

УДК 631.42 : 536.5 : 004.67

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАННЫЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ГОРНЫХ ПОЧВ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ

И. М. Штабровская*, И. В. Зенкова

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН
(Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209),
ishtabrovskaya@mail.ru

В рамках экологического мониторинга горных экосистем Мурманской области, нацеленного на анализ зависимости разнообразия и распространения почвенной биоты от факторов среды, получен значительный объем данных по температуре почв в диапазоне высот от 125 до 1060 м над уровнем моря. Измерения выполнены автономными программируемыми термохронами в природных и антропогенно нарушенных горных экосистемах Хибин (подзона северной тайги) и окрестностей приграничного заповедника «Пасвик» (притундровые леса), а также на прихибинской равнине – в модельном сосново-мелколиственном лесу с зональным типом почв – подзолом иллювиально-гумусовым. Температурные ряды сведены в систему электронных таблиц формата Microsoft Excel, являющуюся основой планируемой авторской «Температурной базы данных горных почв Кольской Субарктики». По итогам десятилетних измерений (2012–2022 гг.) информационная система включает более 160 тыс. первичных показаний, зарегистрированных термохронами с периодичностью от 1 до 4 часов, и рассчитанные на их основе значения 15 показателей, характеризующих величину и динамику почвенных температур (более 16 тыс. значений). Структура, наполнение информационной системы и использование температурных данных в мониторинге состояния заполярных горных почв и населяющей их биоты обсуждаются в настоящей статье.

Ключевые слова: естественные и нарушенные горные почвы; Хибины; Пасвик; температурные показатели; информационные наборы данных; экологический мониторинг

Для цитирования: Штабровская И. М., Зенкова И. В. Температурные данные в экологическом мониторинге горных почв Кольской Субарктики // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. doi: 10.17076/eco1758

Финансирование. Исследования проводятся в рамках темы НИР ГЗ № 122022400120-2 «Биоразнообразие и мультифункциональность наземных экосистем Евро-Арктического региона». Приобретение измерительных приборов (термохронов) профинансировано грантом РФФИ–Аспиранты № 20-34-90135 «Температурный режим почв как фактор разнообразия и активности почвенной биоты в горных экосистемах Кольской Субарктики».

I. M. Shtabrovskaya*, I. V. Zenkova. TEMPERATURE DATA IN ECOLOGICAL MONITORING OF THE KOLA SUBARCTIC MOUNTAIN SOILS

*Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences (14a Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia),
ishtabrovskaya@mail.ru

An information system was created based on a large set of soil and air temperature data obtained during the ecological monitoring of mountain ecosystems in the Murmansk Region in 2012–2022. The measurements were made in 44 natural and disturbed mountain ecosystems in the Khibiny Mountain Massif (northern taiga subzone) and in the trilateral Pasvik Nature Reserve (forest-tundra subzone) using stand-alone programmable data loggers. Simultaneously, a pine-small-leaved forest with zonal-type soil (Humic Podzol) was investigated as the control for mountain ecosystems. The information system includes more than 160 thousand primary records registered by loggers at a frequency of 1 to 4 hours, and more than 16 thousand values calculated for 15 temperature variables. It will serve as the basis for the future database named "Temperature Database of Mountain Soils of the Kola Subarctic". The article discusses the structure and content of the information system, as well as the use of temperature data in environmental monitoring of polar mountains soils and invertebrates inhabiting them.

Keywords: natural and disturbed mountain soils; Khibiny; Pasvik; temperature value; information system; ecological monitoring

For citation: Shtabrovskaya I. M., Zenkova I. V. Temperature data in ecological monitoring of the Kola Subarctic mountain soils. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. doi: 10.17076/eco1758

Funding. The studies were carried out under state assignment to the Institute of North Industrial Ecology Problems # 122022400120-2 "Biodiversity and multifunctionality of terrestrial ecosystems of the Euro-Arctic region". Measuring instruments (loggers) were purchased within RFBR project # 20-34-90135 "The temperature regime of soils as a factor for soil biota diversity and activity in Kola Subarctic montane ecosystems".

Введение

Экологический мониторинг заполярных горных систем – одно из направлений деятельности Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Основными объектами ежегодных исследований являются естественные и промышленно нарушенные горные почвы Мурманской области и населяющая их фауна [Зенкова и др., 2011; Зенкова, 2012, 2013а, 2020]. Первоначально измерения температуры проводили лишь в даты экспедиционных выездов классическими методами: атмосферного воздуха – срочным ртутным термометром, органогенного горизонта – коленчатым почвенным термометром Савинова ТМ-5. С 2012 года появилась техническая возможность пролонгированного измерения температуры одновременно в разных горно-растительных поясах и/или на разных глубинах почвенных профилей с помощью датчиков нового поколения – миниатюрных программируемых термохрон с автономным режимом работы [Зенкова, 2013б]. Такие приборы получили широкое применение в экологическом почво-

дении в последние годы [Каверин и др., 2014; Старцев, 2016; Моисеев и др., 2019; Кашулина и др., 2020; Литвинова, Кашулина, 2021; Ершов и др., 2022; Каверин, 2022].

За десятилетний период работы с термохронами в горных районах Мурманской области авторами накоплен значительный объем температурных данных, сведенный в систему электронных таблиц. Структура и наполнение информационной системы, а также использование температурных данных в мониторинге состояния заполярных горных почв и населяющей их биоты обсуждаются в настоящей статье.

Объекты исследований

Температурные ряды получены в трех районах Мурманской области: Хибинском горном массиве (центральный р-н, подзона северной тайги), горах заповедника «Пасвик» с прилегающей территорией (северо-запад области вдоль государственной границы с Северной Норвегией, зона притундровых лесов) и на модельном участке северотаежного хвойно-мелколиственного леса на прихивинской равнине (рис. 1).

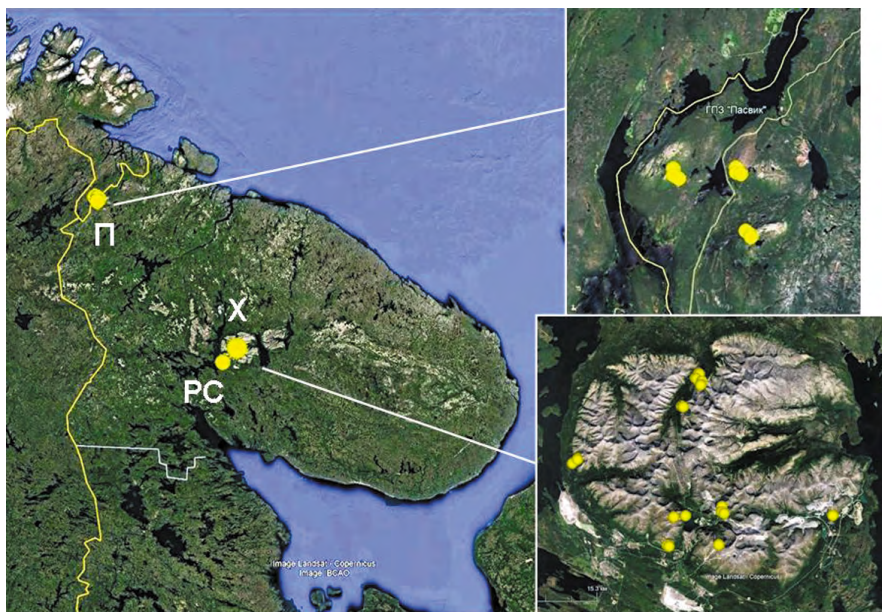


Рис. 1. Районы проведения температурных исследований в Мурманской области: П – заповедник «Пасвик» с прилегающей территорией, X – Хибинский горный массив, PC – модельный сосняк на прихивинской равнине

Fig. 1. Areas of temperature research in the Murmansk Region: П – Pasvik Nature Reserve with adjacent territory, X – Khibiny mountain massif, PC – plain pine forest with zonal Northern-taiga Podzol soils

Хибины (X) – крупнейший горный массив Мурманской области, отличается сложными ледниковыми формами рельефа (платообразными вершинами, крутыми склонами, цирками и моренами, разделенными перевалами и ущельями), которые влияют на перераспределение холодных и теплых воздушных масс и образование температурных инверсий. Максимальная отметка – 1208 м над уровнем моря при высоте предгорных равнин 140–240 м. Высотная поясность простая, протяженность растительных поясов незначительная и зависит от экспозиции склонов (табл. 1).

Почвы Хибин сформировались на богатых по химическому составу щелочных породах и характеризуются значительной гумусированностью профиля и менее контрастным, чем на равнине, элювиально-иллювиальным перераспределением химических элементов [Переверзев, 2010]. В горных лесах это подзолы иллювиально-многогумусовые с морфологическим профилем: O (0–10 см) – E (2 см) – Vfh (до 20–30 см) – C (30–60 см), в горных тундрах – подбуры с неоподзоленным профилем: O (0–3 см) – Bhf (Bh) (3–10 см), Vf (10–20 см) – BC (20–40 см) – C (40–50 см), в поясе холодных гольцовых пустынь – петроземы многогумусовые (O–R) с маломощной подстилкой до 3 см. Массив относится к отдельному климати-

ческому району Мурманской области, микроклимат которого формируется под воздействием циркуляционных и в меньшей степени радиационных процессов и отличается высокой атмосферной влажностью [Яковлев, 1961].

Рельеф окрестностей Пасвика (П) низкогорный. Горы одиночные, более похожи на сопки, со сглаженными ледником вершинами до 380 м (при средней высоте равнины 50 м над ур. моря) и еще более простой высотной поясностью (табл. 1). Почвы развиваются на иных горных породах, имеют хороший дренаж и профиль мощностью до 50 см с четким подзолистым горизонтом [Светов и др., 2019]. Из-за значительной удаленности заповедника и пограничного пропускного режима почвенные исследования были проведены здесь только в полевые сезоны 2010–2013 гг., а температурные измерения – с июля по август 2012 и 2013 гг.

К настоящему времени температурные ряды продолжительностью от летнего сезона до года получены для естественных почв 34 биоценозов восьми хибинских гор и 6 биоценозов трех гор в окрестностях «Пасвика».

Нарушенные в 2012–2013 гг. горно-лесные почвы в долине реки Кунийок на севере Хибин (67°50'N, 33°39'E) являются действующими объектами экологического мониторинга. Круглогодичный учет температуры атмосферного

Таблица 1. Характеристика районов исследования

Table 1. Description of study areas

Показатели Parameters	Горные районы Mountainous areas		Предгорная равнина Foothill plain
	Пасвик Pasvik	Хибины Khibiny	Модельный сосняк Plain pine forest
Координаты* Coordinates*	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 Subzone	Граница северной тайги и лесотундры Border between Northern taiga and forest tundra	Северная тайга Northern taiga	Северная тайга Northern taiga
Климатический район Мурманской области Climatic area of the Murmansk Region	Часть центрального р-на под влиянием морского климата Баренцева моря Marine climatic area	Горный климатический р-н Mountain climatic area	Континентальный центральный р-н Continental central area
Климатические показатели ^[1,2,3,12] Climate indices	<i>T</i> среднегодовая <i>T</i> average annual –2.0 °C <i>T</i> средняя января <i>T</i> average January –12 °C <i>T</i> средняя июля <i>T</i> average July +12 °C Годовая сумма осадков 800 мм (преобладают летом) Annual precipitation 800 mm (prevail in summer)	<i>T</i> среднегодовая <i>T</i> average annual –1.2 °C <i>T</i> средняя февраля <i>T</i> average February –13 °C <i>T</i> средняя июля <i>T</i> average July +12 °C Годовая сумма осадков 900–1200 мм (преобладают зимой) Annual precipitation 900–1200 mm (prevail in winter)	<i>T</i> среднегодовая <i>T</i> average annual –0.8 °C <i>T</i> средняя февраля <i>T</i> average February –12 °C <i>T</i> средняя июля <i>T</i> average July +14 °C Годовая сумма осадков 500–600 мм (преобладают летом) Annual precipitation 500–600 mm (prevail in summer)
Рельеф ^[1,4,5] Relief	Денудационно-тектонический Denudation-tectonic		Автоморфная позиция ландшафта Automorphic position of the landscape
	низкогорный low-mountain	среднегорный mid-mountain	
Высотная поясность (протяженность, м н. у. м.) ^[1,4,5] Altitudinal zonality (extension, m a.s.l.)	Горные тундры (выше 300) Mountain tundra (above 300) Березовые криволеся Birch crooked forests (≥ 200) Горная тайга Mountain taiga (≥ 50)	Гольцовые пустыни Cold mountain deserts (Goltzy) (950–1200) Горные тундры Mountain tundra (450–950) Березовые криволеся Birch crooked forests (380–440(500)) Горная тайга Mountain taiga (220–380)	Зональная тайга Zonal northern taiga 140 ± 10
Почвы ^[6–9] Soils	Горно-тундровые криоземы Mountain tundra cryozems (<i>Leptic Cryosols</i>) Горно-тундровые подбурсы Mountain tundra podburs (<i>Entic Podzols</i>) Горно-лесные подзолы иллювиально-железистые Ferric alpine forest Podzols	Горные петроземы Mountain petrozems (<i>Leptosols</i>) Горно-тундровые подбурсы многогумусовые Mountain tundra podburs high-humic (<i>Entic Podzols</i>) Горно-лесные подзолы иллювиально-многогумусовые Highly humic montane forest Podzols (<i>Albic Podzols</i>)	Песчаный лесной подзол иллювиально-гумусовый Humic Sandy Forest (<i>Arenic Carbic Albic</i>) Podzols
Подстилающие породы ^[1,10,11] Bedrocks	Метаморфизованные габбро, пироксениты, габброанортозиты и амфиболиты Metamorphosed gabbro, pyroxenites, gabbroanorthosites and amphibolites	Магматические щелочные породы, покрытые моренами горных оледенений Magmatic alkaline rocks covered with mountain glaciation moraines	Песчаные озерно-ледниковые отложения с примесью кварцсодержащей покровной морены Sandy lacustrine-glacial sediments with an admixture of quartz-containing cover moraine

Окончание табл. 1
Table 1 (continued)

Показатели Parameters	Горные районы Mountainous areas		Предгорная равнина Foothill plain
	Пасвик Pasvik	Хибины Khibiny	Модельный сосняк Plain pine forest
Период исследований Study period	2012–2013	2013–2022	2016–2022
Исследованные горы Studied mountains	Калкупя (заповедник «Пасвик») Kalkupa (Pasvik Nature Reserve) Каскама (окрестности «Пасвика») Kaskama (near the Pasvik Nature Reserve) Кораблекк (одноименный природный парк) Korablekk (Korablekk Natural Park)	Партомчорр / Partomchorr Рисчорр / Rischorr Куэльпорр / Kuelporr Юмечорр / Yumehorr Юкспорр / Yuksporr Суолайв / Suolajv Айкуайвенчорр / Aikuaivenchorr Вудъяврчорр / Vud'yavrchorr долина Кунийок / Kuniyok Valley	–
Экспозиция склонов* Slope exposition*	СЗ, ЮЗ, ЮВ NW, SW, SE	С, СЗ, З, ЮЗ, Ю, ЮВ N, NW, W, SW, S, SE	–
Исследованный диапазон высот, м н. у. м.* Studied altitude range, m a.s.l.*	125–345	220 – 1060	– // –
Число биоценозов Number of biocenoses	6	38	1
Направления исследований Collaborative research	Учеты температуры и почвенной фауны Accounting of temperature and soil fauna	Регистрация температуры. Почвенно-зоологические и микробиологические исследования. Оценка эмиссии CO ₂ Registration of temperature. Soil-zoological and microbiological studies. Assessment of CO ₂ emissions	

Примечание. *Данные получены по GPS-навигатору Garmin Trex Touch 35. Источники: ¹Государственный..., 2020; ²Димо, 1972; ³Семко, 1982; ⁴Хибины..., 2022; ⁵Рябцева, 1975; ⁶Мазыро, 1936; ⁷Мировая..., 2018; ⁸Национальный..., 2011; ⁹Ушакова, 1997; ¹⁰Миловский, Кононов, 1982; ¹¹Светов и др., 2019; ¹²Яковлев, 1961.

Note. *Measured by the Garmin Etrex Touch 35 GPS-navigator. After: ¹Pasvik..., 2020; ²Dimo, 1972; ³Semko, 1982; ⁴Borovich, Koroleva, 2022; ⁵Ryabtseva, 1975; ⁶Mazyro, 1936; ⁷Shoba, 2018; ⁸Shoba, 2011; ⁹Ushakova, 1997; ¹⁰Milovskii, Kononov, 1982; ¹¹Svetov et al., 2019; ¹²Yakovlev, 1961.

воздуха и почвенных профилей, наряду с сезонными исследованиями почвенной фауны и микробиоты, ведется здесь на четырех участках: в контрольном горном сосняке и трех вариантах его антропогенной трансформации – в горелом сосняке, на вырубке и дважды нарушенной горелой вырубке.

Наряду с исследованиями горных экосистем температурные учеты проводили в детально изученном равнинном сосняке кустарничковом (РС). Сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН и Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина здесь выполнены многолетние работы по почвоведению, почвенной фауне и микробиоте [Репневская, 1969; Ушакова, 1997; Зенкова, 2000, 2003; Евдокимова, Мозгова, 2001; Евдокимова и др., 2002, 2004; Переверзев, 2004; Zenkova, 2010]. Под сосняком на песчаных озерно-ледниковых отложениях

с примесью морены сформирован типичный Al-Fe гумусовый лесной подзол с укороченным генетическим профилем состава: OL (0–2 см) – OFH (2–5 см) – A2 (5–8 см) – B (8–25 см) – BC (25–39 см). В 1971–1983 гг. на территории модельного сосняка метеорологом ПАБСИ А. П. Семко проводился температурный мониторинг лесного подзола [Семко, Сергеев, 1974; Семко, 1982], что позволяет сопоставлять современные температурные ряды с данными 40–50-летней давности. Круглогодичный учет температуры почвы и атмосферного воздуха с использованием термохронных мы проводим в РС с 2016 года.

Методы исследований

Инструментарий. Для мониторинга температуры использовали термохроны DS1921G-F5

и ТРВ-2 с предельным диапазоном измерений $-25...+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, объемом памяти до 8,2 тыс. показаний, дискретностью измерений $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ и погрешностью $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, сертифицированные в Государственном реестре средств измерений РФ [Термохроны...]. Запуск термохрон и снятие показаний проводили в полевых условиях при помощи портативного USB-устройства «Термохрон-аудитор» с графическим дисплеем, кнопкой «меню» и двухцветным светодиодом. Прибор позволяет управлять функциями: запуск, перезапуск и остановка миссии, импорт данных. При подключении термохрона через переходник «USB-iButton» аудитор считывает данные с регистратора, сохраняя их в виде бинарных файлов TRL (Technology Readiness Level), которые используются для формирования отчетов в формате PDF. Из таблиц PDF данные копируются в Excel-файл.

Полевые работы. Сроки закладки термохрон в почву исследуемых биоценозов приурочены к периодам схода снегового покрова (с середины-конца мая в РС и с конца июня – начала июля в горах), осенние сроки выемки/перепрограммирования датчиков – к первым заморозкам (середина-конец сентября). В эти же даты проводили установку/снятие почвенных ловушек с формалином для учета почвенной фауны и/или отбор образцов органо-генного горизонта на химический, зоологический и микробиологический анализ. Период работы почвенных ловушек в каждом исследованном биоценозе совпадал с регистрацией температуры окружающих сред – воздуха и почвы.

Температуру измеряли на высоте 2 м, на поверхности почвы, на глубине 5 см в органо-генном горизонте (подстилке) и в минеральном профиле почв по глубинам: 10, 15, 20 и 40 см. В последнем случае термохроны прикручивали к деревянным рейкам, которые заглубляли в профиль с помощью металлического почвенного бура малого диаметра (2 см), чтобы обеспечить максимальный контакт термодатчиков с почвой (рис. 2).

В зависимости от цели исследования термохроны программировали на регистрацию температуры каждые 1–2 (для анализа суточной и сезонной динамики соответственно) или 4 часа (из-за лимита памяти датчиков при учете годовой динамики).

Суммарно в 44 горных биоценозах, исследованных за период 2012–2022 гг., получено свыше 123 тыс. первичных измерений температуры; в равнинном сосняке за период 2016–2022 гг. – свыше 35 тыс. В информационной системе эти измерения составляют основу таблицы первичных данных.



Рис. 2. Закладка серии термохрон в почвенный профиль с учетом мощности генетических горизонтов

Fig. 2. Installation of a series of thermochrons in a soil profile, taking into account the thickness of genetic horizons

Математическая обработка. Температурные ряды обрабатывали в программах Excel и Statistica 12 (описательная статистика, корреляционный, дисперсионный и кластерный анализ). На основе первичных измерений термохрон для каждого биоценоза рассчитывали стандартные показатели температурного режима: среднесуточные температуры, среднемесячные, среднелетние (с июня по август), среднегодовые, средние за вегетационный сезон (с мая по октябрь), суммы положительных, отрицательных, эффективных ($\geq +5\text{ }^{\circ}\text{C}$), активных ($\geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$) температур и число суток с этими температурами (табл. 2).

Достоверность различий средних температур по сезонам, между высотными поясами и склонами разной экспозиции оценивали по t-критерию Стьюдента, различия температурной динамики – методом дисперсионного анализа с F-критерием Фишера. Сопряженную динамику температуры почв и атмосферного воздуха и зависимость от них количественных показателей почвенной биоты определяли методом корреляционного анализа. Сходство-различие биоценозов по таксономическому составу и динамической плотности беспозвоночных, а также по температурным рядам за равный период измерений выявляли методом кластерного анализа.

Таблица 2. Рассчитанные температурные показатели, включенные в информационную систему
Table 2. Calculated temperature parameters included in the information system

Показатели Parameters	Динамика температуры Temperature dynamics			
	Суточная Daily	Месячная Monthly	Летняя Summer, VI–VIII	Годовая Annual
Т средняя T average, °C	T_{av_d}	T_{av_m}	$T_{av_{sm}}$	$T_{av_{an}}$
Т минимальная T minimal, °C	T_{min_d}	T_{min_m}	$T_{min_{sm}}$	$T_{min_{an}}$
Т максимальная T maximal, °C	T_{max_d}	T_{max_m}	$T_{max_{sm}}$	$T_{max_{an}}$
Амплитуда Amplitude, °C	$T_{min_d} - T_{max_d}$	$T_{min_m} - T_{max_m}$	$T_{min_{sm}} - T_{max_{sm}}$	$T_{min_{an}} - T_{max_{an}}$
Варьирование CV Variability CV, %	CV_d	CV_m	CV_{sm}	CV_{an}
Сумма температур Sum of temperatures				
$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$\Sigma T_m < 0$	$\Sigma T_{sm} < 0$	$\Sigma T_{an} < 0$
$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$\Sigma T_m \geq 0$	-	$\Sigma T_{an} \geq 0$
$0 \leq T < +5\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$\Sigma(0 \leq T_m < +5)$	$\Sigma(0 \leq T_{sm} < +5)$	$\Sigma(0 \leq T_{an} < +5)$
$+5 \leq T < +10\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$\Sigma(+5 \leq T_m < +10)$	$\Sigma(+5 \leq T_{sm} < +10)$	$\Sigma(+5 \leq T_{an} < +10)$
$T \geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$\Sigma(T_m \geq +10)$	$\Sigma(T_{sm} \geq +10)$	$\Sigma(T_{an} \geq +10)$
Число суток с температурой, n: Number of days with temperature, n:				
$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$n(T_m < 0)$	$n(T_{sm} < 0)$	$n(T_{an} < 0)$
$T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$n(T_m \geq 0)$	$n(T_{sm} \geq 0)$	$n(T_{an} \geq 0)$
$0 \leq T < +5\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$n(0 \leq T_m < +5)$	$n(0 \leq T_{sm} < +5)$	$n(0 \leq T_{an} < +5)$
$T < +10\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$n(+5 \leq T_m < +10)$	$n(+5 \leq T_{sm} < +10)$	$n(+5 \leq T_{an} < +10)$
$T \geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$n(T_m \geq +10)$	$n(T_{sm} \geq +10)$	$n(T_{an} \geq +10)$

Примечание. «-» – нет данных.

Note. '-' – no data.

Для визуализации пространственного распределения температурных и фаунистических данных в горах выполняли построение картосхем в программе ArcGIS(v. 10.4) компании ESRI.

Результаты

С целью структурированного хранения и удобства использования массива данных, ежегодно пополняемого измерениями температуры в мониторинговых и вновь обследуемых горных биоценозах, сформирована информационная система, включающая 14 электронных таблиц формата Microsoft Excel.

Вводная атрибутивная таблица (рис. 3) заполняется в двух версиях – на русском языке и латинице и содержит характеристику исследованных биоценозов по двум десяткам параметров: обозначение (аббревиатура), район, год, период (даты) и продолжительность (в сутках) исследования, географические координаты (в форматах DD.MM.SS и DD.DDDDD), указание горы, экспозиции склона, горно-растительного

пояса, высоты над уровнем моря, принадлежности к категории природных или нарушенных, лесных или открытых биоценозов. Указывается комплексность исследований в данном биоценозе: учет температуры (по средам: атмосферный воздух/подстилка/почвенный профиль), проведение почвенно-зоологических работ (отбор почвенных проб и/или установка почвенных ловушек), измерение почвенного дыхания, отбор образцов на микробиологический и/или химический анализ.

Для удобства статистической обработки атрибутивным параметрам присвоены числовые градации. Так, параметр «район исследования» имеет три градации: П, Х, РС; фактор «горно-растительный пояс» – 4 градации: горно-таежный, березовые криволесья, горные тундры и холодные гольцовые пустыни; фактор «высота над уровнем моря» – 7 градаций с интервалом 140 м, рассчитанным по формуле Лагранжа [Смирнов, 2008]; факторы «открытые-закрытые» и «природные-антропогенные биотопы» – по 2 соответствующие градации.

Таблица первичных данных (рис. 4) включает ряды значений, зарегистрированных термохронами в исследованных биоценозах с периодичностью 1, 2 или 4 часа.

Из этих рядов в таблицу внутрисуточной динамики температуры (рис. 5) отсортированы

минимальные и максимальные показания за каждые сутки, учтены их часы наступления, а также внутрисуточные периоды прогрева (от T_{min} к T_{max}) и остывания воздуха и почвы. Эти данные используются при анализе суточной активности почвенной фауны, которая оценивается

№	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	KrNWT	69°14'18"	29°27'41"	69.238333	29.461389	303	1	NW	IVex
2		11	Karablekk	1yr	2012	III	birch crooked forest	3	birch crooked forest	KrNWB	69°14'23"	29°27'22"	69.242500	29.456111	249	1	NW	IVex
3		11	Karablekk	1yr	2012	II	mountain taiga	1	pine forest	KrNWP	69°14'33"	29°27'22"	69.242500	29.456111	155	1	NW	IVex
4		12	Kalkupya	1yr	2012	III	birch crooked forest	3	birch crooked forests	KSEB	69°17'02"	29°22'43"	69.283889	29.378611	200	1	SE	Vlex
5		12	Kalkupya	1yr	2012	II	mountain taiga	1	pine forest	KSEB	69°16'58"	29°22'53"	69.282778	29.381389	125	1	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	1	SW	Vex
7		13	Kaskama	2yr	2013	III	birch crooked forest	3	birch crooked forests	KsSEB	69°16'26"	29°28'37"	69.273889	29.476944	291	1	SW	Vex
8		13	Kaskama	2yr	2013	II	mountain taiga	1	pine forest	KsSEP	69°16'8"	29°28'16"	69.268889	29.471111	162	1	SW	Vex
9		13	Kaskama	2yr	2013	II	mountain taiga	1	pine forest	KsSEP	69°16'8"	29°28'16"	69.268889	29.471111	162	1	SW	Vex
10		13	Kaskama	2yr	2013	II	mountain taiga	1	pine forest	KsSEP	69°16'8"	29°28'16"	69.268889	29.471111	162	1	SW	Vex
11	KHIBINY	11	Putelechorr	10yr	2021	II	mountain taiga	1	Pine forest	V-P21	67°50'13.9"	33°39'35.1"	67.833333	33.650000	238	1	valley	Oex
12		11	Putelechorr	10yr	2021	II	mountain taiga	7	burnt forest	V-Pb21	67°50'16.9"	33°39'23.7"	67.833333	33.650000	227	1	valley	Oex
13		11	Putelechorr	10yr	2021	II	mountain taiga	8	cutting down	V-c21	67°50'13.9"	33°39'35.1"	67.833333	33.650000	234	1	valley	Oex
14		11	Putelechorr	10yr	2021	II	mountain taiga	9	burnt cutting down	V-bc21	67°50'16.9"	33°39'23.7"	67.833333	33.650000	221	1	valley	Oex
15		11	Putelechorr	4yr	2015	II	mountain taiga	1	pine forest	V-P15	67°49'49.4"	33°39'00.9"	67.816667	33.650000	238	1	valley	Oex
16		11	Putelechorr	4yr	2015	II	mountain taiga	7	burnt forest	V-Pb15	67°49'51.6"	33°38'46.2"	67.816667	33.633333	227	1	valley	Oex
17		11	Putelechorr	7yr	2018	II	mountain taiga	1	pine forest	V-P18	67°50'13.9"	33°39'35.1"	67.833333	33.650000	238	1	valley	Oex
18		11	Putelechorr	7yr	2018	II	mountain taiga	7	burnt forest	V-Pb18	67°50'16.9"	33°39'23.7"	67.833333	33.650000	227	1	valley	Oex
19		11	Putelechorr	7yr	2018	II	mountain taiga	8	cutting down	V-c18	67°49'49.4"	33°39'00.9"	67.816667	33.650000	234	1	valley	Oex
20		11	Putelechorr	7yr	2018	II	mountain taiga	9	burnt cutting down	V-bc18	67°49'51.6"	33°38'46.2"	67.816667	33.633333	221	1	valley	Oex
21		12	Pantomchorr	2yr	2013	II	mountain taiga	1	pine-spruce forest	PRSEP	67°49'39"	33°40'18"	67.827500	33.671667	295	1	SE	Vlex
22		13	Rischorr	2yr	2013	IV	mountain tundra	4	shrub-lichen tundra	RNT	67°49'17"	33°40'04"	67.821389	33.667778	428	1	N	Iex
23		13	Rischorr	2yr	2013	III	birch crooked forest	3	birch crooked shrubby forest	RNWB	67°49'22"	33°40'10"	67.822778	33.669444	377	1	NW	Iex
24		13	Rischorr	2yr	2013	II	mountain taiga	1	pine-spruce forest	RNWP	67°49'36"	33°40'06"	67.826667	33.668333	296	1	NW	Iex
25		14	Yumechorr	3yr	2014	IV	mountain tundra	3	shrub-lichen tundra	YmSWT	67°47'23.5"	33°36'34.8"	67.783333	33.600000	505	1	SW	Vex
26		14	Yumechorr	3yr	2014	IV	birch crooked forest	3	birch crooked forests	YmSWB	67°47'24.5"	33°36'22.2"	67.790000	33.600556	484	1	SW	Vex
27		14	Yumechorr	3yr	2014	II	mountain taiga	1	pine forest	YmSWP	67°47'26.2"	33°36'20.5"	67.783333	33.600000	314	1	SW	Vex
28		15	Yukspor	3yr	2014	IV	mountain tundra	5	high-mountain moss-lichen tundra	YkSHT	67°42'03"	33°14'06"	67.700833	33.235000	730	1	S	Iex
29		15	Yukspor	3yr	2014	IV	mountain tundra	4	moss-lichen-shrub tundra	YkST	67°42'23.2"	33°36'45.2"	67.783333	33.600000	645	1	S	Iex
30		15	Yukspor	3yr	2014	III	birch crooked forest	4	birch crooked shrubby forest	YkSB	67°42'23.2"	33°36'40.0"	67.783333	33.611111	460	1	S	Iex
31		16	Suolve	3yr	2014	IV	mountain tundra	4	shrub-lichen tundra	SWT	67°38'59"	33°47'17"	67.649722	33.788056	387	1	W	Iex

Рис. 3. Фрагмент атрибутивной таблицы информационной системы

Fig. 3. A fragment of an attribute table of the information system

	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
1	Partomchorr				Rischorr				Yumechorr				Yukspor								
2	2013	Время	P _{гг} P		2013	Время	R _{гг} SB	R _{гг} WB	R _{гг} T		2013	Время	Y _{гг} SWP	Y _{гг} SWB	Y _{гг} SWT		2014	Время	Y _{гг} B	Y _{гг} T	Y _{гг} HT
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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	6,545	3,559	7,228
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
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
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
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
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
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
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	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
H	4	Д	М	Астроф	Погод	Мн-Мак	Concours	13	Months	Seasons	Years	Beats	Altitudes	Exposition	Фавора / Фауна		1				

по числу беспозвоночных в почвенных ловушках, проверяемых с 4-часовой периодичностью.

Основную часть информационной системы составляют *вкладки с рассчитанными показателями*, перечисленными в таблице 2. Вычисление этих стандартных величин позволяет проводить статистическое сравнение температурных условий в высотных поясах одного склона, в одноименных поясах разных склонов или гор, в лесных и открытых, природных и нарушенных, горных и равнинных биоценозах, а

также между горными районами в зависимости от их географического положения и климатических особенностей в пределах Мурманской области.

Отдельные электронные таблицы содержат *данные по «пороговым» температурам*: отрицательным, положительным, слабоположительным ($0 \leq T < +5^\circ\text{C}$), эффективным и активным. Указаны сезонные даты наступления и число суток с этими температурами, рассчитаны их суммы (рис. 6).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ															
78	min						ПОВЫШЕНИЕ										max										ПОНИЖЕНИЕ										СУТОЧНАЯ АМПЛИТУДА													
79	V	VI	VII	VIII	IX	X					V	VI	VII	VIII	IX	X					V	VI	VII	VIII	IX	X					V	VI	VII	VIII	IX	X					V	VI	VII	VIII	IX	X				
80	5:59	3:59	3:59	1:59	1:59	7:59					7:59	7:59	5:59	5:59	5:59	11:59					13:59	13:59	11:59	11:59	7:59	15:59					15:59	15:59	15:59	13:59	11:59	17:59					1:26	1:76	1:76	0:44	0:56	0:38				
81	5:59	3:59	3:59	3:59	1:59	7:59					7:59	7:59	5:59	5:59	5:59	11:59					15:59	15:59	13:59	13:59	9:59	15:59					17:59	17:59	15:59	17:59	15:59	17:59					1:95	0:63	0:63	1:19	1:07	0:44				
82	5:59	3:59	3:59	3:59	1:59	9:59					7:59	7:59	7:59	7:59	7:59	11:59					17:59	15:59	13:59	15:59	13:59	15:59					19:59	17:59	17:59	17:59	17:59	17:59					1:44	1:07	1:07	1:00	0:75	0:44				
83	5:59	3:59	3:59	3:59	3:59	9:59					9:59	7:59	7:59	7:59	9:59	11:59					17:59	15:59	13:59	15:59	13:59	15:59					19:59	19:59	17:59	17:59	17:59	19:59					1:07	0:31	0:31	0:94	0:50	0:31				
84	5:59	3:59	3:59	3:59	3:59	9:59					9:59	7:59	7:59	7:59	9:59	11:59					17:59	15:59	15:59	15:59	13:59	15:59					21:59	19:59	17:59	17:59	17:59	19:59					1:19	0:69	0:69	1:32	0:25	0:44				
85	7:59	3:59	3:59	3:59	3:59	9:59					7:59	7:59	7:59	9:59	9:59	13:59					19:59	15:59	15:59	15:59	15:59	17:59					21:59	19:59	19:59	17:59	17:59						0:94	0:94	1:25	0:75						
86	7:59	3:59	3:59	3:59	3:59	9:59					7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						19:59	15:59	15:59	15:59	15:59	17:59						19:59	19:59	17:59	17:59						0:82	0:82	1:00	0:57						
87	3:59	5:59	5:59	3:59	3:59	9:59					7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						15:59	15:59	15:59	15:59							19:59	19:59	17:59	17:59						0:75	0:75	0:81	0:75							
88	3:59	5:59	5:59	3:59	3:59	11:59					7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	15:59	15:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						1:07	1:07	0:88	0:57							
89	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	15:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						0:69	0:69	0:50	0:69							
90	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	15:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						0:94	0:94	0:69	1:44							
91	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	15:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						1:07	1:07	0:82	0:75							
92	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	15:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						0:69	0:69	0:82	0:63							
93	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	15:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						1:07	1:07	0:88	0:94							
94	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						1:07	1:07	0:69	0:31							
95	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	15:59							19:59	19:59	19:59	19:59						2:26	2:26	0:25	0:63							
96	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	15:59							21:59	19:59	19:59	19:59						1:44	1:44	0:50	0:69							
97	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	15:59							21:59	19:59	19:59	19:59						1:00	1:00	1:00	0:63							
98	5:59	5:59	5:59	3:59							7:59	7:59	7:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	15:59							21:59	19:59	19:59	19:59						0:44	0:44	1:32	0:82							
99	5:59	5:59	5:59	3:59							9:59	7:59	9:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	15:59							21:59	19:59	19:59	19:59						0:75	0:75	1:75	1:26							
100	5:59	5:59	5:59	3:59							9:59	7:59	9:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	15:59							21:59	19:59	19:59	19:59						1:25	1:25	0:31	0:31							
101	5:59	5:59	5:59	3:59							9:59	7:59	9:59	9:59	9:59						17:59	17:59	17:59	17:59							21:59	19:59	19:59	19:59						1:25	1:25	0:38	0:50							
102	5:59	5:59	5:59	3:59							9:59	7:59	9:59	11:59							17:59	17:59	17:59	17:59							21:59	19:59	19:59	19:59						0:69	0:69	0:44	0:56							
103	5:59	5:59	5:59	3:59							9:59	7:59	9:59	11:59							17:59	17:59	17:59	17:59							21:59	19:59	19:59	19:59						1:32	1:32	0:31	0:38							
104	5:59	5:59	5:59	3:59							9:59	7:59	9:59	11:59							17:59	17:59	17:59	17:59							21:59	21:59	21:59	19:59						1:25	1:25	0:69	0:44							
105	5:59	5:59	5:59	3:59							9:59	7:59	9:59	11:59							17:59	17:59	17:59	17:59							21:59	21:59	21:59	21:59						0:50	0:50	0:44	0:63							
106	5:59	5:59	7:59	7:59							9:59	7:59	11:59	11:59							17:59	17:59	17:59	17:59							21:59	21:59	21:59	21:59						1:13	1:13	0:25	0:31							
107	5:59	5:59	7:59	7:59							11:59	9:59	11:59	11:59							17:59	17:59	17:59	17:59							21:59	21:59	21:59	21:59						1:69	1:69	0:50	0:13							
108	B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AB AC AD AE AF AG AH AI AJ																														1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108										Name Surname Patronymic Initials Birthdate Birthplace Country of Birth Date of Birth Date of Death Date of Burial Date of Cremation Date of Reburial Date of Re									

Рис. 5. Фрагмент таблицы внутрисуточной динамики температуры (ежечасная регистрация)

Fig. 5. A fragment of the table of daily temperature dynamics (hourly registration)

	A	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U																
1	PLAIN																		Khibiny															
2	Year	2019	2020	2021	17/18	17/18	17/18	17/18	17/18	17/18	17/18	18/19	18/19	18/19	18/19	18/19	19/20	19/20																
3	Months / Plots	PC	PC	PC	Vd _{NWB}	Vd _{SEB}	Vd _{NWTI}	Vd _{SETI}	Vd _{GI}	Vd _{Gz}	K _{WS300}	K _{WS350}	K _{WS400}	K _{WB}	K _{WT}	AGI	AGz																	
4	VI	241	345	Н/Д	75	99	Н/Д	Н/Д	87	64	200	218	249	223	188	125	105																	
5	VII	326	451	389	361	339	320	0	477	462	279	285	292	291	236	269	309																	
6	VIII	316	371	Н/Д	327	311	299	0	117	130	302	301	299	299	252	216	237																	
7	IX	235	64	187	189	192	159	67	70	74	125	125	109	105	100	61	62																	
8	X	125	58	103	63	99	51	106	6	17	48	63	25	22	21	-67	-21																	
9	XI	12	-20	Н/Д	2	29	-3	35	-9	0	7	16	1	-4	-6	-150	-63																	
10	XII	-42	-52	Н/Д	-6	10	-9	23	-14	-5	-108	-11	-42	-84	-20	-132	-62																	
11	I	-68	4	7	-15	0	-17	16	-15	-9	-160	-27	-76	-136	-17	-142	-82																	
12	II	-61	0	-10	-28	-10	-30	8	-17	-12	-130	-45	-74	-116	-44	-154	-106																	
13	III	-41	0	-10	-48	-15	-46	4	-29	-21	-99	-36	-57	-83	-27	-147	-90																	
14	IV	-15	-14	1	-27	-4	-16	4	-30	-20	-7	0	-14	-13	-14	-135	-90																	
15	V	61	-14	19	66	90	132	123	-5	-4	79	46	63	74	41	-81	-70																	
16	ΣTакт ≥ +10 °C	520	1109	653	552	552	440	Н/Д	513	540	414	418	459	426	216	132	275																	
17	ΣTэфф ≥ +5 °C	599	177	345	403	416	411	224	163	123	476	469	465	460	500	440	368																	
18	ΣTотр < 0 °C	-247	-116	-21	-127	-31	-121	Н/Д	-122	-72	-535	-128	-274	-456	-150	-1011	-585																	
19																																		
20																																		
21																																		
22																																		

Обсуждение

В отличие от температуры атмосферного воздуха – стандартного показателя, включенного во все региональные и мировые метеорологические базы данных, мониторинг почвенных температур ведется на ограниченном числе метеостанций и научных стационаров, в основном в геоэкологической зоне России, где данные регистрации температуры мерзлых почв и грунтов используются для обеспечения безопасности строительных работ и в прогнозных моделях формирования или деградации этих пород в зависимости от климатических изменений [обзор: 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].

В других регионах температура почв является объектом более частных, тематических, но не менее актуальных исследований. По результатам ряда из них в последние годы зарегистрированы температурные базы данных. Учетами почвенных температур сопровождаются наблюдения за состоянием экосистем, нарушенных пожарами и рубками [Казеев и др., 2019, 2020], подверженных загрязнению промышленными выбросами [Кашулина и др., 2020; Ершов и др., 2022]. Важный прикладной характер имеют информационные системы агрометеорологического мониторинга температурного режима естественных и окультуренных почв [Беляев и др., 2017].

Экологический подход с измерением температуры горных почв в зависимости от экспозиции склонов или высотной поясности почвенного покрова реализован в разных горных районах России [Крючков, 1962; Шмакова и др., 2008; Старцев, 2016].

Актуальность изучения температурного режима в заполярных горах объясняется, с одной стороны, повышенным разнообразием горной флоры и фауны, с другой – уязвимостью их экосистем к воздействию антропогенных и природных факторов. Формированию в горах экотонных и аazonальных сообществ с видами растений и животных, не характерными для предгорных равнин, способствует сочетание специфических природных условий: высотной поясности почвенно-растительного покрова, разной экспозиции склонов, особого горного микроклимата. Для Хибин факт повышенного биологического разнообразия был установлен почти 100 лет назад сотрудниками первой научной горной станции «Тиетта» [Фридолин, 1934] и неоднократно подтвержден последующими исследованиями [Зенкова, 2020]. При-

мером ответной реакции горных экосистем на воздействие глобальных и региональных факторов является высотное продвижение границы леса на фоне повышения среднегодовых температур воздуха, фиксируемое в последние десятилетия от Алтае-Саянской горной провинции на юге Сибири до гор Европейского Северо-Востока России, Скандинавских гор и Хибин [Крючков, 1958а, б; Kullman, 2007; Шиятов, 2009; Моисеев и др., 2010, 2016; Петров и др., 2021; Тюткова и др., 2021; Каверин, 2022; Grigoriev et al., 2022].

В горах Мурманской области учеты температуры в отдельные годы с разной целью и с использованием различного оборудования проводили геофизики, ботаники, специалисты в области охраны окружающей среды [Крючков, 1962; Рябцева, 1975; Шмакова и др., 2008]. Основными направлениями наших исследований являются: оценка разнообразия и численности биоты (беспозвоночных животных и микроорганизмов) в природных горных почвах с учетом факторов широтной зональности, высотной поясности и экспозиции склонов; мониторинг восстановительных сукцессий почвенного покрова и населяющей его биоты в изменившихся условиях гидро-термического режима и инсоляции на горных вырубках и гарях; анализ сопряженной суточной, ежемесячной и годовой динамики окружающих температур и активности почвенной фауны; определение температурных предпочтений для видов фауны, обитающих на северной периферии ареалов в условиях короткого вегетационного периода и невысокой суммы положительных температур. Таким образом, сформированная информационная система по температуре горных почв Кольской Субарктики является инструментом, необходимым в первую очередь коллективу авторов для проведения комплексных экологических исследований заполярных горных экосистем, и согласно делению почвенных баз данных по их основному назначению [Белоусова, Мешалкина, 2009; Белоусова и др., 2013] относится к типу тематических рабочих баз данных (типу «рабочий стол»).

Обширный объем температурных данных, полученный авторами за десятилетний период, позволил сформировать представление о современной динамике температуры заполярных горных почв и ее влиянии на разнонаправленные тренды высотного распределения почвенной фауны и микробиоты, включая редкие и охраняемые виды и виды с разными термopеференциями [Зенкова, 2013а, б; Штабровская, Зенкова, 2017, 2018, 2019б, 2021].

Выявлено, что наиболее таксономически разнообразные и многочисленные сообщества беспозвоночных формируются в средней части горных склонов на высотах 350, 400 (450) м над ур. моря, которые характеризуются лучшим прогревом по сравнению с почвами подножий [Штабровская, 2022]. Несмотря на простую структуру высотной поясности заполярных гор и небольшую протяженность растительных поясов, даже высотная разница в 15–20 метров в пределах одного пояса может сопровождаться различиями температурного режима и приводить к формированию качественно иных фаунистических сообществ: с преобладанием подстилочных сапрофагов, демонстрирующих корреляционную связь с температурными показателями подстилки, или с доминированием аэриобионных насекомых, зависимых от прогрева воздуха.

В высотном ряду горно-растительных поясов петроземы пояса гольцовых каменистых пустынь ожидаемо оказались наиболее холодными по среднегодовым значениям и преобладанию в годовом цикле периода и суммы отрицательных температур. В соответствии с классификацией почв по тепловому режиму [Димо, 1972] на основе таких рассчитанных показателей, как длительность промерзания в годовом цикле, величина среднегодовой температуры (в интервале от 0 до +4 °C) и сумма летних температур (> +500 °C), подтверждена принадлежность этих слабо развитых почв на предельных высотных отметках Хибин к *типу длительно сезонно промерзающих, подтипу холодных почв* [Штабровская, Зенкова, 2021; Штабровская, 2022].

Установлено, что в условиях круглосуточно-го полярного дня, длящегося на широте Мурманской области со второй декады мая по вторую декаду июля, подавляющее число таксонов беспозвоночных (массовых и малочисленных, аэриобионных и подстилочных) проявляют наибольшую активность в послеполуденные и вечерние часы в соответствии с наибольшим прогревом воздуха, поверхности и толщи подстилки (в 13–14 ч. в мае, в 16–18 ч. в июне-июле). В холодные утренние часы с 3(4).00 до 8(9).00 активность животных минимальна [Зенкова, Штабровская, 2022a].

На примере заполярных горных почв, нарушенных разными видами антропогенного воздействия (вырубки, гари, горелые вырубки), подтверждена терморегулирующая функция лесной подстилки в процессах промерзания–оттаивания–прогрева почвенных профилей в годовой динамике; показана важность сохранения подстилки для поддержания гидро-термического режима, благоприятного для

восстановления исходного (горно-лесного) комплекса почвенной биоты и поддержания микробиологической активности почв [Зенкова и др., 2020; Зенкова, Штабровская, 2022b; Зенкова и др., 2022; Штабровская, Зенкова, 2022].

Для модельного сосняка на прихлебинской равнине прослежены более ранние сроки прогрева почвенного профиля по сравнению с профилями горных почв, а также более ранний весенний прогрев лесной подстилки до пороговых активных и эффективных температур и более поздние сроки ее осеннего остывания по сравнению с данными 40–50-летней давности [Штабровская, Зенкова, 2019a].

Заключение

По результатам многолетних полевых исследований в горах Мурманской области получен значительный объем температурных данных, сведенных в авторскую информационную систему, не имеющую аналогов для горных районов региона и зарегистрированную в Федеральной службе по интеллектуальной собственности «Роспатент» [Зенкова, Штабровская, 2022b]. Информационная система, ежегодно пополняемая измерениями температуры в мониторинговых и вновь обследуемых горных биоценозах, является ценным инструментом научной аналитической работы, позволяющим выявлять статистически достоверные тренды современной динамики температуры, анализировать ее зависимость от природных (высотная поясность, атмосферные процессы, экспозиция склонов) и антропогенных (пожары, вырубки) факторов и оценивать ее влияние на разнообразие, функциональную активность и распространение биоты в заполярных горах. Сформированная информационная система служит основой «Температурной базы данных горных почв Кольской Субарктики», планируемой к созданию в редакторе MS Access, что позволит автоматизировать работу с блоками температурных, фаунистических, микробиологических и химических почвенных данных.

Литература

- Белоусова Н. И., Мешалкина Ю. Л. Методические аспекты создания почвенно-атрибутивной базы данных // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2009. № 64. С. 23–33.
- Белоусова Н. И., Мешалкина Ю. Л., Васенев И. И. Типы почвенных атрибутивных баз данных // Почвоведение. 2013. № 10. С. 1214–1221. doi: 10.7868/S0032180X1310002X
- Беляев В. И., Бондарович А. А., Понькина Е. В., Щербинин В. В., Шмидт Г., Мацюра А. В., Кожанов Н. А.,

Рудев Н. В. Температурный режим воздуха и почвы по данным метеорологической и почвенно-гидрологической мониторинговой сети в Кулундинской равнине за вегетационные периоды 2013–2016 гг. // Вестник Алтайского гос. аграрн. ун-та. 2017. № 3(149). С. 30–37. doi: 10.14341/DM10167-7691

Государственный природный заповедник «Пасвик» [Электронный ресурс]. URL: <https://pasvik-reserve.ru/information> (дата обращения: 10.12.2020).

Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с.

Евдокимова Г. А., Зенкова И. В., Переверзев В. Н. Биодинамика процессов трансформации органического вещества в почвах Северной Фенноскандии. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 154 с.

Евдокимова Г. А., Зенкова И. В., Мозгова Н. П., Переверзев В. Н. Взаимодействия почвенных микроорганизмов и беспозвоночных животных при трансформации растительных остатков в почвах Северной Фенноскандии // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1199–1210.

Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 184 с.

Ершов В. В., Исаева Л. Г., Белова Е. А. Температуры воздуха и органогенного горизонта почвы в хвойных лесах Мурманской области на разных стадиях техногенной дигрессии. Авторск. св-во № 2022622567 от 19.10.2022.

Зенкова И. В. Влияние высотной поясности и экспозиции склонов на структуру почвенной фауны в горах заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов. Пушино: ИФХ и БПП РАН, 2013а. С. 113–115.

Зенкова И. В. Динамика параметров мезофауны в природных подзолах Кольского полуострова // Кольский полуостров на пороге III тысячелетия: проблемы экологии / Сб. научн. тр. Апатиты: КНЦ РАН, 2003. С. 107–118.

Зенкова И. В. К материалам по почвенной фауне Государственного природного заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Экология, эволюция и систематика животных: Сб. научн. тр. РГУ им. С. А. Есенина. Сер. зоол. Т. 3. Рязань: Голос губернии, 2012. С. 313–329.

Зенкова И. В. Летняя динамика температуры в горных почвах заповедника «Пасвик» // Вестн. МГТУ. Тр. Мурманского гос. техн. ун-та. 2013б. Т. 16, № 4. С. 715–724.

Зенкова И. В. Разнообразие почвенной фауны Хибин (итоги 10-летних исследований) // Труды ФНС ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 195–200. doi: 10.31241/FNS.2020.17.036

Зенкова И. В. Структура сообществ беспозвоночных животных в лесных подзолах Кольского полуострова: Дис. ... канд. биол. наук. Апатиты, 2000. 156 с.

Зенкова И. В., Штабровская И. М. Влияние гидро-термических условий на подстилочных беспозвоночных вырубках и гарей Хибин // Лесоведение. 2022б. № 4. С. 364–380. doi: 10.31857/S0024114822030123

Зенкова И. В., Пожарская В. В., Похилько А. А. Высотное распределение почвенной фауны Хибин // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1083–1093.

Зенкова И. В., Сошина А. С., Корнейкова М. В., Фокина Н. В. Микробиологические показатели почв на вырубках и гарях Хибин // Научные основы устойчивого управления лесами. М.: ЦЭПЛ РАН, 2022. С. 272–274.

Зенкова И. В., Штабровская И. М. Суточная и сезонная динамика температуры и активности фауны в почвенном ярусе заполярных лесов // Почвы – стратегический ресурс России. М.; Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2022а. Ч. 2. С. 62–64.

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

Зенкова И. В., Штабровская И. М., Усова Д. В. Почвенная фауна вырубков и гарей Хибин // Вест. МГТУ. Науки о Земле. 2020. Т. 23, № 2. С. 160–172. doi: 10.21443/1560-9278-2020-23-2160-172

Каверзнева Т. Т., Идрисова Д. И., Скрипник И. Л. Создание единой базы данных для определения температуры воздуха и температуры грунта в климатических условиях вечной мерзлоты // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. СПб.: СПб ун-т ГПСМЧС России, 2016. С. 185–187.

Каверин Д. А. Температурные режимы почв Субарктики Европейского Северо-Востока в условиях современных климатических и ландшафтных изменений: Дис. ... докт. геогр. наук. М., 2022. 380 с.

Каверин Д. А., Пастухов А. В., Мажитова Г. Г. Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород (Европейский Северо-Восток России) // Криосфера Земли. 2014. Т. 18, № 3. С. 23–32.

Казеев К. Ш., Колесников С. И., Дмитриев П. А. Изменение температуры почвы в модельных опытах с кострами разной интенсивности. Авторск. св-во № 2020622721 от 21.12.2020.

Казеев К. Ш., Солдатов В. П., Колесников С. И., Дмитриев П. А. Экологическое состояние почв среднегорий Адыгеи через 8 лет после сведения леса. Авторск. св-во № 2019622047 от 13.11.2019.

Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Коробейникова Н. М. Сравнительный анализ температуры горизонта О подзола на двух в различной степени деградированных участках техногенно трансформированной экосистемы (Кольский полуостров) // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1132–1143. doi: 10.31857/S0032180X20090087

Крючков В. В. Границы древесной растительности как фиксаторы климатических условий // Информ. сборн. О работе геогр. ф-та МГУ по МГГ. 1958б. № 3. 47 с.

Крючков В. В. Некоторые данные о температуре почв в различных растительных сообществах Мурманской области. М.; Л., 1962. 33 с.

Крючков В. В. Факторы, определяющие верхние пределы растительных поясов в Хибинских горах // Ботанический журнал. 1958а. Т. 43, № 6. С. 876–889.

Литвинова Т. И., Кашулина Г. М. Распределение температурных показателей по профилю серо-гумусовой почвы, Зап. Шпицберген // Труды КНЦ РАН. 2021. Т. 12, № 6(9). С. 281–286. doi: 10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.042

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

Мажитова Г. Г. Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты европейского северо-востока России // Почвоведение. 2008. № 1. С. 54–67.

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

Мировая реферативная база почвенных ресурсов – 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт / Под ред. чл.-корр. РАН С. А. Шобы. М.: МГУ, 2018. 216 с.

Моисеев П. А., Галимова А. А., Бубнов М. О., Дэви Н. М., Фомин В. В. Динамика древостоев и их продуктивности на верхнем пределе произрастания в Хибинах на фоне современных изменений климата // Экология. 2019. № 5. С. 341–355. doi: 10.1134/S0367059719050081

Моисеев П. А., Шиятов С. Г., Дэви Н. М. Программа мониторинга экотона верхней границы древесной растительности на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск, 2010. 82 с.

Моисеев П. А., Шиятов С. Г., Григорьев А. А. Климатогенная динамика древесной растительности на верхнем пределе ее распространения на хребте Большой Таганай за последнее столетие. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2016. 134 с.

Национальный Атлас почв Российской Федерации / Под ред. чл.-корр. РАН С. А. Шобы. М.: Астрель; АСТ, 2011. 632 с. URL: <http://soilatlas.ru> (дата обращения: 15.03.2023).

Павлов А. В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. 2008. Т. 13, № 3. С. 22–27.

Переверзев В. Н. Лесные почвы Кольского полуострова. М.: Наука, 2004. 232 с.

Переверзев В. Н. Генетические особенности почв природных поясов Хибинских гор (Кольский полуостров) // Почвоведение. 2010. № 5. С. 548–557.

Петров И. А., Шушпанов А. С., Голюков А. С. Динамика древесно-кустарниковой растительности в горной лесотундре Восточного Саяна // Экология. 2021. № 5. С. 372–379. doi: 10.31857/S0367059721050127

Репневская М. А. Режим влажности почв в сосновых лесах Кольского полуострова // Лесоведение. 1969. № 3. С. 78–82.

Рябцева К. М. Хибин. М.: Знание, 1975. 63 с.

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

Светов С. А., Куликов В. С., Слабунов А. И. Геологическое строение территории Зеленого пояса Фенноскандии (российская часть) // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 4. С. 32–40. doi: 10.17076/them1001

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

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

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

Старцев В. В. Годовая динамика температур органогенных горизонтов почв Приполярного Урала // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 2. С. 28–35.

Термохроны: технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elin.ru> (дата обращения: 25.01.2023).

Тютюкова Е. А., Петров И. А., Лоскутов С. Р. Отклик *Betula tortuosa* Ledeb и *Larix sibirica* Ledeb, произрастающих в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау, на изменение климата // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. Кострома: Костромской гос. ун-т, 2021. С. 67–69.

Ушакова Г. И. Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 150 с.

Федоров-Давыдов Д. Г., Давыдов С. П., Давыдова А. И., Остроумов В. Е., Холодов А. Л., Сорокинов В. А., Шмелев Д. Г. Температурный режим почв Северной Якутии // Криосфера Земли. 2018. Т. 22, № 4. С. 15–24. doi: 10.21782/KZ1560-74962018-4(15-24)

Фридолин В. Ю. Значение элементов рельефа как оазисов-убежищ реликтовой фауны в бассейне Финского залива, Хибинских горах и центральной Карелии // Тр. I Всесоюзн. геогр. съезда. Л., 1934. Вып. 3. С. 294–307.

Хибин: природа и человек / Отв. ред. Е. А. Боровичев, Н. Е. Королева. СПб.: Свое изд-во, 2022. 308 с. doi: 10.37614/978.5.4386.2149.2

Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 219 с.

Шмакова Н. Ю., Ушакова Г. И., Костюк В. И. Горно-тундровые сообщества Кольской Субарктики (эколого-физиологический аспект). Апатиты: КНЦ РАН, 2008. 167 с.

Штабровская И. М., Зенкова И. В. Годовая динамика температуры в почвенном покрове пояса гольцовых пустынь Хибин (Мурманская обл.) // Труды КНЦ РАН. Сер. Прикладная экология Севера. 2021. Вып. 9. Т. 12, № 6. С. 264–270. doi: 10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.039

Штабровская И. М., Зенкова И. В. Исследования температуры лесных подзолов Мурманской области: ретроспективный анализ и современные методы // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Сб. VII Всерос. науч. конф. Апатиты: КНЦ РАН, 2019а. С. 200–202.

Штабровская И. М., Зенкова И. В. К исследованию годичной динамики температуры Хибинского горного массива // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019б. № 16. С. 620–623. doi: 10.31241/FNS.2019.16.127

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

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.

Штабровская И. М., Зенкова И. В. Сравнительные исследования температуры подстилок на участках горнотундрового пояса Хибин с разной экспозицией // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. С. 304–307.

Штабровская И. М. Температурный режим и биоразнообразие заполярных горных систем: ВКР (аспир. дис.). Апатиты: КНЦ РАН, 2022. 139 с.

Щербакова А. А., Пономарева О. В., Щербакова К. О., Овезов Б. А. Создание и визуализация базы данных по результатам мониторинга Надымского геокриологического стационара // Деловой журнал Neftgaz.RU. 2022. № 3(123). С. 90–92.

Яковлев Б. А. Климат Мурманской области. Мурманск: Мурман. кн. изд-во, 1961. 200 с.

Grigoriev A. A., Shalaumova Y. V., Vyukhin S. O., Balakin D. S., Kukarskikh V. V., Vyukhina A. A., Moiseev P. A., Camarero J. J. Upward treeline shifts in two regions of Subarctic Russia are governed by summer thermal and winter snow conditions // *Forests*. 2022. Vol. 13, no. 2. doi: 10.3390/f13020174

Kullman L. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology // *J. Ecol.* 2007. Vol. 95. P. 41–52. doi: 10.1111/j.1365-2745.2006.01190.x

Zenkova I. V. Diversity of earthworms and ecology of the dominating species *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843 in the northern taiga Podzols of the Murmansk Region (Oligochaeta, Lumbricidae) // *Zool. Middle East. Suppl.* 2010. Vol. 2. P. 141–150. doi: 10.1080/09397140.2010.10638467

References

Belousova N. I., Meshalkina Yu. L. Methodological aspects of creating a soil attribute database. *Byull. Pochven. In-ta im. V. V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin*. 2009;64:23–33. (In Russ.)

Belousova N. I., Meshalkina Yu. L., Vasenev I. I. Types of soil attribute databases. *Pochvovedenie = Euras. Soil Sci.* 2013;10:1214–1221. doi: 10.7868/S0032180X1310002X (In Russ.)

Belyaev V. I., Bondarovich A. A., Pon'kina E. V., Shcherbinin V. V., Shmidt G., Matsyura A. V., Kozhanov N. A., Rudev N. V. Temperature regime of air and soil according to the meteorological and soil-hydrological monitoring network on the Kulunda Plain during the growing seasons of 2013–2016. *Vest. Altaiskogo gos. agrarnogo un-ta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017;3(149):30–37. (In Russ.)

Borovich E. A., Koroleva N. E. (eds.). The Khibiny: nature and man. St. Petersburg; 2022. 308 p. doi: 10.37614/978.5.4386.2149.2 (In Russ.)

Dimo V. N. The thermal regime of soils in the USSR. Moscow: Kolos; 1972. 360 p. (In Russ.)

Ershov V. V., Isaeva L. G., Belova E. A. Temperatures of air and organogenic soil horizon in coniferous forests of the Murmansk Region at different stages of technogenic digression. Author's certificate No. 2022622567 dated 19.10.2022. (In Russ.)

Evdokimova G. A., Mozgova N. P. Microorganisms of tundra and forest podzols of the Kola North. Apatity: KSC RAS; 2001. 184 p. (In Russ.)

Evdokimova G. A., Zenkova I. V., Mozgova N. P., Pereverzev V. N. Interactions of soil microorganisms and invertebrates during plant residues transformation in the soils of Northern Fennoscandia. *Pochvovedenie = Euras. Soil Sci.* 2004;10:1199–1210. (In Russ.)

Evdokimova G. A., Zenkova I. V., Pereverzev V. N. Biodynamics of organic matter transformation processes in the soils of Northern Fennoscandia. Apatity: KSC RAS; 2002. 154 p. (In Russ.)

Fedorov-Davydov D. G., Davydov S. P., Davydova A. I., Ostroumov V. E., Kholodov A. L., Sorokovikov V. A., Shmelev D. G. Temperature regime of soils in Northern Yakutia. *Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere*. 2018;22(4):15–24. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(15-24) (In Russ.)

Fridolin V. Yu. Significance of relief elements as oases-refuge of relict fauna in the basin of the Gulf of Finland, the Khibiny mountains and central Karelia. *Proceed. I All-Union Geographical Congress. Leningrad; 1934. Vol. 3. P. 294–307.* (In Russ.)

Grigoriev A. A., Shalaumova Y. V., Vyukhin S. O., Balakin D. S., Kukarskikh V. V., Vyukhina A. A., Moiseev P. A., Camarero J. J. Upward treeline shifts in two regions of Subarctic Russia are governed by summer thermal and winter snow conditions. *Forests*. 2022;13(2). doi: 10.3390/f13020174

Kashulina G. M., Litvinova T. I., Korobeinikova N. M. Comparative analysis of the temperature of the O horizon of podzol in two differently degraded areas of a technogenically transformed ecosystem (Kola Peninsula). *Pochvovedenie = Euras. Soil Sci.* 2020;9:1132–1143. doi: 10.31857/S0032180X20090087 (In Russ.)

Kaverin D. A. Temperature regimes of soils in the Subarctic of the European North-East under the conditions of modern climatic and landscape changes: DSc. (Dr. of Geogr.) thesis. Moscow; 2022. 380 p. (In Russ.)

Kaverin D. A., Pastukhov A. V., Mazhitova G. G. Temperature regime of tundra soils and underlying permafrost (European North-East of Russia). *Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere*. 2014;18(3):23–32. (In Russ.)

Kavertzneva T. T., Idrisova D. I., Skripnik I. L. Creation of a unified database for determining the air temperature and soil temperature in the climatic conditions of the eternal safety of permafrost. *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy: Mat-ly vser. nauch.-pr. konf. = Security service in Russia: Experience, problems, and prospects: Proceed. All-Russ. scientific practical conf.* St. Petersburg; 2016. P. 185–187. (In Russ.)

Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Dmitriev P. A. Soil temperature change in model experiments with fires of different intensity. Author's certificate No. 2020622721 dated 21.12.2020. (In Russ.)

Kazeev K. Sh., Soldatov V. P., Kolesnikov S. I., Dmitriev P. A. The ecological state of the soils of the middle mountains of Adygea 8 years after the deforestation.

Author's certificate No. 2019622047 dated 13.11.2019. (In Russ.)

Kryuchkov V. V. Factors determining the upper limits of vegetation belts in the Khibiny mountains. *Bot. Zhurnal*. 1958;43(6):876–889. (In Russ.)

Kryuchkov V. V. Some data on soil temperature in various plant communities of the Murmansk Region. Moscow-Leningrad; 1962. 33 p. (In Russ.)

Kullman L. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology. *J. Ecol.* 2007;95:41–52. doi: 10.1111/j.1365-2745.2006.01190.x

Litvinova T. I., Kashulina G. M. Distribution of temperature indicators along the profile of gray-humus soil, the island of Western Spitsbergen. *Trudy KNTs RAN = Transactions Kola Science Centre*. 2021;12(6-9):281–286. doi: 10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.042 (In Russ.)

Mazhitova G. G. Temperature regimes of soils in the zone of discontinuous permafrost in the European North-East of Russia. *Pochvovedenie = Euras. Soil Sci.* 2008;1:54–67. (In Russ.)

Mazyro M. M. Soils of the Khibiny tundra. Moscow: AN SSSR; 1936. Pt. 1. 70 p. (In Russ.)

Milovsky A. V., Kononov O. V. Mineralogy. Moscow: MGU; 1982. 312 p. (In Russ.)

Moiseev P. A., Galimova A. A., Bubnov M. O., Devi N. M., Fomin V. V. Dynamics of forest stands and their productivity at the upper limit of growth in the Khibiny against the background of modern climate change. *Ekologiya = Russian Journal of Ecology*. 2019;5:341–355. doi: 10.1134/S0367059719050081 (In Russ.)

Moiseev P. A., Shiyatov S. G., Grigoriev A. A. Climatogenic dynamics of woody vegetation at the upper limit of its distribution on the Bolshoy Taganay Ridge over the last century. *Ekaterinburg: IERiZh UrO RAN*; 2016. 134 p. (In Russ.)

Pasvik Nature Reserve. URL: <https://pasvik-reserve.ru/information> (accessed: 10.12.2020).

Pavlov A. V. Trends in modern changes in soil temperature in the north of Russia. *Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere*. 2008;13(3):22–27. (In Russ.)

Petrov I. A., Shushpanov A. S., Golyukov A. S. Dynamics of tree and shrub vegetation in the mountain forest-tundra of the Eastern Sayan. *Ekologiya = Russian Journal of Ecology*. 2021;5:372–379. doi: 10.31857/S0367059721050127 (In Russ.)

Pereverzev V. N. Genetic features of soils in natural belts of the Khibiny Mountains (Kola Peninsula). *Pochvovedenie = Euras. Soil Sci.* 2010;5:548–557. (In Russ.)

Pereverzev V. N. Forest soils of the Kola Peninsula. Moscow: Nauka; 2004. 232 p. (In Russ.)

Repnevskaya M. A. Soil moisture regime in pine forests of the Kola Peninsula. *Lesovedenie = Forest Science*. 1969;3:78–82. (In Russ.)

Ryabtseva K. M. The Khibiny. Moscow: Znanie, 1975. 63 p. (In Russ.)

Shcherbakova A. A., Ponomareva O. V., Shcherbakova K. O., Ovezov B. A. Creation and visualization of a database based on the monitoring results of the Nadym geocryological station. *Delovoi zhurnal Neftegaz.RU = Business Magazine 'Neftegaz.RU'*. 2022;3(123):90–92. (In Russ.)

Shiyatov S. G. Dynamics of tree and shrub vegetation in the mountains of the Polar Urals under the influence of current climate changes. *Ekaterinburg: Ural Branch of RAS*; 2009. 219 p. (In Russ.)

Shmakova N. Yu., Ushakova G. I., Kostyuk V. I. Mountain-tundra communities of the Kola Subarctic (ecological and physiological aspect). Apatity: KSC RAS; 2008. 167 p. (In Russ.)

Shoba S. A. (ed.). National Atlas of Soils of the Russian Federation. Moscow: Astrel', AST; 2011. 632 p. URL: <http://soilatlas.ru> (accessed: 15.03.2023). (In Russ.)

Shoba S. A. (ed.). World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Moscow: MGU; 2018. 216 p.

Shtabrovskaya I. M. Temperature regime and biodiversity of polar mountain systems: Graduation thesis. Apatity: KSC RAS; 2022. 139 p. (In Russ.)

Shtabrovskaya I. M., Zenkova I. V. Annual temperature dynamics in the soil cover of the Khibiny bald desert belt (Murmansk Region). *Trudy KNC RAN. Ser. Prikladnaya ekologiya Severa = Transactions Kola Science Centre RAS. Applied Ecology of the North*. Iss. 9. 2021;12(6):264–270. doi: 10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.039 (In Russ.)

Shtabrovskaya I. M., Zenkova I. V. On the study of the annual temperature dynamics of the Khibiny mountain range. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN = Proceedings of the Fersman Scientific Session IG KSC RAS*. 2019;16:620–623. doi: 10.31241/FNS.2019.16.127 (In Russ.)

Shtabrovskaya I. M., Zenkova I. V. Summer temperatures of soil profiles in clearings and burnt areas of the Khibiny. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN = Proceedings of the Fersman Scientific Session IG KSC RAS*. 2022;19:418–423. doi: 10.31241/FNS.2022.19.076 (In Russ.)

Semko A. P. Hydrothermal regime of soils in the forest zone of the Kola Peninsula. Apatity: Kola Br. AS USSR; 1982. 134 p. (In Russ.)

Semko A. P., Sergeev B. F. Temperature regime of virgin and cultivated soils in the conditions of the Far North. *Biologicheskie protsessy i mineral'nyi obmen v pochvakh Kol'skogo p-ova = Biological processes and mineral metabolism in soils of the Kola Peninsula*. Apatity: Kola Br. AS USSR; 1974. P. 3–25. (In Russ.)

Smirnov V. I. A course of higher mathematics. Vol. I. St. Petersburg; 2008. 624 p. (In Russ.)

Startsev V. V., Zhangurov E. V., Dymov A. A. Annual temperature dynamics of organic soil horizons in the Subpolar Urals. *Izv. Komi NTs Uro RAN = Proceedings Komi SC UrB RAS*. 2017;2:28–35. (In Russ.)

Svetlakov A. A., Kozyreva E. A., Sergeev D. O. Temperature of rocks in the current natural and climatic conditions of the steppe in the Baikal region (on the example of Olkhon Island). *Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere*. 2021;25(5):13–21. doi: 10.15372/KZ20210502 (In Russ.)

Svetov S. A., Kulikov V. S., Slabunov A. I. Geological structure of the territory of the Green Belt of Fennoscandia (Russian part). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of KarRC RAS*. 2019;4:32–40. doi: 10.17076/them1001 (In Russ.)

Thermochrons: technical characteristics. URL: <http://www.elin.ru> (accessed: 25.01.2023). (In Russ.)

Tyutkova E. A., Petrov I. A., Loskutov S. R. Response of *Betula tortuosa* Ledeb and *Larix sibirica* Ledeb growing in the ecotone of the alpine forest-tundra of the Kuznetsk Alatau to climate change. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa: Mat-ly IV Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. = Current problems and prospects for developing of the timber industry complex: Proceedings IV Int. scientific practical conf.* Kostroma: KGU; 2021. P. 67–69. (In Russ.)

Ushakova G. I. Biogeochemical migration of elements and soil formation in the forests of the Kola Peninsula. Apatity: KSC RAS; 1997. 150 p. (In Russ.)

Yakovlev B. A. Climate of the Murmansk Region. Murmansk: Murm. kn. izd-vo; 1961. 200 p. (In Russ.)

Zenkova I. V. Diversity of earthworms and ecology of the dominating species *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843 in the northern taiga Podzols of the Murmansk Region (Oligochaeta, Lumbricidae). *Zool. Middle East. Suppl.* 2010;2:141–150. doi: 10.1080/09397140.2010.10638467

Zenkova I. V. Diversity of the soil fauna of the Khibiny (results of the 10-year research). *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN = Proceedings of the Fersman Scientific Session IG KSC RAS.* 2020;17:195–200. doi: 10.31241/FNS.2020.17.036 (In Russ.)

Zenkova I. V. Dynamics of mesofauna parameters in natural podzols of the Kola Peninsula. *Kola Peninsula on the threshold of the III millennium: Problems of ecology.* Apatity: KSC RAS; 2003. P. 107–118. (In Russ.)

Zenkova I. V. Impact of altitudinal zonality and exposure of slopes on the structure of soil fauna in the mountains of the Pasvik Nature Reserve (Murmansk Region). *Raznoobrazie lesnykh pochv i bioraznoobrazie lesov: Mater-ly V Vseros. nauch. konf. po lesnomu pochvovedeniyu = Forest soil diversity and forest biodiversity: Proceedings V All-Russ. scientific conf. on forest soil science.* Pushchino: IFKh i BPP RAN; 2013a. P. 113–115. (In Russ.)

Zenkova I. V. On the description of the summer dynamics of litter temperature in the mountains of the Khibiny massif (Murmansk Region). *Fundamental'nye i prikladnye voprosy lesnogo pochvovedeniya: Mater-ly VI Vseros. nauch. konf. po lesnomu pochvovedeniyu = Fundamental and applied issues of forest soil science: Proceedings VI All-Russ. scientific conf. on forest soil science.* Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN; 2015. P. 85–87. (In Russ.)

Zenkova I. V. Summer temperature dynamics in the mountain soils of the Pasvik Nature Reserve. *Vest. MGTU. Tr. Murmanskogo gos. tekhn. un-ta = Proceedings Murmansk State Tech. University.* 2013;16(4): 715–724. (In Russ.)

Zenkova I. V. The structure of invertebrate animal communities in forest podzols of the Kola Peninsula: PhD (Cand. of Biol.) thesis. Apatity; 2000. 156 p. (In Russ.)

Zenkova I. V. To materials on the soil fauna of the Pasvik State Nature Reserve (Murmansk Region). *Ekologiya, evolyutsiya i sistematika zhivotnykh = Ecology, evolution, and taxonomy of animals: Proceeding Esenin RSU. Zool. Series.* Vol. 3. Ryazan': Golos gubernii; 2012. P. 313–329. (In Russ.)

Zenkova I. V., Pozharskaya V. V., Pokhilko A. A. Materials on the soil fauna of the Khibiny mountainrange on the example of the Mount Vudavrchorr. *Vest. MGTU. Tr. Murmanskogo gos. tekhn. un-ta = Proceedings Murmansk State Tech. University.* 2009;12(3):516–524. (In Russ.)

Zenkova I. V., Shtabrovskaya I. M. Temperature database of mountain soils of the Kola Subarctic. Author's certificate No. 2022622566 dated 19.10.2022. (In Russ.)

Zenkova I. V., Pozharskaya V. V., Pokhilko A. A. Altitudinal distribution of the Khibiny soil fauna. *Pochvovedenie = Euras. Soil Sci.* 2011;9:1083–1093. (In Russ.)

Zenkova I. V., Shtabrovskaya I. M. Diurnal and seasonal dynamics of temperature and fauna activity in the soil layer of polar forests. *Pochvy – strategicheskii resurs Rossii: Sb. VIII s"ezda Ob-va pochvovedov im. V. V. Dokuchaeva = Soils – a strategic resource of Russia: Proceedings VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society.* Moscow-Syktyvkar: IB FIC Komi NTs UrO RAN; 2022. Pt. 2. P. 62–64. (In Russ.)

Zenkova I. V., Shtabrovskaya I. M. Influence of hydrothermal conditions on litter invertebrate clearings and burnt areas of the Khibiny. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science.* 2022;4:364–380. doi: 10.31857/S0024114822030123 (In Russ.)

Zenkova I. V., Soshina A. S., Korneikova M. V., Fokina N. V. Microbiological indicators of soils in clearings and burnt areas of the Khibiny. *Nauchnye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami: Mater. Vseros. nauch. konf. = Scientific foundations for sustainable forest management: Proceedings All-Russ. scientific conf.* Moscow: TsEPL RAN; 2022. P. 272–274. (In Russ.)

Zenkova I. V., Shtabrovskaya I. M., Usova D. V. Soil fauna of clearings and burnt areas of the Khibiny. *Vest. MGTU. Nauki o Zemle = Proceedings Murmansk State Tech. University. Earth Sciences.* 2020;23(2):160–172. doi: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172 (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 17.03.2023; принята к публикации / accepted: 14.07.2023.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Штабровская Ирина Михайловна

инженер Лаборатории наземных экосистем

e-mail: ishtabrovskaya@mail.ru

Зенкова Ирина Викторовна

канд. биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник
Лаборатории наземных экосистем

e-mail: zenkova.home@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Shtabrovskaya, Irina

Engineer

Zenkova, Irina

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Leading Researcher