

На правах рукописи

сертификат

Штабровская Ирина Михайловна

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

1.5.15 Экология

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Калининград – 2025

Работа выполнена в Институте проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС КНЦ РАН) – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН)

Научный руководитель:

кандидат биологических наук, доцент,
ЗЕНКОВА ИРИНА ВИКТОРОВНА

Официальные оппоненты:

БЕЗКОРОВАЙНА ИРИНА НИКОЛАЕВНА, доктор биологических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»), заведующий кафедрой экологии и природопользования

КОНАКОВА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА, кандидат биологических наук, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», научный сотрудник (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН)

Защита диссертации состоится 3 февраля 2026 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 37.2.007.05 на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: г. Калининград, ул. Профессора Баранова, д. 43, Зал заседаний диссертационных советов (ауд. 101).

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» и на сайте https://klgtu.ru/dissertations/detail/?ELEMENT_ID=4141

Автореферат разослан «1» декабря 2025 г.

Отзывы на автореферат следует посыпать по адресу: 236022, Калининград, Советский пр., д.1, ФГБОУ ВО «КГТУ», диссертационный совет Д 37.2.007.05, ученому секретарю, а также по электронной почте: tatyana.troyan@klgtu.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Татьяна Николаевна Троян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Горные экосистемы являются центрами биоразнообразия планеты в связи с многообразием местообитаний, возникающим из-за сложного сочетания природных факторов: пересеченного рельефа, экспозиции склонов, высотной поясности, формирования экотонных и азональных сообществ, специфического горного микроклимата с высотными градиентами метеопараметров. Для заполярных Хибин повышенное разнообразие биоты подтверждено более чем вековой историей исследований, начиная с финских и шведских научных экспедиций конца XIX в. (Poppius, 1905; Фридolin, 1936; обзоры: Королева, 2012; Зенкова, 2020; Боровичев и др., 2022). Наряду с этим, заполярные горные экосистемы уязвимы к воздействию природных и антропогенных факторов, и их компоненты являются индикаторами этих воздействий. В Хибинах значительный экологический ущерб наносит деятельность горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Для сохранения эталонных комплексов заполярных горных лесов и тундр с их уникальной флорой и фауной в 2018 г. территория Хибин на площади 84,8 тыс. га объявлена Национальным парком федерального значения, приоритетная задача которого – выявление и охрана местообитаний редких видов с узкими экологическими преферендумами.

Среди природных факторов превалирующее влияние на уязвимые экосистемы заполярных гор оказывают климатические изменения. В ответ на увеличение климатической нормы среднемноголетней температуры воздуха за последние 30 лет на 1 °С и годовой суммы осадков на 5% (Климатические нормы; Доклад..., 2023) в горных системах от Алтая-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; Тютькова и др., 2021; Каверин, 2022; Kullman, 2007; Grigoriev et al., 2022). В Хибинах при сравнении аэрофотоснимков 1958 г. и космоснимков Terra/ASTER 2001 г. определен 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 исследованием температуры как основного фактора жизнедеятельности организмов у северных границ видовых ареалов. Целенаправленные исследования почвенной фауны Хибин в последние десятилетия (Россолимо, 1989, 1994; Зенкова и др., 2009, 2011 а, б; Лисковая, 2011;

Пожарская, 2012; обзор: Зенкова, 2020) не сопровождались регулярными учетами температур – ее измеряли лишь в даты экспедиционных выездов классическими приборами. Сезонная и годовая динамика температуры и ее влияние на разнообразие и распространение беспозвоночных в горах оставались неисследованными. Решению задачи пролонгированных учетов температуры в труднодоступных экосистемах гор, выявления ее современной динамики и оценки влияния на распространение беспозвоночных способствуют регистраторы нового поколения – программируемые термохроны, получившие широкое применение в экологическом почвоведении и смежных дисциплинах (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; 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 годичные 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. Выяв-

лен 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 вырубками и гарями нетипичных для горной фауны Хибин видов членистоногих с разными экологическими преференциями. 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 вырубках 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 местобитаний редких и охраняемых видов горной фауны; планировать природоохранные мероприятия и ограничивать хозяйственную деятельность и туризм на территории Национального парка «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 мetaанализа и межрегиональной информационной системы по видам, колонизирующими нарушенные и горные заполярные экосистемы. Сформированные базы данных являются: инструментом научной аналитической работы в экологическом и климатическом мониторинге и природоохранных мероприятиях в Национальном парке «Хибины» и региональных горных ООПТ (заповедники «Пасвик» и «Лапландский», природный парк «Кораблекк»).

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 членисто-ногие и насекомые–аэробионты, связанные с прогревом воздуха.

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

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. 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.

1. ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА

Приведены сведения о геологическом строении, рельефе, климате, почвообразовании и высотной поясности почвенно-растительного покрова Хибин. Рассмотрена степень изученности температурного режима почв и почвенной фауны, промышленное освоение массива и статус охраны, как ООПТ федерального значения.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Комплексные исследования населения беспозвоночных и почвенных $T^{\circ}\text{C}$ проведены в 2013–2023 гг. в природных и нарушенных биогеоценозах Хибин ($67^{\circ}36'–50'$ с.ш.

33°36'–34°10'в.д.) и в зональном сосняке на прихинской равнине (67°34'43.6", 33°17'51.8"). Почвы исследованы в четырех растительных поясах в диапазоне высот 220–1060 м над ур. м. на склонах разной экспозиции 8-ми хибинских гор (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика исследованных биогеоценозов

Гора	Экспозиция*	Растительный Пояс	Высота над ур. м., м*	Обозначение
Природные горные биогеоценозы				
Айкуайвенчорр	Плато	Гольцовыe пустыни	1055–1060	<i>АГли, АГзл, АГмх, АГмх-ли</i>
Вудъяврчорр	Плато	Гольцовыe пустыни	1021–1023	<i>ВГли, ВГзл</i>
Юкспорр	Плато	Горные тундры	730	<i>Ю_СВТ</i>
	Ю	Горные тундры	640	<i>Ю_СТ</i>
	Ю	Березовые криволесья	490	<i>Ю_СБК</i>
Суолайв	3	Горные тундры	550	<i>C_WТ</i>
		Березовые криволесья	340	<i>C_WБК</i>
		Еловые редколесья	270	<i>C_WЕ</i>
Юмечорр	ЮЗ	Горные тундры	505	<i>Ю_МСВТ</i>
		Березовые криволесья	380	<i>Ю_МСВБК</i>
		Сосновые редколесья	315	<i>Ю_МСВС</i>
Куэльпорр	3	Горные тундры	500	<i>K_WТ₅₀₀</i>
		Березовые криволесья	450	<i>K_WБК₄₀₀</i>
		Еловые редколесья	300, 350, 400	<i>K_WЕ₃₀₀–K_WЕ₄₀₀</i>
Нарушенные горные территории				
Межгорная долина Кунийок	Долина	Сосняк (контроль)	236	<i>С</i>
		Горелый лес	235	<i>ГС</i>
		Вырубка	227	<i>В</i>
		Горелая вырубка	221	<i>ГВ</i>
Предгорная равнина	Плакор	Зональный сосняк	145	<i>РС</i>

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

Высотно-поясное распространение беспозвоночных и почвенных $T^{\circ}\text{C}$ анализировали в 2014 г. на примере 3-х гор, расположенных на сходной широте в высокогорной центральной части Хибин (г. Юкспорр, Ю экспозиция) и на низкогорных окраинах – западной и восточной (горы Юмечорр, ЮЗ и Суолайв, 3). Западный склон г. Куэльпорр с поясом спелых ельников, представленным не на всех горах, был выбран для анализа изменения населения беспозвоночных и окружающих $T^{\circ}\text{C}$ (воздуха и почвы) в градиенте высот с шагом 50 метров: 300, 350, 400, 450, 500 м над ур. м. (2019 г.).

Динамику $T^{\circ}\text{C}$ (2017–2023 гг.) и разнообразие беспозвоночных в петроземах – слаборазвитых почвах пояса холодных гольцовых пустынь на предельных высотах Хибин – исследовали под фрагментами растительности на платообразных вершинах гор Вудъяврчорр и Айкуайвенчорр, удаленных на 7 км друг от друга.

Влияние разных типов воздействия (промышленной рубки горно-таежного леса на площади ~100 га в 2012 г. и низового пожара площадью 8 га в 2013 г.) на население беспозвоночных, температурные и химические показатели почв исследовали на сети смежных участков в долине Кунийок на севере Хибин в 2015, 2018 и 2021 гг. В контролльном сосняке (*C*) и трех вариантах его трансформации – горелом сосняке (*ГС*), на вырубке (*B*) и нарушенной два года подряд горелой вырубке (*ГВ*) заложили 2 пары мониторинговых участков по принципу «горелый – не горелый»: пару лесных «*ГС–С*» и пару открытых «*ГВ–В*». Расстояние между парами участков составило 1 км, в парах – 300 м (по 150 м от разделяющей участки грунтовой дороги). Годовую динамику $T^{\circ}\text{C}$ почвенных профилей анализировали в 2022 и 2023 гг. (через 9–10 и 10–11 лет после воздействия).

Динамику $T^{\circ}\text{C}$ зонального Al-Fe-гумусового подзола исследовали в сосново-мелколиственном лесу на прихибинской равнине, лежащей, как и Хибины, в северо-таежной подзоне, в 12–33 км от обследованных гор. Результаты за 2016–2023 гг. сравнили с учетами $T^{\circ}\text{C}$ почв на этой территории в 1971–1979 гг. (Семко, 1982).

Температуру измеряли сертифицированными термохронами DS1921-F5 (гос. реестр средств измерений РФ) с периодичностью 2–4 часа на высоте 2 метров (воздух), на поверхности почв, на глубине органогенного горизонта (подстилки) 5 см и в профиле на 10, 15, 20 и 40 см. Термохроны, прикрученные к тонким деревянным рейкам, заглубляли в профили при помощи почвенного бура.

Для отлова беспозвоночных в сроки закладки термохронов отбирали образцы подстилки $25 \times 25 \text{ см}^2$ в 10-кратной повторности и устанавливали почвенные ловушки 500 мл с 5% р-ом формалина в 30-кратной повторности: три линии по 10 ловушек с расстоянием между ловушками и линиями по 10 метров. Сроки работы ловушек и термохронов совпадали: с середины–конца мая на равнине и с конца июня–начала июля в горах – до заморозков в середине–конце сентября. После ручного разбора образцов и содержимого ловушек подстилку прогревали под электролампами 40 Вт до полного высыпивания и выгонки беспозвоночных в спирт. Особей из почвенных проб пересчитывали в экз./ м^2 (показатель численности), из ловушек – в экз. на 100 л-с (показатель динамической плотности). Рассчитывали долю 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). Таксономическая принадлежность беспо-

звоночных определена под руководством к.б.н. И.В. Зенковой. Видовое определение доминирующих таксонов выполнено специалистами: д.б.н. К. В. Макаровым, д.б.н. Б.Ю. Филипповым, к.б.н. Н.А. Зубрий (жуки), к.б.н. Дитц А.А. (стафилиниды), к.б.н. З.М. Юсуповым (муравьи), к.б.н. А.А. Нехаевой (пауки).

По первичным показаниям термохронов рассчитывали стандартные показатели величины и динамики $T^{\circ}\text{C}$. Достоверность различий средних $T^{\circ}\text{C}$ между высотами, поясами, склонами и сезонами оценивали по t -критерию Стьюдента, различий температурной динамики – методом дисперсионного анализа ANOVA (F -критерий Фишера). Сопряженность динамики $T^{\circ}\text{C}$ почв и атмосферного воздуха и их влияние на распространение беспозвоночных анализировали методами корреляционного и регрессионного анализа, влияние факторов высоты, экспозиции и поясности – методами многофакторного дисперсионного анализа (MANOVA) и главных компонент (PCA) с предварительной стандартизацией значений по формуле $x=(N-\bar{N})/SD$ для исключения различий в их масштабе (Халафян, 2007). Фаунистическое сходство-различие горных биогеоценозов оценивали кластеризацией. Использовали программы Statistica-10, Excel и ArcGIS (v 10.4) компании ESRI (построение карто-схем районов исследования). Все температурные и фаунистические данные сведены в базы данных.

3. ТЕМПЕРАТУРЫ И НАСЕЛЕНИЕ БЕСПЗВОНОЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ПОЧВ ХИБИН

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

Установлены разнонаправленные высотные тренды почвенных $T^{\circ}\text{C}$: 1 – восходящий в виде лучшего прогрева почв каждого вышележащего пояса по сравнению с нижележащим (более высокие значения T_{min} , T_{max} , среднелетней $T^{\circ}\text{C}$, числа суток и суммы активных $T \geq +10^{\circ}\text{C}$); 2 – нисходящий, с меньшими значениями температурных показателей в почвах горных тундр по сравнению с поясом березовых криволесий. Восходящие тренды с максимальным летним прогревом на высотах 340–390 и 380–505 м, которым соответствуют пояса березовых криволесий и горных тундр, выявлены на низкогорных склонах западной (Юмечорр) и восточной (Суолайв) окраин Хибин. Нисходящий тренд с максимальным прогревом в поясе березовых криволесий в нижней части склона – на высотной горе Юкспорр (рисунок 1 а). Температурным трендам соответствовало изменение числа таксонов и численности беспозвоночных (рисунок 1 б).

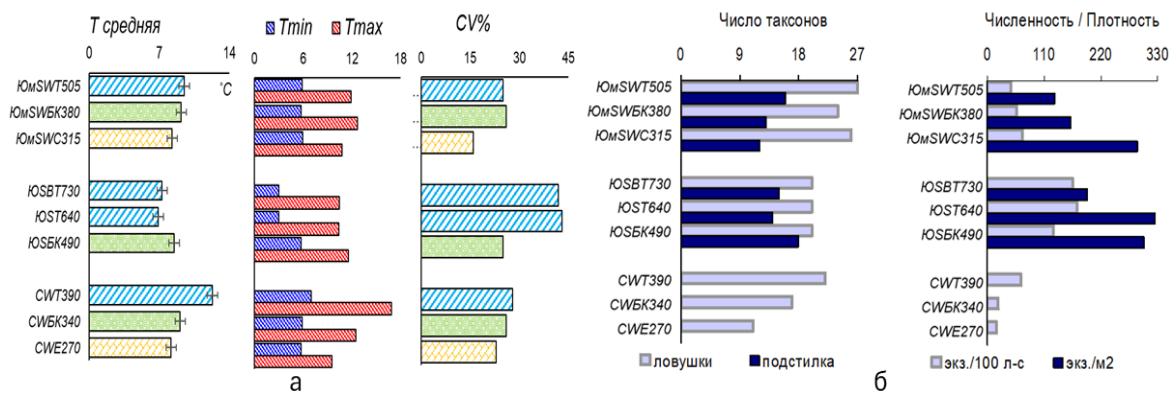


Рисунок 1 – Высотные тренды температуры подстилки (слева) и населения беспозвоночных (справа) на склонах разной экспозиции гор Юмечорр (*ЮмСВС315*–*ЮмСВТ505*), Юкспорр (*ЮоСБК490*–*ЮоСВТ730*) и Суолайв (*СВЕ270*–*СВТ390*)

Для муравьев – одного из доминантов на склонах 3-х гор – выявлено сосредоточение наибольшего числа видов (9–11 на одном участке) на лучше прогреваемых высотах 340–505 м склонов западной экспозиции (W, SW) Юмечорр и Суолайв (рисунок 2 а). На меньших высотах 220–235 м повышенное разнообразие муравьев отмечено только на медленно зарастающих и хорошо прогреваемых вырубках и гарях Хибин (Vbf, Vf): 7–8 видов против 3–5 в окружающих таежных лесах (рисунок 2 б).

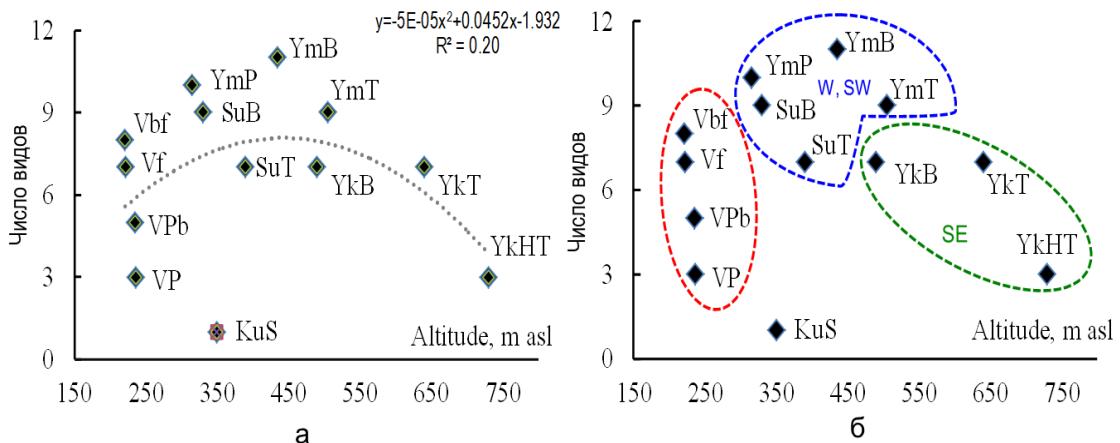


Рисунок 2 – Распространения муравьев в Хибинах в зависимости от высоты над ур. м., экспозиции, растительного пояса и типа нарушения: а – общий тренд для исследованных биогеоценозов, б – с контурами биогеоценозов на склонах западной (синий контур) и южной экспозиции (зеленый) и нарушенных участков (красный)

Суммарно в Хибинах выявлено 18 видов муравьев при наибольшем числе видов (14) в березовых криволесьях – экотонном поясе между таежным и тундровым горными поясами (по 12 видов в каждом). Установлено обеднение их видового разнообразия в сложно пересеченном рельефе внутренних районов Хибин (1–3 вида в одном местооби-

тании) по сравнению с внешними склонами на окраинах массива, в особенности – западной экспозиции (9–11 видов).

3.2 Тренды температуры и населения беспозвоночных в высотном градиенте горы Куэльпорр

Выявлено сходное для всех высот (300–350–400–450–500 м над ур. м.) затухание колебаний $T^{\circ}\text{C}$ на поверхности почвы по сравнению с воздухом и в подстилке по сравнению с поверхностью: воздух ($\text{Lim} = \text{Tmax} - \text{Tmin} 34\text{--}42^{\circ}\text{C}$) → поверхность ($27\text{--}35^{\circ}\text{C}$) → подстилка ($17\text{--}25^{\circ}\text{C}$), что соответствует теплоизолирующей функции подстилки. В годовой динамике наибольший прогрев почвы отмечен в ельниках средней части склона на высотах 350 и 400 м, наибольшее зимнее промерзание – в ельнике в основании склона (300 м). Установлено совпадение высотного распределения крупных беспозвоночных (макрофауны) и мелких микроартропод с летними $T^{\circ}\text{C}$: таксономическое разнообразие и плотность беспозвоночных были наибольшими в ельниках на прогреваемых высотах 350 и 400 м, наименьшими – в ельнике в основании склона (рисунок 3).

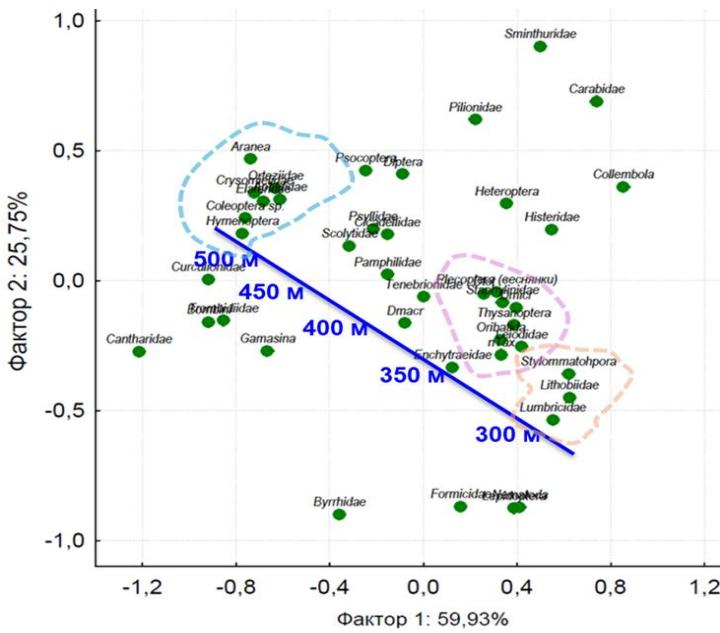


Рисунок 3 – Распространение беспозвоночных в высотном градиенте г. Куэльпорр

степенью прогрева подстилки «теплого» ельника K_{WE350} . В пределах одного пояса (еловых редколесий) на соседних наиболее прогреваемых высотах с наибольшими показателями числа таксонов и плотности беспозвоночных выявлено формирование двух разных комплексов: 1 – с преобладанием сапрофильных геобионтов (дождевые черви, моллюски, личинки двукрылых, микробофаги – панцирные клещи и коллемболы), тесно связанных с $T^{\circ}\text{C}$ подстилки «теплого» ельника K_{WE350} , и 2 – с доминированием активно по-

Высокие показатели числа таксонов и плотности беспозвоночных коррелировали с повышенными летними $T^{\circ}\text{C}$ и их продолжительностью. Высотный тренд общей плотности макрофауны положительно коррелировал с $T^{\circ}\text{C}$ поверхности и толщи подстилки: среднелетней $T^{\circ}\text{C}$, суммой летних $T^{\circ}\text{C}$, среднегодовой $T^{\circ}\text{C}$, числом суток с активными $T^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,71$ до $0,98$). Для микроартропод большинство корреляций ($r = 0,46$ до $0,54$) получено со

13

движных хищных членистоногих (пауки, сенокосцы, краснотелковые и гамазовые клещи) и насекомых-аэробионтов, зависящих от $T^{\circ}\text{C}$ воздуха и поверхности почвы в ельнике KWE_{400} , граничащем с березовым криволесьем KWB_{450} .

3.3 Динамика температуры в петроземах холодных гольцовых пустынь и население беспозвоночных

В маломощных петроземах на предельных высотах Хибин, на фоне преобладания в годовом цикле отрицательных $T^{\circ}\text{C}$ (более 200 дней), среднегодовые $T^{\circ}\text{C}$ оказались положительными/околонулевыми ($-0,7\ldots1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), что связано с формированием зимой на плато мощного снегового покрова. В августе–сентябре в маломощной подстилке под фрагментарной растительностью сглаживаются колебания $T^{\circ}\text{C}$ и на две–три недели сохраняются ее положительные значения, продлевающие активность беспозвоночных на фоне отрицательных $T^{\circ}\text{C}$ воздуха. При годовой сумме положительных $T^{\circ}\text{C}$ подстилки $750\ldots975\text{ }^{\circ}\text{C}$ здесь формируются разнообразные комплексы беспозвоночных (рисунок 4).

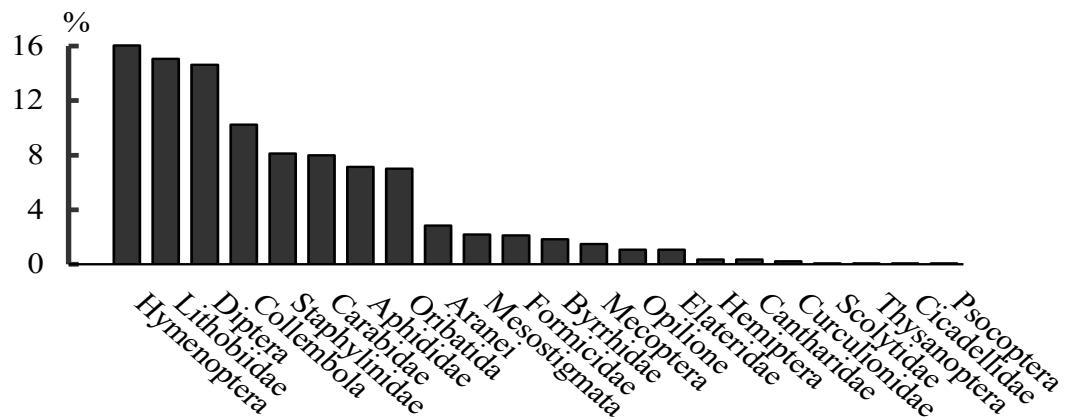


Рисунок 4 – Соотношение беспозвоночных в гольцовых пустынях плато Айкуайвенчорр (% от общей плотности в почвенных ловушках в июле–сентябре 2023 г.)

Выявлены виды стафилинид и жужелиц, ранее не известные для Хибин. Находки большинства насекомых на стадии имаго свидетельствует о миграционном характере их пребывания в этом поясе. Для жужелиц рода *Nebria* установлено развитие трех личиночных стадий в гольцовых пустынях при летних $T^{\circ}\text{C}$ подстилки $5,5\ldots10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и годовой сумме положительных $T^{\circ}\text{C}$, составившей в 2023 г. $975\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Обобщенный анализ не выявил достоверной зависимости распространения беспозвоночных от ключевых горных факторов – высоты, экспозиции и поясности (рисунок 5), что можно объяснить как небольшой высотной протяженностью Хибинских гор и их растительных поясов, позволяющей животным перемещаться между поясами в поисках благоприятных местообитаний, так и разнонаправленными (нисходящими и восходя-

щими) трендами $T^{\circ}C$ на разных горах, связанными с известной спецификой движения воздушных масс в Хибинах и теперь выявленными для почвенных $T^{\circ}C$.

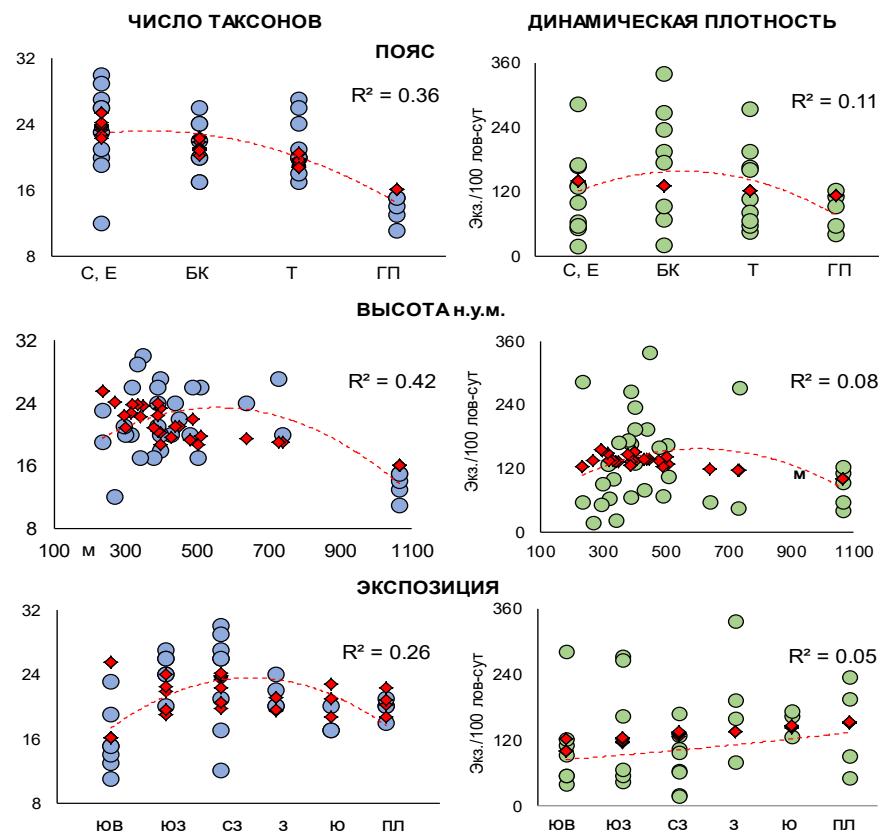


Рисунок 5 – Общие тренды распространения беспозвоночных в Хибинах

Очевидны два тренда: 1) снижение числа таксонов и плотности беспозвоночных от лесных поясов и тундр к поясу гольцовых пустынь; 2) формирование наиболее разнообразных и многочисленных комплексов беспозвоночных на высотах 340–500 м. Этому диапазону на разных горах могут соответствовать как хвойные редколесья и березовые криволесья, так и горные тундры, прогреваемые до средних $T^{\circ}C$ подстилки 12,0…15,5 °C и максимальных 15,9…22,7 °C. Менее разнообразно население почв в основании склонов, слабее прогреваемых летом и сильнее промерзающих зимой, независимо от высоты (270–490 м), экспозиции и пояса (горная тайга или березовые криволесья).

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

4.1 Химические показатели как индикаторы нарушенных почв

Горные почвы, нарушенные сплошной вырубкой и низовым пожаром, на протяжении десятилетия отличались от контрольного горно-таежного леса меньшим содержанием органического вещества (63–76% против 89%), общего углерода (39–43% против

50%) и общего азота (1,0–1,2 против 1,4%). Почвы гарей – горелого сосняка ($ГС$) и горелой вырубки ($ГВ$) также характеризовались меньшим содержанием биогенных элементов – калия (до 319–520 против 640–720 мг/кг на негорелой вырубке и в контрольном сосняке) и фосфора (35–50 против 70–76 мг/кг) и достоверно повышенными значениями кальция и зольности (до 19–35% против 11%), что привело к подщелачиванию почвенных растворов до $pH_{водн}$ 4,1–4,6 против 3,8 в кислой подстилке контрольного сосняка. Наиболее трансформированным к 8–9 гг. воздействия оставался покров дважды нарушенной горелой вырубки.

4.2 Годовая динамика температуры нарушенных почвенных профилей

Установлены закономерности, специфические для межгорной речной долины и, следовательно, общие для 4-х участков: – сезонная смена положительного (май–сентябрь) и отрицательного (октябрь–апрель) трендов распределения $T^{\circ}C$ по профилю; – наличие дополнительного (декабрьского) периода промерзания подстилки до абсолютных минимумов $-3,4\dots-5,2^{\circ}C$, наряду с февральским периодом минимальных $T^{\circ}C$ ($-1,5\dots-2,9^{\circ}C$), характерным для ненарушенных почв на склонах Хибин. Различия в парах «нарушенные участки – контроль» проявлялись в виде раннего (на месяц) оттаивания верхних 5–10 см горизонтов почв всех нарушенных участков и их прогрева до эффективных $T^{\circ}C$ весной и раннего остывания осенью (таблица 2).

Таблица 2 – Даты устойчивого перехода температуры через $0^{\circ}C$ (промерзание и оттаивание) в профиле горных почв в долине Кунийок

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

Примечание: * по датам промерзания/оттаивания; н.п. – не промерзает, н/д – нет данных

В паре «леса–вырубки» – в виде: более ранних сроков остывания профилей (5–10 см) на вырубках в августе, их промерзания в октябре–ноябре, оттаивания в апреле и прогрева до активных $T^{\circ}\text{C}$ в июле. В паре «гари ΓC , ΓB – негорелые C , B » наблюдалось большее промерзание гарей на 5–10 см с ноября по апрель, раннее (с октября) остывание на глубинах 15 и 20 см и раннее оттаивание с первой–второй декады апреля. В паре «леса – вырубки» температурные различия были выражены в верхних 5–10 см почвы, в паре «гари – негорелые» – глубже, на 15–20 см, что свидетельствовало о большем нарушении температурного режима горных почв в результате пожара по сравнению с вырубкой.

4.3 Летняя динамика температуры подстилки

В разные годы нарушенные почвы отличались большим летним прогревом по сравнению с контролем. T_{max} были выше на открытых вырубках по сравнению с лесными участками. Дифференцирующее влияние на межгодовую динамику $T^{\circ}\text{C}$ почв и различия между участками оказывал период с активными $T \geq 10^{\circ}\text{C}$, приходящийся на две первые недели июля в теплые сезоны 2018, 2021 и 2022 гг. и смещающийся на август – в прохладные (с 5 по 26.VIII в 2015 г., всего 22 дня) из-за медленного прогрева горных почв. В конце августа различия проявлялись в более низких $T^{\circ}\text{C}$ на открытых вырубках ΓB и B по сравнению с лесными участками ΓC и C .

4.4 Динамика разнообразия беспозвоночных на вырубках и гарях

Через два года после низового пожара (2015 г.) подстилка ΓC отличалась от контрольного C пониженной численностью беспозвоночных при их сходном составе: по 12 общих таксонов (рисунок 6). Из них лишь у пяти отмечались достоверные различия в численности (T_{st} от 3,53 до 14,98 при $p \leq 0,07$), что позволяло предположить быстрое восстановление почвенного населения до контрольного варианта.

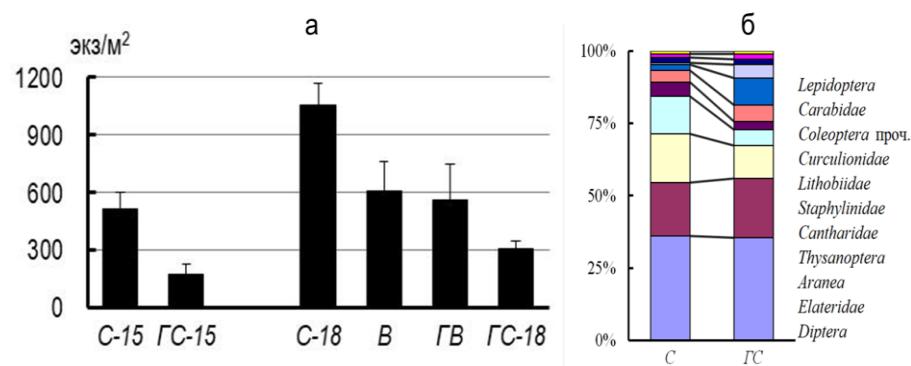


Рисунок 6 – Численность (а) и соотношение таксонов беспозвоночных (б) в подстилке контрольного и нарушенных участков в 2015 и 2018 гг.

В более теплый 2018 г. (6 лет после вырубки, 5 лет после пожара) численность беспозвоночных возросла на всех участках, но в почве всех нарушенных оставалась ниже контрольных значений в 1,8 (B) – 3,5 (ΓC) раза при наибольшем числе таксонов в ΓC .

Различия в численности между годами и участками коррелировали с T_{max} июля, августа, сентября и вегетационного сезона в целом ($r = 0,85\text{--}0,91$).

Почвенными ловушками, как и почвенными пробами, в 2015 г. было учтено сопоставимое число таксонов в контрольном и горелом сосняках при 3х-кратном преобладании беспозвоночных в $ГС$ за счет ксилофагов–долгоносиков и сенокосцев, предпочитающих открытые пространства. Более теплое лето 2018 г. привело к росту разнообразия и численности насекомых-фитофагов (тлей, цикадок, гусениц пядениц и др.) и формированию лугового энтомокомплекса на B . Наибольшим числом таксонов отличался $ГС$, наименьшим при максимальной плотности – B , минимальной плотностью беспозвоночных – дважды нарушенная $ГВ$ (рисунок 7).

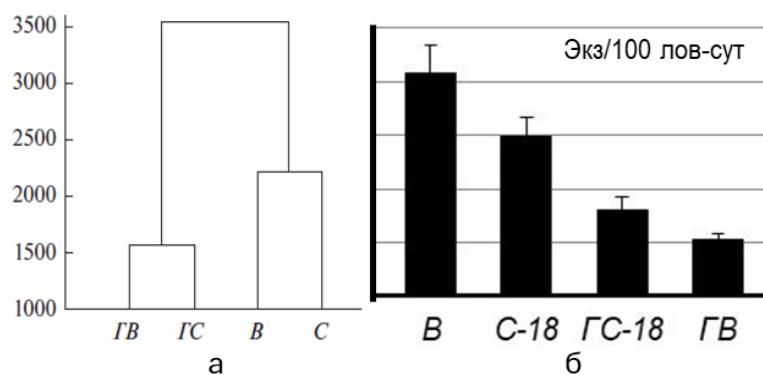


Рисунок 7 – Кластеризация участков по таксономическому составу и плотности беспозвоночных на 5–6 годы после нарушений (а) и динамическая плотность беспозвоночных, экз. /100 л.-с. (б)

Негорелые участки C и B , сходные по таксономическому составу и доминированию типичных обитателей лесной подстилки, объединились в кластер, отличный от гарей $ГС$ и $ГВ$ (рисунок 6 а). При сходной степени прогрева участков C и B , в более влажной подстилке B (100% против 87% в контрольным C) была в 1,2–3 раза выше плотность влаголюбивых муравьев, пауков, многоножек, дождевых червей, моллюсков и личинок двухкрылых, при этом различия в плотности беспозвоночных между C и B определялись в большей степени температурой ($r = 0,92\text{--}0,94$), чем влажностью ($r \leq -0,82$).

За три срока исследований в долине, в трех доминирующих таксонах выявлено 124 вида: пауков – 61, стафилинид – 41, жужелиц – 22 вида. Из них 79 видов или 64% (пауков – 33 вида, стафилинид – 26 и жужелиц – 20) обитали только на нарушенных участках. Более 70% видов артропод было сосредоточено в $ГС$, в том числе: 71% всех выявленных в долине видов пауков, 88% стафилинид и 73% жужелиц (рисунок 8). Суммарное число уникальных видов, встреченных только на одном из участков, достигало 31 в $ГС$ против 14 на $ГВ$ и 9 на B , а число видов, впервые отмеченных для Хибин, равнялось 18 против 13 на $ГВ$ и 4 на B . Таким образом, обе гари, а среди них – $ГС$, отличались как

наибольшим общим числом видов из трех таксонов артропод, так и числом видов, уникальных для этих участков, и видов, впервые отмеченных в фауне Хибин.

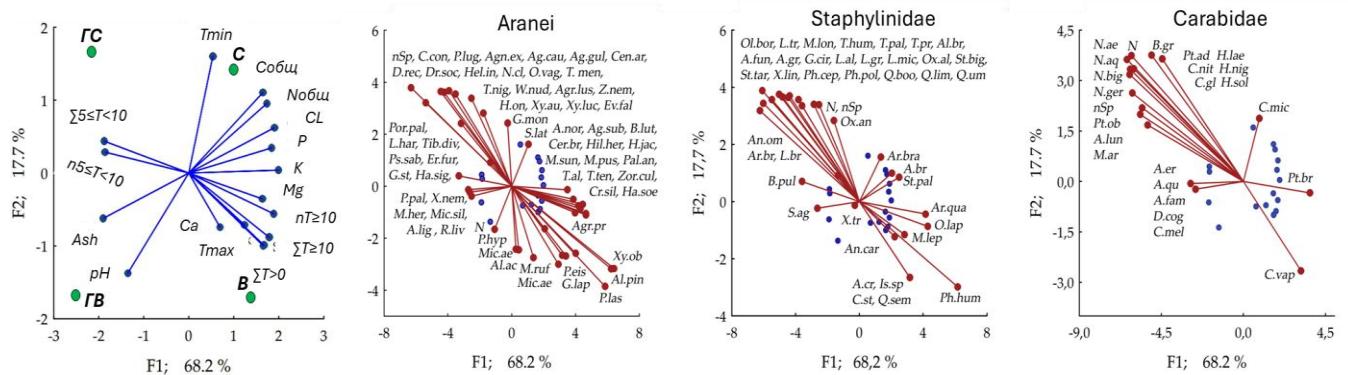


Рисунок 8 – Тренды распространения членистоногих (красные точки) и почвенных факторов (синие точки) на контролльном и нарушенных участках в долине Кунийок

На основе различий химических, физико-химических и температурных показателей почв метод главных компонент РСА разобещил пары горелых и негорелых участков по разным плоскостям проекционного пространства, выделив факторы, специфические для каждого участка. В контролльном *C* это были запасы органического вещества, *Собщ* и *Нобщ* и повышенные концентрации *K* и *P*; соответствующие их содержанию в хвойном опаде. Подстилка *B*, зарастающей березой, отличалась накоплением *Ca* и *Mg* (из опада листьев берез) и лучшим прогревом до активных $T^{\circ}\text{C}$; *ГВ* – высокой зольностью и низкой кислотностью; *ГС* – длительным периодом и суммой эффективных $T^{\circ}\text{C}$. Большинство видов артропод привлекалось на *ГВ* целым комплексом наземных и дереворазрушающих грибов, наиболее разнообразным на 5–6 годы восстановления *ГВ*.

5. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЗОНАЛЬНОГО ЛЕСНОГО ПОДЗОЛА НА ПРИХИБИНСКОЙ РАВНИНЕ

5.1 Многолетняя динамика температуры

Современный температурный режим зональных лесных подзолов характеризуется: положительной среднемноголетней $T^{\circ}\text{C}$ органогенного горизонта $3,2 \pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$ (min–max по годам 2,6…5,5 $^{\circ}\text{C}$); годовыми суммами положительных $T^{\circ}\text{C}$ в 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 40 сут в июле–августе. Очевидными трендами последнего десятилетия, по

сравнению с исследованиями 40–50-летней давности, являются: ранние сроки весеннего оттаивания и прогрева подстилки до эффективных и активных $T^{\circ}\text{C}$, смещение сроков максимального летнего прогрева с августа на июль, увеличение среднемноголетней $T^{\circ}\text{C}$ органогенного горизонта на 0,4 $^{\circ}\text{C}$; сокращение сроков и степени промерзания минеральных горизонтов и поддержание положительных $T^{\circ}\text{C}$ в теплые зимы до глубины 40 см (рисунок 9).

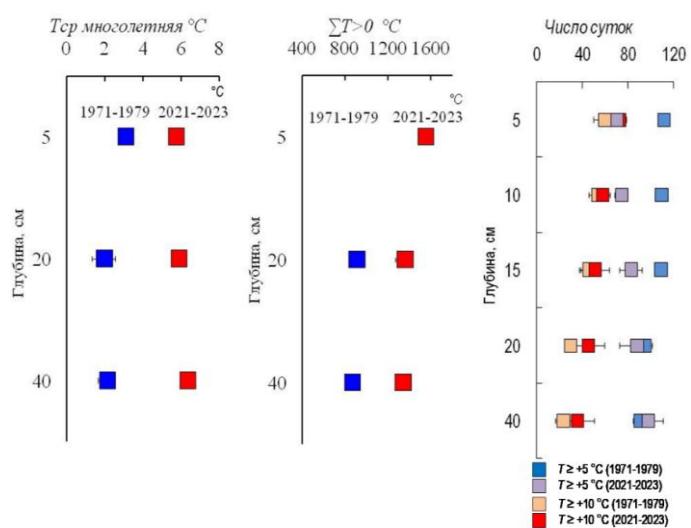


Рисунок 9 – Среднемноголетние значения годовой температуры в профиле зонального лесного подзола на предгорной равнине в 1971–1979 и 2021–2023 гг.

5.2 Сравнение температурного режима зональных и горных почв

Сравнение годовой динамики $T^{\circ}\text{C}$ в зональном лесном подзоле на прихибинской равнине и почвах Хибин показало первостепенное влияние на нее регионального климатического фактора (сходные сроки наибольшего летнего прогрева, зимнего промерзания, положительной среднемноголетней $T^{\circ}\text{C}$ подстилки). Основные различия между лесным подзолом на предгорной равнине и горными почвами проявлялись: в более высоких суммах положительных $T^{\circ}\text{C}$ в зональном сосняке, превышающих таковые в горно-лесных, горно-тундровых поясах и гольцовых пустынях Хибин; в сроках оттаивания, когда зональный подзол в теплые годы оттаивал раньше, чем горные подзолы и подбуры на 17–90 сут, а в холодные годы – на 9–16 сут позже. Температурный режим зональных почв более сопоставим с лучше прогреваемыми почвами березовых криволесий в средних частях горных склонов по сходным значениям максимальных $T^{\circ}\text{C}$, продолжительности «запаздывания» осеннего остывания подстилки $< 5 ^{\circ}\text{C}$ по сравнению с атмосферным воздухом и длительности периода отрицательных $T^{\circ}\text{C}$.

6. ТЕМПЕРАТУРНАЯ БАЗА ДАННЫХ ГОРНЫХ ПОЧВ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ

Объем температурных показаний, полученный для горных и зональных экосистем Мурманской области в 2012–2023 гг., сведен в базу данных (БД), не имеющую регио-

нального аналога. БД включает 14 электронных таблиц формата MS Excel: атрибутивную, таблицу первичных измерений, вкладки с рассчитанными показателями внутрисуточной, сезонной, годовой и многолетней динамики $T^{\circ}\text{C}$ атмосферного воздуха и почв, с «пороговыми» $T^{\circ}\text{C}$ (отрицательными, положительными, эффективными, активными), их суммами и сроками наступления. Атрибутивная таблица содержит характеристику исследованных биогеоценозов по двум десяткам параметров (аббревиатура, район, год, период/даты исследования, географические координаты и др.) и указание комплексности экологических исследований. Атрибутивным параметрам присвоены числовые градации: «район исследования» – 3 градации, фактор «горно-растительный пояс» – 4, «высота над уровнем моря» – 7, «открытые–закрытые» и «природные–нарушенные биотопы» – по 2 соответствующие градации. БД включает данные зоологических, микробиологических и химических исследований горных почв и является ценным инструментом научной аналитической работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Почвы Хибин функционируют в диапазонах среднегодовых температур – $0,9\ldots4,2\ ^{\circ}\text{C}$, годовых сумм положительных температур $675\ldots1610\ ^{\circ}\text{C}$, 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 $12,0\ldots15,5\ ^{\circ}\text{C}$ и максимальных $15,9\ldots22,7\ ^{\circ}\text{C}$. 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.

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 аэробионтных 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 жужелиц (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 – жужелиц и 18 видов муравьев. Муравей шведский *Formica svecica* на основании находок в Хибинах включен в новое издание Красной книги Мурманской области (2024).

Рекомендации

- 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 (Национального парка «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, колонизирующими 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 научно-образовательного консорциума «РИТМ углерода».

Основные научные результаты диссертации, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки, по профилю специальности:

1*. Зенкова, И.В., **Штабровская, И.М.** Влияние гидротермических условий на подстилочных беспозвоночных вырубок и гарей Хибин // Лесоведение. – 2022. – № 4. – С. 364–380. DOI: 10.31857/S0024114822030123.

2. **Штабровская, И.М.**, Зенкова, И.В. Температурные данные в экологическом мониторинге горных почв Кольской Субарктики // Труды Карельского НЦ РАН. – 2024. – № 3. Сер. Экологические исследования.– С. 105–120. DOI: 10.17076/eco1758.

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

4*. Zenkova, I.V., Ditts, A.A., **Shtabrovskaya, I.M.**, Nekhaeva, A.A. Fires and Clear-Cuttings as Local Areas of Arthropod Diversity in Polar Regions: Khibiny Mountains // Fire. – 2024. – № 7. – Is. 203. DOI: 10.3390/fire7060203.

Результаты интеллектуальной деятельности

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

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

Звездочкой () обозначены статьи в изданиях, индексируемых реферативными базами данных и системами цитирования Web of Science Core Collection и/или Scopus

1. **Штабровская, И.М.**, Зенкова, И. В. Сравнительная динамика температуры подстилки в лишайниковой и кустарничковой тундре Хибин // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2017. – № 14. – С. 461–464.
2. **Штабровская, И.М.**, Зенкова, И.В. Анализ температуры горных почв с применением методов описательной статистики // Математические исследования в естественных науках // Труды XV Всеросс. Научн. школы. – 2018. – № 15. – С. 164–175. DOI: 10.31241/MIEN.2018.15.22.
3. **Штабровская, И.М.**, Зенкова, И. В. К исследованию годичной динамики температуры Хибинского горного массива // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – № 16. – С. 620–623. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.127.
4. **Штабровская, И.М.**, Зенкова, И.В. Анализ годичной динамики температуры горных почв с применением методов описательной статистики в высотном градиенте горы Куэльпорр // Математические исследования в естественных науках. Труды XVI Всеросс. Научн. Школы, 2019. – С. 155–164.
5. Зенкова, И.В., **Штабровская, И.М.**, Усова, Д.В. Почвенная фауна вырубок и гарей Хибин // Вестник МГТУ. Науки о Земле. – 2020. – Т. 23. – № 2. – С. 160–172. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172.
6. **Штабровская, И.М.**, Зенкова, И.В. Годовая динамика температуры в почвенном покрове пояса гольцовых пустынь Хибин (Мурманская обл.) // Труды Кольского НЦ РАН. Прикладная экология Севера. – 2021. – Вып. 9. – Т. 12. – № 6. – С. 264–270. DOI: 10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.039.
7. **Штабровская, И.М.**, Зенкова, И.В. Летние температуры почвенных профилей на вырубках и гарях Хибин // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2022. – № 19. – С. 418–423. DOI: 10.31241/FNS.2022.19.076.
8. Королева, Н.Е., Маслов, М.Н., Данилова, А.Д., Давыдов, Д.А, Новаковский, А.Б., Зенкова, И.В., Редькина, В.В., **Штабровская, И.М.**, Шалыгина, Р.Р. Комплексное экологическое исследование пояса гольцовых пустынь Хибинских гор // Сибирский экологический журнал. – 2024. – Т. 31. – № 5. – С. 657–668. DOI: 10.15372/SEJ20240501.