

Летние температуры почвенных профилей на вырубках и гарях Хибин

Штабровская И.М., Зенкова И.В.

Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, ishtabrovskaya@mail.ru

Аннотация. Представлены первичные данные по температуре почвенных профилей на глубине 5, 10, 15, 20 и 40 см, полученные в полевой сезон 2021 г. на мониторинговых участках в долине реки Кунийок на севере Хибин. Выявлены два тренда распределения *температур* по профилю горных почв: отрицательный летний и положительный осенний, скоррелированные с сезонной динамикой температуры атмосферного воздуха. Установлено дифференцирующее влияние периода с активными температурами $\geq +10^\circ\text{C}$ на степень прогрева горных почв по годам и в зависимости от степени их нарушения и лучший прогрев профиля почв открытых участков (вырубок) по сравнению с лесными биотопами. На примере вырубок и гарей Хибин подтверждена важность сохранения лесной подстилки для поддержания теплового баланса горных почв.

Ключевые слова: почвенный профиль, температура, термохроны, вырубки, гари, Хибинские горы.

Summer temperatures in soil profiles on felling and burnt areas of the Khibiny Mountains

Shtabrovskaya I.M., Zenkova I.V.

Institute of North Industrial Ecology Problems of KSC RAS, Apatity, ishtabrovskaya@mail.ru

Abstract. Primary data are presented on the temperature of soil profiles at a depth of 5, 10, 15, 20 and 40 cm obtained during the 2021 field season at four monitoring sites in the Kuniyok River valley in the north of the Khibiny. Two trends of temperature distribution along the mountain soils profile were revealed, i.e. a negative summer and a positive autumn, correlated with seasonal dynamics of atmospheric air temperature. The differentiating influence was established of the period with active temperatures of $\geq +10^\circ\text{C}$ on degree of warming of mountain soils over the years and depending on the disturbance degree. The best warming over the entire studied soil profile of open areas (forest felling) compared with forest biotopes. The importance of preserving the forest litter for maintaining the thermal balance of polar mountain soils is confirmed on the example of forest felling and burnt areas in the Khibiny.

Keywords: soil profile, temperature, temperature sensors, forest felling, burnt areas, Khibiny Mountains.

Введение

Одно из направлений почвенно-зоологических исследований в Хибинах – мониторинг восстановления почвенного покрова в межгорной долине реки Кунийок, нарушенного промышленной рубкой горно-таежного леса в 2012 г. и обширным низовым пожаром, возникшим на неочищенной вырубке летом 2013 г. (Новости-24..., 2012). Четыре мониторинговых участка заложены нами в лесных (контрольный и горелый сосняк) и открытых (горелая и негорелая вырубки) биотопах долинного плакора ($67^\circ50'$ с.ш., $33^\circ39'$ в.д.) на высоте 220–235 м над ур. м. и исследованы с трехлетней периодичностью: в 2015 (через 2 года после вырубки и 3 года после пожара), 2018 и 2021 гг. (спустя 5–6 и 8–9 лет после воздействия). Объектами мониторинговых исследований являются показатели горных почв (температура, влажность, химический состав подстилки) и населяющая их биота – беспозвоночные животные и микроорганизмы (Зенкова, 2016; Зенкова и др., 2020, 2022; Зенкова, Штабровская, 2022). В 2021 г. появилась техническая возможность установки серии термодатчиков в почвенные профили, что позволило получить данные по годовой динамике температур в горных почвах и оценить влияние разных видов антропогенной трансформации на процессы промерзания, оттаивания и прогрева почвенных горизонтов в условиях заполярного горного массива. Первичные сравнительные данные по температуре почвенных профилей на мониторинговых участках Хибин получены в полевой сезон 2021 г. и обсуждаются в настоящем сообщении.

Объекты и методы

Исследование вертикального распределения температур (Т) проводили в почвах четырех мониторинговых участков – соснового леса (С), горелого сосняка (ГС), горелой (ГВ) и незатронутой

пожаром (В) вырубкой (рис. 1). Лесные и открытые участки удалены друг от друга на расстояние 1 км, участки в парах «горелый – негорелый» (С–ГС и В–ГВ) – на 300 м.

Контрольный горный сосняк с участием ели характеризуется мощной (до 10 см) влажной подстилкой и гетерогенным ярусом из кустарничков, мхов и лишайников (рис. 1 б). Горелый сосняк спустя 9 лет после воздействия зарастает черникой, во влажных микропонижениях – брусникой. Встречается редкий подрост березы высотой до 40 см (рис. 1 в,г). Обе *вырубки* завалены высохшими стволами и ветками, труднопроходимы. Негорелая *вырубка* активно зарастает березой (рис. 1 д). Подстилка из кустарничков, мхов и лишайников хорошо сохранилась и характеризуется признаками оторфовывания (рис. 1 е). Горелая *вырубка*, испытавшая воздействие два года подряд, выглядит наиболее нарушенной: подрост березы выражен слабо, наблюдаются куртины злаков и пятна мхов, единично встречаются растения иван-чая (рис. 1 з). Подстилка эродирована до минеральной массы, минеральные горизонты трансформированы и переуплотнены до состояния, не позволившего при закладке термохронов заглубить металлический почвенный бур ниже 20 см (рис. 1 з).



Рис. 1. Мониторинговые участки в долине реки Кунийок на севере Хибин: а – расположение участков; б – контрольный сосняк С; в – горелый сосняк ГС; г – протлевшая подстилка ГС; д – вырубка В; е – подстилка вырубки; ж – горелая вырубка ГВ; з – почвенный покров ГВ; и – закладка термохронов в почвенный профиль.

Fig. 1. Monitoring sites in the Kuniyok River valley in the northern Khibiny: а – sites location; б – control pine forest С; в – burnt pine forest ГС; г – smoldering litter of ГС; д – pine felling В; е – litter of felling; ж – burnt felling ГВ; з – soil of ГВ; и – the thermosensors installation in soil profile.

Для пролонгированного измерения T использовали автоматические термохроны серии DS1921-F5 с диапазоном $-25...+40^{\circ}\text{C}$, запрограммированные на регистрацию каждые 2 часа. Их прикручивали к тонким деревянным рейкам с шагом 5 см и закладывали в почвенные профили участков на глубину 5, 10, 15, 20 и 40 см (рис. 1 и). Углубления для реек с термохронами проделывали металлическим почвенным буром диаметром 2 см. Температуру атмосферного воздуха измеряли на высоте 2 м над поверхностью почвы. Период измерений составил 70 сут с начала июля до середины сентября 2021 г., как и в полевые сезоны 2015 и 2018 гг. Всего было заложено 22 датчика, получено более 17 тыс. показаний.

Для каждого глубинного уровня вычисляли среднесуточные, среднемесячные значения и средние за период с июля по сентябрь. Достоверность различий T средних между участками оценивали по t -крит. Стьюдента, различий в динамике T за 70 суток – методом дисперсионного анализа ANOVA с F -крит. Фишера. Зависимость T почвенных горизонтов и атмосферного воздуха определяли корреляционным анализом.

Результаты и обсуждение

Сравнение полевых сезонов 2015, 2018 и 2021 гг. за сходный период измерения T органогенного горизонта горных почв с июля по сентябрь (70 сут) показало, что 2015 г. был более холодным, 2021 г. – наиболее теплым. Максимальный прогрев верхнего горизонта на мониторинговых участках достигал в 2015 г. $+12.0...+12.6^{\circ}\text{C}$, в 2018 $+15.9...+19.2^{\circ}\text{C}$, в 2021 $+24.8...+29.8^{\circ}\text{C}$. Средние за июль-сентябрь T подстилки варьировали от $+9.2^{\circ}\text{C}$ в 2015 г. до $+13.1^{\circ}\text{C}$ в 2018 г.

Дифференцирующее по годам влияние на динамику T органогенного горизонта в горной долине оказывал период с активными $T \geq +10^{\circ}\text{C}$. В теплые сезоны 2018 и 2021 гг. он наблюдался в первые недели июля, в прохладный 2015 г. – большую часть августа (с 5 по 26/VIII, всего 22 дня). Различия в динамике T между участками сводились к тому, что в более теплые сезоны 2018 и 2021 гг. температура в 5 см слое была достоверно выше на участках с напочвенной растительностью (C и B), что доказывает важность ее наличия для поддержания температурного баланса почвы.

В 2021 г. прослежены два тренда распределения T по профилю горных почв: летний, в июле–августе, в виде ее постепенного снижения от верхних горизонтов к нижним, связанный с прогревом почв от более теплого атмосферного воздуха, и осенний, сентябрьский, в виде обратного распределения T по профилю, обусловленный более быстрым остыванием верхних горизонтов (рис. 2). Это соответствует представлениям о преобладании отрицательного температурного градиента в летний сезон и положительного – в осенний в подзолистых почвах таежной подзоны Карело-Кольской провинции по классификации В.Н. Димо (1972).

Прямая зависимость сезонной динамики T почв и воздуха подтверждена достоверными корреляции, наиболее высокими ($r \geq 0.99$) в 5 см *горизонте негорелых* участков с лесной подстилкой (C и B). С глубиной зависимость динамики T воздуха и почвы снижалась. В июле достоверные различия с T более прогретого воздуха наблюдались в нижней части профиля на 15–40 см ($T_{st} \geq 2.96$, $p \geq 0.05$). В сентябре, на фоне остывания верхних горизонтов, достоверные различия с T воздуха наблюдались на всех участках с глубины 10 см и ниже ($T_{st} \geq 2.86$ при $p \leq 0.05$).

Тренд снижения T от верхних горизонтов почвы к нижним в июле был сходным на всех участках (рис. 3). Перепад среднемесячных T от органогенного до минерального горизонта на глубине 40 см составил 6.3 и 6.1°C в C и на B и был менее выражен на горячих (5.3°C в $ГС$ и 3.8°C на $ГВ$) за счет лучшего прогрева и более высоких максимальных температур трансформированных горизонтов. Все нарушенные участки в июле лучше прогревались по всему почвенному профилю по сравнению с контрольным C (на $1.4...2.5^{\circ}\text{C}$), что объяснялось разреженностью или сведением древостоя, отсутствием мохово-кустарничкового яруса, и, следовательно лучшим поглощением тепла поверхностью почвы.

Наиболее высокие средние и максимальные T зарегистрированы в июле на $ГВ$, лишенной и яруса напочвенной растительности, и органогенного горизонта. Согласно зоологическим исследованиям, этот самый нарушенный участок привлекал наибольшее число свето- и теплолюбивых

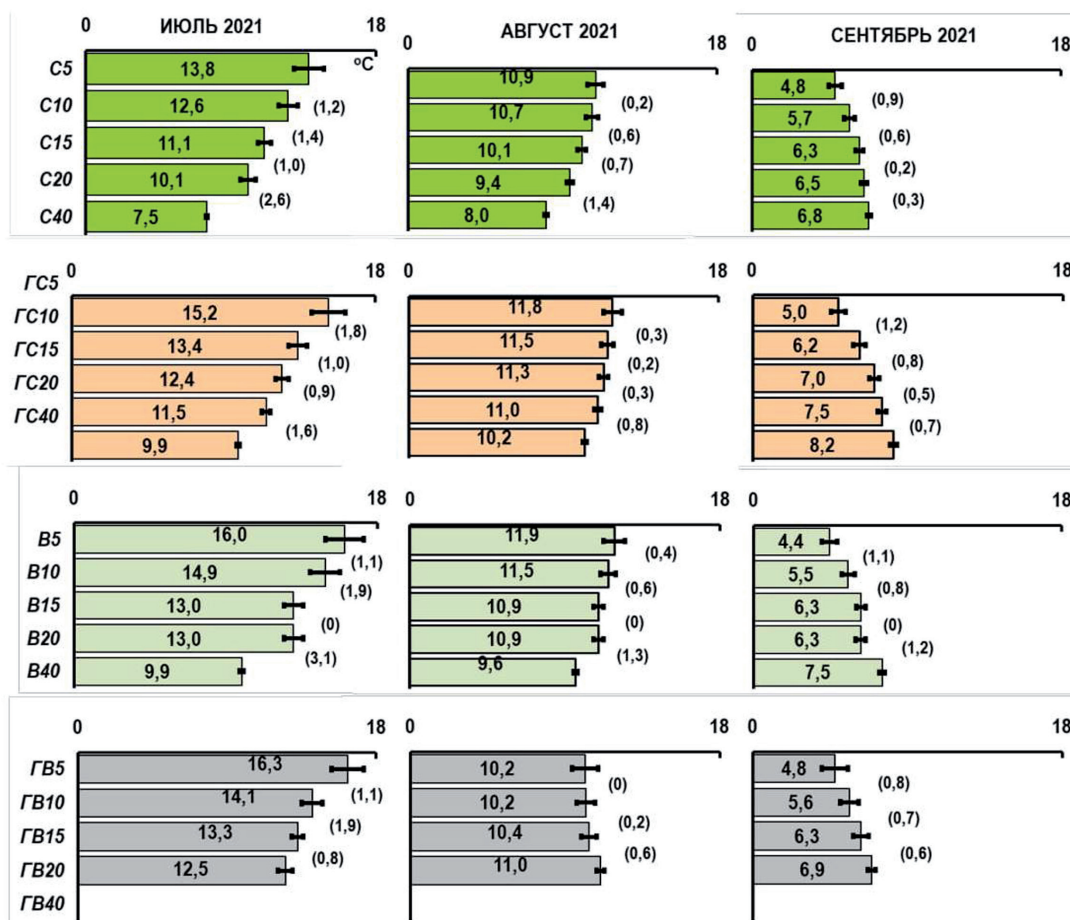


Рис. 2. Распределение среднемесячных температур июля, августа и сентября по профилю горных почв. По оси ОУ указана глубина закладки термохронов, в скобках – разница среднемесячных температур между соседними горизонтами.

Fig. 2. Distribution of average monthly temperatures of mountain soils horizons in July, August and September. The depth of temperature sensor installation indicated on the OY axis. The difference in average monthly temperatures between neighboring horizons is bracketed.

видов насекомых, нетипичных для природных экосистем Хибин, таким образом, обогащая локальную фауну этого заполярного горного массива и Мурманской области в целом. Достоверно высокая численность личинок жужелиц и стафилинид в почвенных пробах свидетельствуют, что гари благоприятны для размножения этих жуков и развития их личиночных стадий (Зенкова и др., 2020, 2022).

В августе температурные различия между горизонтами сглаживались в профиле всех участков, перепады T снизились до $1.6...2.3^{\circ}\text{C}$. Тренд лучшего прогрева почвенного профиля по сравнению с контрольным C сохранялся на двух нарушенных участках, имеющих подстилку – $ГС$ и $В$. На $ГВ$, почвенный покров которой был эродирован до минеральной массы, уже наблюдалось остывание верхних горизонтов на глубине $5-15$ см на $0.6-0.8^{\circ}\text{C}$ по сравнению с 20 см (рис. 2). Этот факт подтверждает теплорегулирующую роль лесной подстилки в заполярных лесах (Семко, 1982) и важность ее сохранения для поддержания теплового баланса почвы при разных видах антропогенного воздействия.

В сентябре, на фоне остывания верхних почвенных горизонтов на всех участках, более прогретым профилем на всех глубинах выделялся $ГС$, в котором средние T в сентябре были выше на $0.2...1.4^{\circ}\text{C}$, главным образом, за счет максимальных T на разной глубине: $+8.0...+9.4^{\circ}\text{C}$ против $+7.5...+8.2^{\circ}\text{C}$ в $С$; $+7.0...+8.5^{\circ}\text{C}$ на $В$ и $+6.5...+8.8^{\circ}\text{C}$ на $ГВ$.

В целом средняя за июль-сентябрь 2021 г. T горных почв на глубине $5, 10, 15, 20$ и 40 см варьировала от $+9.3...+12.0^{\circ}\text{C}$ и была наименьшей в профиле контрольного сосняка: $+7.6$ до $+10.9^{\circ}\text{C}$

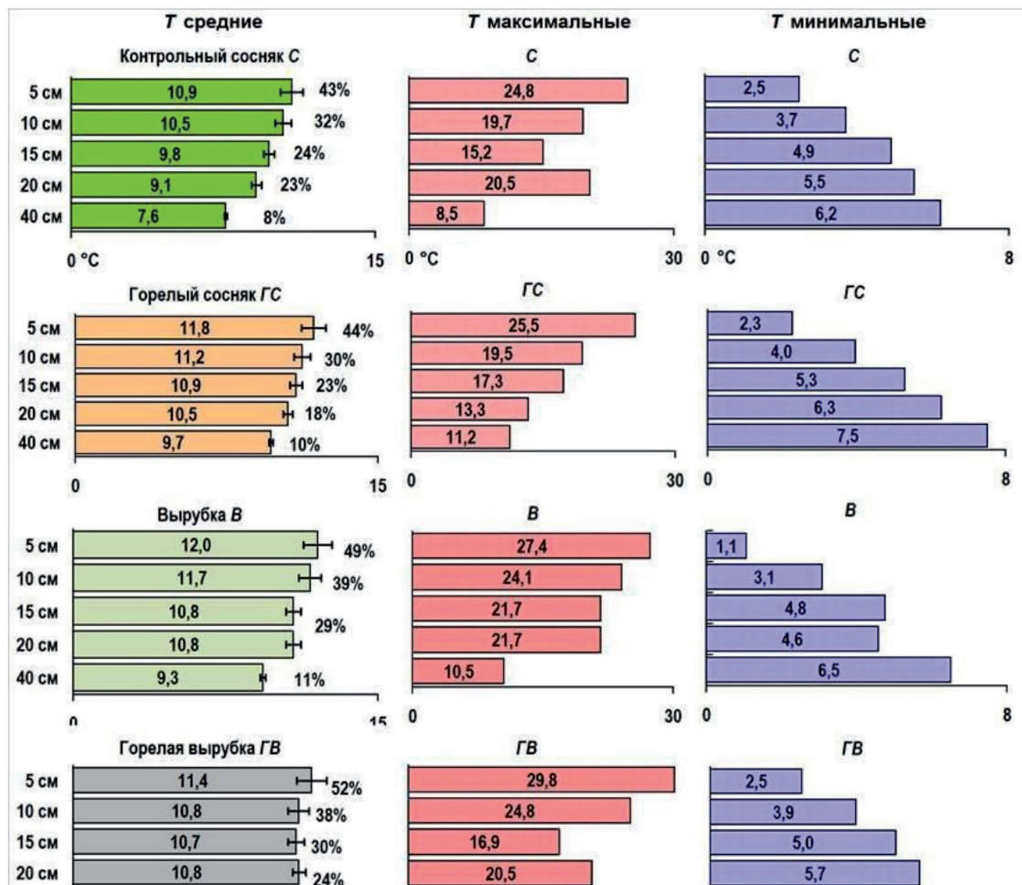


Рис. 3. Распределение средних, максимальных и минимальных температур в профиле горных почв с июля по сентябрь 2021 г. В процентах указано сезонное варьирование (коэф. вариации).

Fig. 3. Distribution of average, maximum and minimum temperatures in the profile of mountain soils from July to September, 2021. Seasonal variation of soil temperature is indicated in % (CV).

(рис. 3). Различия с контролем были связаны с максимальными Т почв: при максимальных значениях Т воздуха, сопоставимых на всех участках (+27.6...+28.4 °С), прогрев почв на разных глубинах был большим на нарушенных лесных участках и вырубках: +19.9...+29.8 °С против +15.2 °С в контрольном профиле. На горях (ГС и ГВ) сезонному изменению Т более подвержены верхние 5 и 10 см почвы. На участках с сохранившейся подстилкой (С и В) температурная разница между 5 и 10 см не очевидна, но выражена на глубине 10 и 15 см. Уменьшение вариальности температуры с глубиной за счет максимальных Т (от 43 до 10 % в профиле почв лесных биотопов и от 51 до 11 % в профиле вырубок) отражают соответствующие коэффициенты вариации (рис. 3).

Заключение

Исследование температуры на лесных вырубках и горях Хибин спустя 8–9 лет после воздействия показали, что дифференцирующее влияние на степень прогрева горных почв как по годам, так и в зависимости от степени их нарушения, оказывает период с активными температурами $\geq +10^{\circ}\text{C}$. В этот период участки, нарушенные в разной степени (горелый сосняк, вырубка и горелая вырубка), прогреваются лучше по всему почвенному профилю, по сравнению с контрольным сосняком, а среди нарушенных лесной биотоп – разреженный горелый сосняк – уступает открытым вырубкам, лишенным древесного полога. Дополнительно, осенний сезон определяет различие минимальных температур в почвах участков, особенно в верхней 5–10 см толще. Почвенный профиль горелой вырубки, нарушенной два года подряд и лишенной древесного яруса и лесной подстилки, отличается

нестабильным тепловым режимом, прогреваясь до наиболее высоких температур, но непродолжительной период, и меняя отрицательный температурный тренд на положительный до глубины 15 см уже в августе. Тем самым подтверждается важность сохранения лесной подстилки на нарушенных территориях для поддержания стабильного температурного баланса горных почв.

Выполнение исследований (закупка термхронов и экспедиционные выезды в Хибинь) осуществляется, благодаря финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (конкурс «Аспиранты», проект № 20-34-90135 «Температурный режим почв как фактор разнообразия и активности почвенной биоты в горных экосистемах Кольской Субарктики»).

Литература

1. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М. Изд-во: Колос. 1972. 360 с.
2. Зенкова И.В. Почва и почвенная фауна пирогенного леса: последствия низового пожара в Хибинском горном массиве // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. В 2-х ч. М.- Белгород. 2016. Ч. I. С. 221–222.
3. Зенкова И.В., Сошина А.С., Корнейова М.В., Фокина Н.В. Микробиологические показатели почв на вырубках и гарях Хибин // Научные основы устойчивого управления лесами: Мат-лы Всерос. науч. конф. с межд. уч. М. Изд-во: ЦЭПЛ РАН. 2022. С. 1–3 (в печати).
4. Зенкова И.В., Штабровская И.М. Влияние гидротермических условий на подстилочных беспозвоночных вырубков и гарей Хибин // Лесоведение. 2022. № 3. С. 1–17. doi: 10.31857/S0024114822030123.
5. Зенкова И.В., Штабровская И.М., Усова Д.В. Почвенная фауна вырубков и гарей // Вестник МГТУ. 2020. Т. 23. № 6. С. 160–172. doi: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172.
6. Новости-24 от 29.08.12: В Мурманской области в Хибинах вырублено около 100 га леса // Комсомольская правда–Мурманск. URL: <https://www.murmansk.kp.ru/online/news/1234173/> (Дата обращения: 01.10.2021).
7. Семко А.П. Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова. Апатиты. Изд-во: КФАН СССР. 1982. 134 с.