$	$ГB_{22}$
<i>Температура, °C</i>														
Среднелетняя $T^{\circ}\text{C}$, VII–VIII (70 сут)	$9,2 \pm 0,2$	$12,7 \pm 0,4$	$10,9 \pm 0,6$	$13,7 \pm 0,4$	$9,2 \pm 0,2$	$11,6 \pm 0,2$	$11,8 \pm 0,6$	$14,1 \pm 0,4$	$13,1 \pm 0,4$	$12,0 \pm 0,7$	$15,4 \pm 0,5$	$11,8 \pm 0,3$	$11,4 \pm 0,7$	$13,8 \pm 0,5$
Максимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII–VIII	12,0	19,2	24,8	19,4	12,6	15,9	25,5	19,9	18,5	27,4	29,1	17,4	29,8	27,9
Минимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII–VIII	6,4	7,4	2,5	6,1	7,4	8,2	2,3	6,9	7,0	1,1	7,5	6,6	2,5	6,5
Летняя амплитуда, °C	5,6	11,8	22,3	13,3	5,2	7,7	23,2	13,0	11,5	26,3	21,6	10,7	27,3	13,0
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	643	887	761	959	686	813	827	989	914	842	1077	826	800	964
Летняя вариабельность, CV %	16	25	43	25	13	18	44	23	23	49	29	23	52	33
Средняя $T^{\circ}\text{C}$, VII	$8,5 \pm 0,3$	$15,1 \pm 0,5$	$13,4 \pm 0,8$	$15,6 \pm 0,4$	$9,2 \pm 0,2$	$13,0 \pm 0,4$	$14,7 \pm 0,9$	$16,0 \pm 0,4$	$15,6 \pm 0,4$	$15,4 \pm 1,0$	$18,1 \pm 0,8$	$14,0 \pm 0,4$	$16,2 \pm 0,8$	$16,6 \pm 0,8$
Максимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII	12,0	19,2	24,8	19,4	12,1	15,9	25,5	19,9	18,5	27,4	29,1	17,4	29,8	27,9
Минимальная $T^{\circ}\text{C}$, VII	6,4	10,7	7,0	11,1	7,4	9,5	7,5	11,9	11,6	6,6	12,3	10,4	8,6	11,3
Амплитуда °C, VII	5,6	8,5	17,9	8,4	4,7	6,3	18,0	8,0	6,9	20,7	16,7	7,0	21,1	16,6
Вариабельность VII, CV %	17	18	33	14	14	15	33	13	14	36	24	15	28	26
Средняя $T^{\circ}\text{C}$, VIII	$10,1 \pm 0,2$	$11,2 \pm 0,4$	$9,9 \pm 0,6$	$13,5 \pm 0,4$	$10,7 \pm 0,2$	$10,9 \pm 0,2$	$10,8 \pm 0,7$	$13,9 \pm 0,4$	$11,5 \pm 0,3$	$10,7 \pm 0,7$	$14,5 \pm 0,4$	$10,4 \pm 0,3$	$8,4 \pm 0,7$	$12,4 \pm 0,5$
Максимальная $T^{\circ}\text{C}$, VIII	12,0	14,5	14,8	17,4	12,6	13,1	16,5	17,8	14,5	17,7	19,3	13,8	15,6	16,9
Минимальная $T^{\circ}\text{C}$, VIII	8,1	8,2	3,8	8,3	8,8	9,0	3,7	8,8	8,4	2,9	9,2	7,5	2,5	7,1
Амплитуда °C, VIII	3,8	6,3	11,0	9,1	3,8	4,1	12,8	9,0	6,1	14,7	10,0	6,3	13,1	9,8
Вариабельность VIII, CV %	10	18	33	17	8	11	35	16	16	40	15	17	43	24

Продолжение таблицы Г.1

Параметры	C_{15}	C_{18}	C_{21}	C_{22}	GC_{15}	GC_{18}	GC_{21}	GC_{22}	B_{18}	B_{21}	B_{22}	GB_{18}	GB_{21}	GB_{22}
Средняя $T^{\circ}\text{C}$, IX	$8,3 \pm 0,3$	$9,1 \pm 0,4$	$4,5 \pm 0,5$	$7,0 \pm 0,2$	$8,9 \pm 0,2$	$9,1 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,5$	$7,7 \pm 0,2$	$9,1 \pm 0,4$	$4,2 \pm 0,6$	$8,0 \pm 0,2$	$8,5 \pm 0,4$	$4,6 \pm 0,6$	$7,9 \pm 0,3$
Максимальная $T^{\circ}\text{C}$, IX	9,2	10,4	6,2	6,1	9,6	10,1	6,5	8,3	10,8	6,3	8,8	9,7	6,5	9,1
Минимальная $T^{\circ}\text{C}$, IX	6,9	7,4	2,5	7,8	7,9	8,2	2,3	6,9	7,0	1,1	7,5	6,6	2,5	6,5
Амплитуда $^{\circ}\text{C}$, IX	2,3	3,0	3,8	1,7	1,7	1,9	4,3	1,4	3,8	5,3	1,3	3,1	4,0	2,5
Вариабельность IX, CV %	10	12	32	8	7	8	33	6	14	41	6	13	35	12
<i>Сумма среднесуточных пороговых температур VII, $^{\circ}\text{C}$</i>														
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	263	468	417	485	284	402	456	497	484	478	562	434	503	516
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	209	0	61	0	218	19	34	0	0	31	0	0	18	0
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	54	468	356	485	66	383	422	497	484	448	562	434	485	516
<i>Сумма среднесуточных пороговых температур VIII, $^{\circ}\text{C}$</i>														
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	314	347	308	418	338	330	334	430	357	331	451	324	261	385
Слабополож. $0 \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	0	0	8	0	0	0	8	0	0	11	0	0	19	0
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	139	89	106	8	66	67	93	19	53	102	9	125	125	46
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	176	257	195	410	272	264	232	411	304	217	441	199	118	339
<i>Сумма среднесуточных пороговых температур IX, $^{\circ}\text{C}$</i>														
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	66	72	36	56	72	73	37	62	73	33	64	68	36	63
Слабополож. $0 \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	0	0	18	0	0	0	14	0	0	21	0	0	13	0
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	66	42	18	56	72	63	23	62	42	12	64	68	23	63
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	0	31	0	0	0	10	0	0	31	0	0	0	0	0
<i>Число суток с пороговыми температурами VII</i>														
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	26	0	7	0	25	2	4	0	0	4	0	0	2	0
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	5	31	24	31	6	29	27	31	31	27	31	31	29	31
<i>Число суток с пороговыми температурами VIII</i>														
Положительные $T > 0^{\circ}\text{C}$	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Слабополож. $0 \leq T < 5^{\circ}\text{C}$	0	0	2	0	0	0	2	0	0	3	0	0	5	0
Эффективные $5 \leq T < 10^{\circ}\text{C}$	15	10	14	1	7	7	12	2	6	13	1	14	17	6
Активные $T \geq 10^{\circ}\text{C}$	16	21	15	30	24	24	17	29	25	15	30	17	9	25

Продолжение таблицы Г.1

Параметры	C_{15}	C_{18}	C_{21}	C_{22}	$ГC_{15}$	$ГC_{18}$	$ГC_{21}$	$ГC_{22}$	B_{18}	B_{21}	B_{22}	$ГB_{18}$	$ГB_{21}$	$ГB_{22}$
<i>Число суток с пороговыми температурами IX</i>														
Положительные $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Слабополож. $0 \leq T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	0	5	0	0	0	4	0	0	6	0	0	4	0
Эффективные $5 \leq T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	8	5	3	8	8	7	4	8	5	2	8	8	4	8
Активные $T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	3	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д.1 – Видовой состав пауков (Arachnida, Aranei) на вырубках и гарях межгорной долины Кунийок

Семейство	Таксон Виды	Аббревиатура	Участки			
			С	ГС	В	ГВ
Araneidae (1)	<i>Cyclosa conica</i> (Pallas, 1772) **	<i>Cy.con</i>	–	+	–	–
Lycosidae (10)	<i>Acantholycosa lignaria</i> (Clerck, 1757) *,**	<i>Ac. lig</i>	–	–	–	+
	<i>Acantholycosa norvegica</i> (Thorell, 1872) **	<i>Ac.nor</i>	–	–	+	–
	<i>Alopecosa aculeata</i> (Clerck, 1757)	<i>Al.ac</i>	+	+	+	+
	<i>Alopecosa pinetorum</i> (Thorell, 1856)	<i>Al. pi</i>	+	+	+	+
	<i>Pardosa eiseni</i> (Thorell, 1875)	<i>Par.eis</i>	–	+	+	+
	<i>Pardosa hyperborea</i> (Thorell, 1872)	<i>Par.hyp</i>	–	+	+	+
	<i>Pardosa lasciva</i> L. Koch, 1879 *	<i>Par.las</i>	+	+	+	+
	<i>Pardosa lugubris</i> (Walckenaer, 1802)	<i>Par.lug</i>	+	+	+	–
	<i>Pardosa palustris</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Par.pal</i>	–	+	+	+
	<i>Xerolycosa nemoralis</i> (Westring, 1861)	<i>Xe.nem</i>	–	–	–	+
Linyphiidae (30)	<i>Agyphantes expunctus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1875)	<i>Agn.ex</i>	+	+	–	–
	<i>Agynera cauta</i> (O. Pickard-Cambridge, 1903)	<i>Ag.cau</i>	–	+	–	–
	<i>Agynera gulosa</i> (L. Koch, 1869)	<i>Ag.gul</i>	–	+	–	+
	<i>Agynera subtilis</i> (O. Pickard-Cambridge, 1863) *,**	<i>Ag.sub</i>	+	–	–	–
	<i>Bolyphantes luteolus</i> (Blackwall, 1833)	<i>B.lut</i>	–	–	+	–
	<i>Centromerus arcanus</i> (O. Pickard-Cambridge, 1873)	<i>Cen.ar</i>	+	+	+	+
	<i>Ceratinella brevipes</i> (Westring, 1851)	<i>Cer.br</i>	+	+	–	–
	<i>Diplocentria rectangulata</i> (Emerton, 1915)	<i>Dip.rec</i>	+	+	+	+
	<i>Drapetisca socialis</i> (Sundevall, 1833)	<i>Dr.soc</i>	–	+	–	–
	<i>Helophora insignis</i> (Blackwall, 1841) *,**	<i>Hel.in</i>	–	+	–	–
	<i>Hilaira herniosa</i> (Thorell, 1875)	<i>Hil.her</i>	+	+	+	+
	<i>Hypselistes jacksoni</i> (O. Pickard-Cambridge, 1903)	<i>Hyp.jac</i>	+	–	–	–
	<i>Leptothrix hardyi</i> (Blackwall, 1850) *	<i>L.har</i>	–	–	–	+
	<i>Macrargus rufus</i> (Wider, 1834)	<i>Mac.ruf</i>	–	–	+	–
	<i>Maso sundevalli</i> (Westring, 1851)	<i>Mas.sun</i>	+	+	–	–
	<i>Micrargus herbigradus</i> (Blackwall, 1854)	<i>Mic.her</i>	–	–	–	+
	<i>Minyriolus pusillus</i> (Wider, 1834)	<i>Min.pus</i>	+	+	+	–
	<i>Neriere clathrata</i> (Sundevall, 1830)	<i>N.cl</i>	+	+	–	–
	<i>Oreonetides vaginatus</i> (Thorell, 1872) **	<i>O.vag</i>	–	+	–	–
	<i>Palliduphantes antroniensis</i> (Schenkel, 1933)	<i>Pal.an</i>	+	–	–	+
	<i>Porrhomma pallidum</i> Jackson, 1913	<i>Por.pal</i>	+	+	–	+
	<i>Semljicola latus</i> (Holm, 1939)	<i>S.lat</i>	+	+	–	–
	<i>Tenuiphantes alacris</i> (Blackwall, 1853)	<i>T.al</i>	+	+	–	–
	<i>Tenuiphantes menzei</i> (Kulczyński, 1887)	<i>T.men</i>	–	+	–	–
	<i>Tenuiphantes nigriventris</i> (L. Koch, 1879)	<i>T.nig</i>	+	+	–	–
	<i>Tenuiphantes tenebricola</i> (Wider, 1834)	<i>T.ten</i>	+	+	+	–
	<i>Tibioplus diversus</i> (L. Koch, 1879)	<i>Tib.div</i>	–	–	–	+
	<i>Walckenaeria karpinskii</i> (O. Pickard-Cambridge, 1873)	<i>W.kar</i>	+	+	–	+
	<i>Walckenaeria nudipalpis</i> (Westring, 1851)	<i>W.nud</i>	–	+	–	–
	<i>Zornella cultrigera</i> (L. Koch, 1879)	<i>Zorn.cul</i>	+	+	+	+
Liocranidae (2)	<i>Agroeca cf. lusatica</i> (L. Koch, 1875)	<i>Ag.lus</i>	–	+	–	–
	<i>Agroeca proxima</i> (O. Pickard-Cambridge, 1871)	<i>Ag.pr</i>	+	+	+	+

Продолжение таблицы Д.1

Семейство	Виды	Аббревиатура	С	ГС	В	ГВ
Miturgidae (1)	<i>Zora nemoralis</i> (Blackwall, 1861)	<i>Zo.nem</i>	+	+	–	–
Hahniidae (1)	<i>Hahnia ononidum</i> Simon, 1875 **	<i>Ha.on</i>	–	+	–	–
Thomisidae (4)	<i>Psammitis sabulosus</i> (Hahn, 1832)	<i>Ps.sub</i>	–	+	–	+
	<i>Xysticus audax</i> (Schrank, 1803)	<i>Xy.aud</i>	–	+	–	–
	<i>Xysticus luctuosus</i> (Blackwall, 1836) **	<i>Xy.luc</i>	–	+	–	–
	<i>Xysticus obscurus</i> Collett, 1877	<i>Xy.ob</i>	+	–	+	–
Cybaeidae (1)	<i>Cryphoeca silvicola</i> (C. L. Koch, 1834)	<i>Cr.sil</i>	+	–	+	–
Mimetidae (1)	<i>Ero furcata</i> (Villers, 1789) *	<i>Er.fur</i>	–	+	+	–
Salticidae (1)	<i>Evarcha falcata</i> (Clerck, 1757) **	<i>Ev.fal</i>	–	+	–	–
Gnaphosidae (8)	<i>Gnaphosa lapponum</i> (L. Koch, 1866) **	<i>Gn.lap</i>	–	–	+	–
	<i>Gnaphosa montana</i> (L. Koch, 1866) *,**	<i>Gn.mon</i>	–	+	–	–
	<i>Gnaphosa sticta</i> Kulczyński, 1908 *,**	<i>Gn.st</i>	–	–	–	+
	<i>Haplodrassus signifer</i> (C. L. Koch, 1839)	<i>Ha.sig</i>	–	+	+	–
	<i>Haplodrassus soerenseni</i> (Strand, 1900) **	<i>Ha.soe</i>	+	–	–	–
	<i>Micaria aenea</i> Thorell, 1871	<i>Ma.aen</i>	+	–	+	–
	<i>Micaria alpina</i> L. Koch, 1872	<i>M.alp</i>	–	–	+	+
	<i>Micaria silesiaca</i> L. Koch, 1875 **	<i>M.sil</i>	–	–	–	+
Theridiidae (1)	<i>Robertus lividus</i> (Blackwall, 1836) **	<i>R.liv</i>	–	–	–	+
Всего (из 61 обнаруженного вида)			28	41	24	25
Виды, новые для Хибин (из девяти обнаруженных видов)			2	4	2	4

Примечание: Номенклатура Aranei соответствует WSC (2023). В скобках – количество видов, обнаруженных в каждом семействе; звездочка (*) – вид ранее не отмечался в Хибинах; две звездочки (**) – вид обнаружен в единственном экземпляре; тире (–) означает, что вид не обнаружен

Таблица Д.2 – Видовой состав стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) на вырубках и гарях межгорной долины Кунийок

Семейство	Таксон Виды	Сокращение	Участки			
			С	ГС	В	ГВ
Omaliinae (7)	<i>Acidota crenata</i> (Fabricius, 1793)	<i>A.cr</i>	–	–	+	–
	<i>Anthophagus caraboides</i> (Linne, 1758)	<i>An.car</i>	+	–	–	+
	<i>Anthophagus omalinus</i> (Zetterstedt, 1828)	<i>An.om</i>	–	+	+	+
	<i>Arpedium brachypterum</i> (Gravenhorst, 1802)	<i>Ar.bra</i>	+	+	+	–
	<i>Arpedium brunnescens</i> (J. Sahlberg, 1871)	<i>Ar.bru</i>	+	+	+	+
	<i>Arpedium quadrum</i> (Gravenhorst, 1806)	<i>Ar.qua</i>	+	+	+	–
	<i>Olophrum boreale</i> (Paykull, 1792)	<i>Ol.bor</i>	–	+	–	–
Tachyporinae (8)	<i>Carphacis striatus</i> (Olivier, 1795) **	<i>Ca.str</i>	–	–	+	+
	<i>Ischnosoma splendidum</i> (Gravenhorst, 1806) **	<i>Is.spl</i>	–	–	+	+
	<i>Lordithon trimaculatus</i> (Fabricius, 1793)	<i>L.tr</i>	–	+	–	–
	<i>Mycetoporus lepidus</i> (Gravenhorst, 1806)	<i>M.lep</i>	+	+	+	–
	<i>Mycetoporus longulus</i> (Mannerheim, 1830)	<i>M.lon</i>	–	+	–	–
	<i>Tachinus humeralis</i> (Gravenhorst, 1802) *	<i>T.hum</i>	–	+	–	–
	<i>Tachinus pallipes</i> (Gravenhorst, 1806)	<i>T.pal</i>	+	+	–	–
Aleocharinae (12)	<i>Tachinus proximus</i> (Kraatz, 1855)	<i>T.pr</i>	–	+	–	+
	<i>Aleochara brevipennis</i> (Gravenhorst, 1806)	<i>Al.bre</i>	–	+	–	–
	<i>Atheta brunneipennis</i> (Thomson, 1852)	<i>Al.bru</i>	+	+	–	–
	<i>Atheta fungi</i> (Gravenhorst, 1806)	<i>A.fun</i>	–	+	–	–
	<i>Atheta graminicola</i> (Gravenhorst 1806)	<i>A.gr</i>	–	+	–	+
	<i>Geostiba circellaris</i> (Gravenhorst, 1806)	<i>G.cir</i>	–	+	+	+
	<i>Liogluta alpestris</i> (Heer, 1839)	<i>L.alp</i>	–	+	–	–
	<i>Liogluta granigera</i> (Kiesenwetter, 1850)	<i>L.gr</i>	–	+	–	+
	<i>Liogluta micans</i> (Mulsant & Rey, 1852)	<i>L.mic</i>	+	+	–	+
	<i>Bolitochara pulchra</i> (Gravenhorst, 1806)	<i>B.pul</i>	+	+	–	+
	<i>Pella humeralis</i> (Gravenhorst, 1802)	<i>P.hum</i>	+	+	+	+
	<i>Oxypoda alternans</i> (Gravenhorst, 1802) *	<i>Ox.al</i>	+	+	+	+
	<i>Oxypoda annularis</i> (Mannerheim, 1830)	<i>Ox.an</i>	+	+	+	+
Scaphidiinae (1)	<i>Scaphisoma agaricinum</i> (Linnaeus, 1758) * **	<i>S.ag</i>	–	–	–	+
Steninae (3)	<i>Stenus biguttatus</i> (Linne, 1758) *	<i>St.big</i>	+	+	–	–
	<i>Stenus palustris</i> (Erichson, 1839)	<i>St.pal</i>	+	+	+	–
	<i>Stenus tarsalis</i> (Ljungh, 1810) *	<i>St.tar</i>	–	+	–	+
Paederinae (1)	<i>Lathrobium brunnipes</i> (Fabricius, 1792)	<i>L.br</i>	–	+	+	–
Xantholininae (3)	<i>Othius lapidicola</i> Kiesenwetter, 1848	<i>O.lap</i>	+	–	–	–
	<i>Xantholinus linearis</i> (Olivier, 1795) **	<i>X.lin</i>	–	+	–	–
	<i>Xantholinus tricolor</i> (Fabricius, 1787)	<i>X.tr</i>	–	+	+	–
Staphylininae (6)	<i>Philonthus cephalotes</i> (Gravenhorst, 1802) *, **	<i>Ph.cep</i>	–	+	–	–
	<i>Philonthus politus</i> (Linnaeus, 1758) *, **	<i>Ph.pol</i>	–	+	–	–
	<i>Quedius boops</i> (Gravenhorst, 1802) *, **	<i>Q.boop</i>	–	+	–	–
	<i>Quedius limbatus</i> (Heer, 1834) *, **	<i>Q.lim</i>	–	+	–	–
	<i>Quedius semiaeneus</i> (Stephens, 1833) **	<i>Q.sem</i>	–	–	+	–
	<i>Quedius umbrinus</i> Erichson, 1839 **	<i>Q.um</i>	–	+	–	–
Всего (из 41 обнаруженного вида)			15	34	16	11
Виды, новые для Хибин (из девяти обнаруженных видов)			2	8	1	3

Примечание: Номенклатура Staphylinidae приведена по (Löbl, Löbl, 2015). В скобках – количество найденных видов в каждом подсемействе; звездочка (*) – вид ранее не отмечался в Хибинах; две звездочки (**) – вид обнаружен в единственном экземпляре. Прочерк (–) означает, что вид не обнаружен.

Таблица Д.3 – Видовой состав жуелиц (Coleoptera, Carabidae) вырубок и гарей межгорной долины Кунийок

Триба	Таксон Виды	Сокращение	Участки			
			С	ГС	В	ГВ
Notiophilini (4)	<i>Notiophilus aestuans</i> Dejean, 1826 *.**	<i>N. ae</i>	–	+	–	–
	<i>Notiophilus aquaticus</i> Linnaeus, 1758	<i>N. aq</i>	+	+	–	+
	<i>Notiophilus biguttatus</i> (Fabricius 1779)	<i>N. big</i>	+	+	–	–
	<i>Notiophilus germinyi</i> (Fauvel & Grenier, 1863)	<i>N. ger</i>	–	+	+	+
Carabini (2)	<i>Carabus (Oreocarabus) glabratus</i> Paykull, 1790	<i>C. gl</i>	–	+	+	+
	<i>Carabus (Hemicarabus) nitens</i> Linnaeus, 1758	<i>C. nit</i>	–	+	–	–
Broscini (1)	<i>Miscodera arctica</i> (Paykull, 1798)	<i>M. ar</i>	–	+	+	+
Bembidiini (1)	<i>Bembidion (Ocydromus) grapii</i> Gyllenhal, 1827 *	<i>B. gr</i>	–	+	–	–
Pterostichini (3)	<i>Pterostichus (Bothriopterus) adstrictus</i> Eschscholtz, 1823 *	<i>Pt. Ad</i>	–	+	–	+
	<i>Pterostichus (Cryobius) brevicornis</i> (Kirby, 1837)	<i>Pt. Br</i>	+	+	+	+
	<i>Pterostichus (Bothriopterus) oblongopunctatum</i> (Fabricius, 1787) *	<i>Pt. Ob</i>	–	+	–	+
	<i>Calathus (Neocalathus) melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	<i>C. mel</i>	–	–	–	+
Zabrinini (4)	<i>Calathus (Neocalathus) micropterus</i> (Duftschmid, 1812)	<i>C. mic</i>	+	+	+	+
	<i>Amara (Amara) famelica</i> (Zimmermann, 1832) *	<i>A. fam</i>	–	–	–	+
	<i>Amara (Amara) lunicollis</i> Schiødte, 1837 *	<i>A. lun</i>	–	+	+	+
	<i>Amara (Amarocelia) erratica</i> (Duftschmid, 1812)	<i>A. er</i>	–	+	+	+
Harpalini (4)	<i>Amara (Paracelia) quenseli</i> (Schönherr, 1806)	<i>A. qu</i>	–	–	–	+
	<i>Dicheirotichus (Trichocellus) cognatus</i> (Gyllenhal, 1827) *.**	<i>D. cog</i>	–	–	–	+
	<i>Harpalus laevipes</i> Zetterstedt, 1828	<i>H. lae</i>	–	+	–	+
	<i>Harpalus nigritarsis</i> C.R. Sahlberg, 1827 *.**	<i>H. nig</i>	–	–	–	+
Lebiini (1)	<i>Harpalus solitaris?</i> Dejean, 1829 *.**	<i>H. sol</i>	–	+	–	–
	<i>Cymindis (Tarus) vaporariorum</i> (Linnaeus, 1758)	<i>C. vap</i>	–	–	+	–
Всего (из 22 найденных видов)			4	16	8	16
Вид, новый для Хибинских гор (из 10 обнаруженных видов)			–	6	1	6

Примечание: Систематика и номенклатура семейства Carabidae даны по (Löbl, Smetana, 2003). В скобках – число обнаруженных видов в каждой трибе; звездочка (*) – вид ранее в Хибинах не отмечался; две звездочки (**) – вид обнаружен в единственном экземпляре; тире (–) означает, что вид не обнаружен.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица Е.1 – Годовые показатели температуры подстилки зонального лесного подзола на предгорной равнине и горных почв Хибин

Биогеоценозы		Показатели $T^{\circ}\text{C}$												
		$T_{\text{средняя}}$	T_{max}	T_{min}	Число дней в году с температурами выше/ниже пороговых значений					Годовая сумма порговых температур				
					$T < 0$	$T \geq 0$	$0 \leq T < 5$	$5 \leq T < 10$	$T \geq 10$	$\Sigma T < 0$	$\Sigma T \geq 0$	$\Sigma 0 \leq T < 5$	$\Sigma 5 \leq T < 10$	$\Sigma T \geq 10$
Гольцовые пустыни 1020–1060 м	$B_{\Gamma\text{ли}}$	2,0±0,3	18,5	−0,8	215	126	72	19	35	−74	748	85	142	520
	$B_{\Gamma\text{эл}}$	1,9±0,3	21,5	−1,2	202	139	83	23	33	−122	759	84	163	513
	$A_{\Gamma\text{ли}}$	−0,9±0,3	12,4	−9,2	232	127	54	61	12	−1011	675	103	440	132
	$A_{\Gamma\text{эл}}$	0,4±0,2	13,7	−4,9	241	118	43	51	24	−586	715	72	368	275
	$A_{\Gamma\text{мх,ли}}$	0,2±0,3	15,0	−5,0	202	132	73	25	34	−664	729	106	207	416
	$A_{\Gamma\text{мх,ли}}$	−0,1±0,3	16,0	−5,5	213	118	59	30	29	−755	678	72	237	369
Горные тундры 510–512 м	$B_{NW}T_{\text{л}}$	2,5±0,2	13,5	−1,8	187	146	53	56	37	−122	963	116	427	420
	K_{WT}	2,0±0,2	14,8	−3,2	155	192	108	68	16	−149	818	135	495	188
Березовые криволесья 380–450 м	K_{WBK}	1,7±0,3	15,8	−7,5	156	195	100	60	35	−456	1036	155	455	426
	$B_{NW}BK$	2,8±0,3	14,0	−1,8	167	177	77	53	47	−127	1085	130	403	552
	$B_{SE}BK$	3,3±0,2	13,0	−0,6	88	256	141	67	48	−31	1170	148	480	542
Горно-таежные леса 235–390 м	K_{WE400}	2,2±0,3	15,6	−4,4	150	201	101	62	38	−275	1050	118	473	459
	K_{WE350}	2,7±0,2	15,7	−3,9	117	234	137	63	34	−128	1063	169	476	418
	K_{WE300}	1,5±0,3	15,3	−9,6	152	199	99	66	34	−535	1071	180	476	414
	C	3,0±0,3	20,4	−5,2	208	156	42	49	65	−239	1337	102	358	877
Горные вырубки и гари 220–235 м	ΓC	3,6±0,3	19,9	−3,4	178	187	68	48	71	−144	1448	118	341	989
	B	4,2±0,4	29,1	−4,7	167	198	75	43	80	−173	1718	111	303	1304
	ΓB	4,0±0,4	29,4	−3,5	173	192	73	47	72	−165	1611	118	331	1162
Зональный сосняк 145–150 м	2016	3,8±0,3	13,6	0	0	365	233	71	61	0	1398	105	541	751
	2019	2,6±0,3	15,0	−3,5	195	170	59	68	43	−270	1229	159	570	500
	2020	3,8±0,3	15,6	−2,5	152	214	79	67	68	−116	1514	152	538	824
	2021	3,1±0,3	15,5	−2,0	117	215	116	48	51	−46	1074	98	335	641
	2022	4,2±0,3	16,5	−1,0	87	285	139	68	78	−52	1601	99	530	972
	2023	5,5±0,4	16,3	−0,5	7	267	130	49	88	−3	1508	6	394	1108

Примечание: синим шрифтом выделены минимальные по годам значения, красным – максимальные

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Рисунок Ж.1 – Свидетельство о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных
№ 2022622566

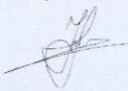
**ТЕМПЕРАТУРНАЯ БАЗА ДАННЫХ ГОРНЫХ ПОЧВ
КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН) (RU)*

Авторы: *Зенкова Ирина Викторовна (RU), Штабровская Ирина Михайловна (RU)*



Заявка № **2022622525**
Дата поступления **13 октября 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **19 октября 2022 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Zubov

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Рисунок 3.1 – Свидетельство о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных
№ 2021620847

**ЛОКАЛЬНАЯ ФАУНА МУРАВЬЕВ (HYMENOPTERA,
FORMICIDAE) ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА**

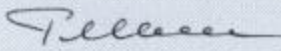
Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Федеральный исследовательский
центр «Кольский научный центр Российской академии
наук» (ФИЦ КНЦ РАН) (RU)*

Авторы: *Зенкова Ирина Викторовна (RU), Юсупов Залимхан
Магомедович (RU), Штабровская Ирина Михайловна
(RU)*

Заявка № **2021620667**
Дата поступления **12 апреля 2021 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **26 апреля 2021 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**