

УДК 574.42:592:631.468/631.43

## Почвенная фауна вырубок и гарей Хибин

И. В. Зенкова\*, И. М. Штабровская, Д. В. Усова

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;  
e-mail: i.zenkova@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7712-6846>*

*Информация о статье*      *Реферат*

Поступила в редакцию  
14.04.2020;

получена  
после доработки  
28.05.2020

*Ключевые слова:*

лесная подстилка,  
эдафические факторы,  
почвенная фауна,  
разнообразие,  
обилие,  
вырубки,  
гари,  
Хибинский  
горный массив

В рамках мониторинга восстановления антропогенно нарушенного почвенного покрова и населяющей его фауны в условиях заполярного горного массива проведено очередное (спустя 5–6 лет после воздействия) обследование сосновых вырубок и гарей в межгорной долине реки Кунийок на севере Хибин. Установлено изменение эдафических факторов, определяющих разнообразие и обилие почвенной фауны: снижение кислотности (с pH 3,8 до 4,2), содержания общего углерода и азота в результате пожара и устойчивое повышение влажности органогенного горизонта на вырубке и в горелом сосняке. В почвенных пробах 4-х участков учтены представители 20 таксономических групп беспозвоночных животных при большем разнообразии и минимальной численности в горелом сосняке. Выявлено достоверное снижение численности почвенной фауны в результате всех видов антропогенного воздействия при незначимых различиях этого показателя между нарушенными участками – горелым лесом, вырубкой, горелой вырубкой. В паре соседних мониторинговых участков контрольный – горелый сосняк прослежено усиление различий в структуре почвенного населения по сравнению с обследованием этих территорий в 2015 г., т. е. через 2 года после низового пожара. Подтверждена важность наличия органогенного горизонта (подстилки) для сохранения исходной "лесной" структуры почвенной фауны и ее экосистемных функций и для поддержания гидротермического режима почвы, благоприятного для ее восстановления. Выявлено привлечение горелыми территориями (вырубкой и, в меньшей степени, основным лесом) свето- и теплолюбивых видов жуличиц и стафилинид, нехарактерных для Хибин и, следовательно, обогащение локальной фауны этого заполярного горного массива и Мурманской области в целом.

*Для цитирования*

Зенкова И. В. и др. Почвенная фауна вырубок и гарей Хибин. Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 2. С. 160–172. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172.

## Soil fauna of cut and burnt forest areas in the Khibiny Mountains

Irina V. Zenkova\*, Irina M. Shtabrovskaya, Darya V. Usova

*Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, Murmansk region, Russia;  
e-mail: i.zenkova@ksc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7712-6846>*

*Article info*

Received  
14.04.2020;

received in revised  
28.05.2020

*Key words:*

forest litter,  
edaphic factors,  
soil fauna,  
diversity,  
numbers,  
forest felling,  
forest burnt,  
Khibiny  
Mountain Massif

*Abstract*

In the framework of monitoring the restoration of anthropogenic disturbed soil cover and its invertebrates fauna in the polar mountains, a study of pine forest cut and burnt forest areas have been conducted in the inter-mountain valley of the Khibiny Mts. Changes of edaphic factors that determine the diversity and abundance of soil fauna were revealed five years after exposure the fire: decrease of soil pH (from 3.8 to 4.2), and content of total carbon and nitrogen, and a steady increase of humidity in the upper soil horizon in the felling and in the burned pine forest. In soil samples at four sites, representatives of 20 taxonomic groups of invertebrates have been taken into account, with greater diversity and minimal numbers in the burnt pine forest. A significant reduction of soil fauna number has been detected as a result of all types of anthropogenic impact, with insignificant differences in this parameter between disturbed sites (burnt pine forest, forest cutting, and burnt forest cutting). In a pair of control pine forest and a burnt pine forest an increasing differences in the structure of the soil fauna has been revealed in comparison with the study of these territories in 2015 or two years after a ground fire. The importance of a vegetation layer confirmed for preserving the soil fauna and maintaining the hydrothermal regime favorable for its recovery. The attraction of light- and thermophilic species of ground beetles and staphylinids, which are not typical for Khibiny Mts has been revealed on the burning felling and burning pine forest. Thus, burnt territories enrich the local fauna of this Polar Mountain Massif and the fauna of the Murmansk region as a whole.

*For citation*

Zenkova, I. V. et al. 2020. Soil fauna of cut and burnt forest areas in the Khibiny Mountains. *Vestnik of MSTU*, 23(2), pp. 160–172. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172.

## Введение

История промышленного освоения Хибин насчитывает 90 лет, на протяжении которых деятельность крупных предприятий по освоению хибинских месторождений и переработке минерального сырья (на сегодняшний день – ОАО "Апатит" и АО "Северо-Западная Фосфорная Компания") несет угрозу существования хрупкой и уникальной по своему биоразнообразию природе этого заполярного горного массива.

В июле 2012 г. в долине реки Кунийок в районе планируемого освоения фосфорного месторождения горы Партомчорр была организована рубка леса на площади более 100 га под строительство обогатительной фабрики<sup>1</sup> (рис. 1, а). Через год на вырубке, неочищенной от стволов и веток деревьев, возник обширный пожар, который перекинулся на сосновый лес в долине, а затем на леса горно-таежного пояса на склоне горы Путеличорр (рис. 1, б). Площадь выгоревшей территории составила 8 га. Проходящая по межгорной долине грунтовая дорога оказалась естественной преградой распространения пожара и разделила территорию на сгоревшую (выгоревшие сосняк и вырубка) и не затронутую пожаром (исходный сосняк и сосновая вырубка). Таким образом, в шаговой доступности друг от друга образовались четыре модельных участка для проведения экологического мониторинга за состоянием почвенного покрова и населяющей его фауны.

Первичная оценка влияния пожара на лесную подстилку и населяющую ее фауну была проведена через 2 года (летом 2015 г.) на участке горелого леса в сравнении с исходным сосняком (Зенкова, 2016). В 2018 г. объем исследований был расширен и охватил сгоревшую и негорелую вырубку. Анализ таксономического разнообразия и численности беспозвоночных на модельных участках спустя 6 лет после рубки и 5 лет после пожара в сравнении с контрольным сосняком и сопоставление полученных данных с 2015 г. являются целью данной работы.

## Материалы и методы

Пары лесных участков (контрольный сосняк, С и горелый сосняк, ГС) и вырубок (В, ГВ) были заложены на удалении 1 км друг от друга, на высоте 235–236 м над ур. м., 67°50' с. ш., 33°39' в. д. В каждой паре расстояние между горелым и незатронутым пожаром участками (С–ГС и В–ГВ) составило 300 м: по 150 м от разделяющей их грунтовой дороги.

Контрольный сосняк кустарничково-лишайниково-зеленомошный (С) сформирован лапландской формой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris f. lapponica* L.), подростом ели (*Picea obovata* Ledeb.) и березы извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.). Кустарничковый ярус хорошо развит, гетерогенный, включает: воронику (*Empetrum nigrum* L.), чернику (*Vaccinium myrtillus* L.), бруснику (*V. vitis-idaea* L.), голубику (*V. uliginosum* L.), багульник (*Ledum palustre* L.), мхи рода *Bryophyta* и лишайники родов *Cladonia*. Мощность лесной подстилки в среднем  $9,5 \pm 1,3$  см.

На основе визуальной оценки степени нарушения антропогенных участков в 2018 г. их можно расположить в следующий ряд: В – ГС – ГВ (рис. 1). На *вырубке*, на фоне сохранения лесной подстилки и мохово-лишайниковой и кустарничковой растительности, идет активное возобновление березы. Мощная подстилка в нижней части имеет признаки оторфованности. Территория завалена стволами и ветками деревьев. *Горелый сосняк* в результате низового пожара лишился подроста ели и березы, а большая часть сосен – своих крон, высота нагара на стволах достигает 2,5–3,5 м. Валежник выгорел, лесная подстилка протлела. Спустя пять лет после пожара наблюдается активное зарастание сосняка черникой, а во влажных микропонижениях – брусникой; встречается иван-чай и, единично, новый подрост березы высотой до 30–40 см. *Горелая вырубка*, испытавшая воздействие два года подряд, и через 5 лет выглядит наиболее нарушенной: рубка уничтожила древесный и кустарничковый ярусы, пожар – мохово-кустарничковый ярус и подстилку, обнажив минеральные горизонты почвы. Произошло заметное вымывание золы с поверхности почвы. Подрост березы выражен слабо, в основном – вдоль обочины грунтовой дороги. В укрытиях между поваленными обугленными и лишенными коры стволами сосен встречаются куртины злаков и тонкий моховой покров; идет зарастание территории иван-чаем.

На всех участках объектами исследования были беспозвоночные животные, населяющие преимущественно верхний, биологически активный органогенный горизонт почвы (подстилку) и учитываемые методом отбора образцов размером  $25 \times 25$  см<sup>2</sup> (*Количественные методы...*, 1987). Образцы отбирали в 10-кратной повторности в одну линию через 10 м на глубину подстилки 0–7(9) см. Дата отбора – 1/VII совпала в 2015 и 2018 гг. Расположение исследуемой территории на северной окраине Хибин и транспортная недоступность (освобождение единственной грунтовой дороги от снежников не ранее конца июня) не позволяют выполнять полевые работы в мае – июне – в период наибольшей активности беспозвоночных, связанной с их размножением. Это приводит к недоучету фактического разнообразия почвенной фауны и ее численности.

<sup>1</sup> 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/>.

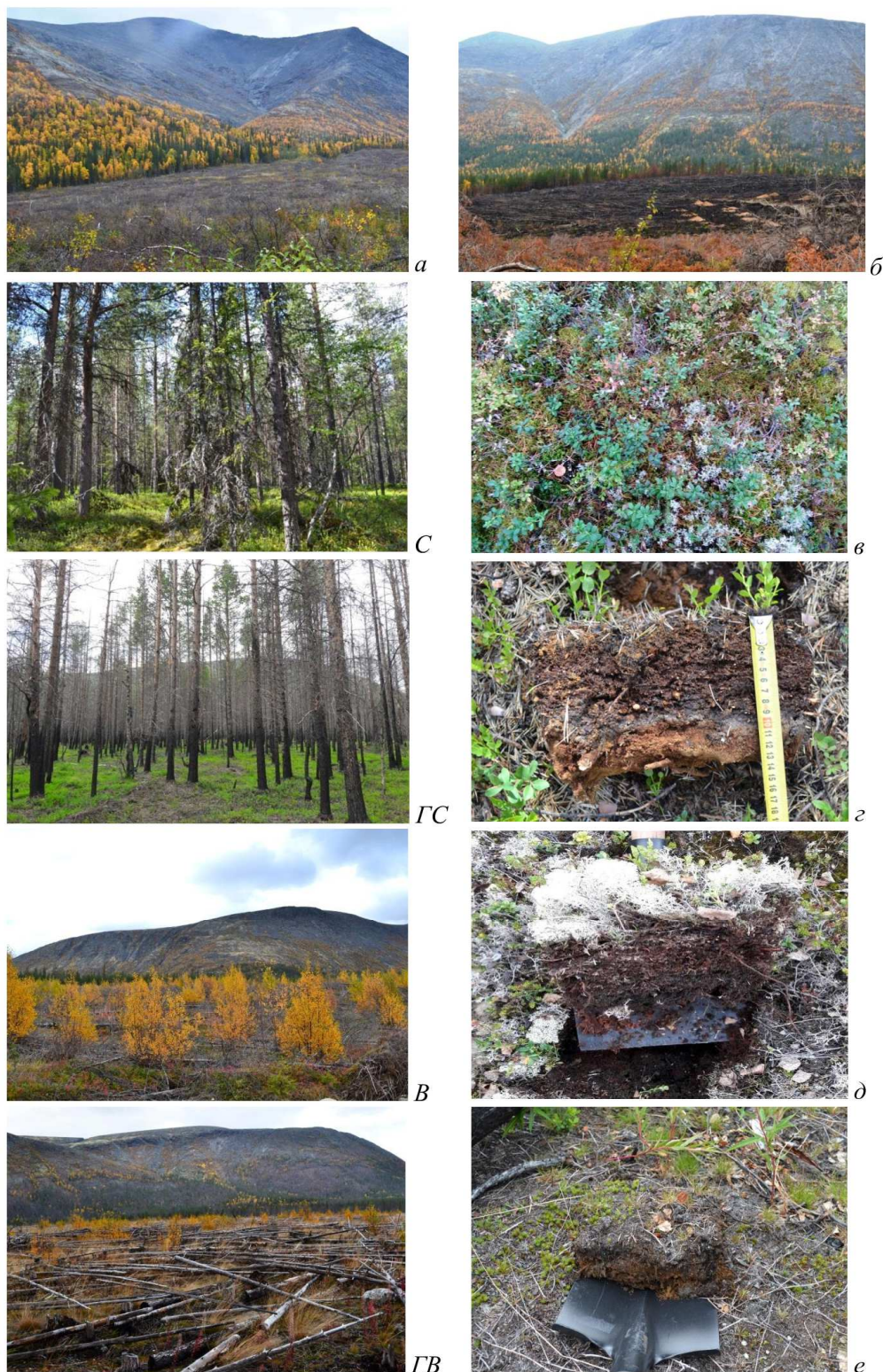


Рис. 1. Нарушенные территории в межгорной долине реки Кунийок в Хибинах:  
*a* – неочищенная вырубка у подножья горы Партомчорр (июль 2012 г.); *б* – сгоревшая вырубка у подножья горы Путеличорр (сентябрь 2013 г.); мониторинговые участки, обследованные в 2018 г.:  
*C* – контрольный сосняк, *ГC* – горелый сосняк, *B* – вырубка, *ГB* – горелая вырубка;  
*б-д* – почвенный покров участков

Fig. 1. Disturbed territories in the intermountain valley of the Kuniyok River in Khibiny Mountain Massif:  
*a* – uncleared pine cutting at the foot of Partomchorr Mt (July 2012); *б* – burnt cutting at the foot of Putelichorr Mt (September 2013); monitoring sites in 2018:  
*C* – control pine forest; *ГC* – burnt pine forest; *B* – pine cutting, *ГB* – burnt pine cutting; *б-д* – soil cover of monitoring sites

Для сравнительной оценки гидротермических условий обитания почвенной фауны учитывали температуру ( $T$ , °C) и влажность ( $V$ , %) в толще подстилки с помощью автоматических термогидрохронотрив-2 с предельным диапазоном измерений  $-25...+40$  °C<sup>2</sup>. Датчики устанавливали на глубине 5 см в связи с тем, что она оказалась предельной на участках с сохранившейся подстилкой на горелой вырубке, почвенный покров которой эродирован до минеральной массы. Датчики программировали на регистрацию  $T$  и  $V$  каждые 2 часа (внутрисуточная динамика). Вычисляли значения среднесуточные, среднемесячные и средние за сезон с июля по сентябрь (всего 75 суток). Число показаний составило на каждом участке по 887 для  $T$  и  $V$ , общий объем измерений – 7 096.

В лабораторных условиях образцы разбирали вручную, затем подстилку прогревали в воронках с ситами под электролампами до полного высушивания и выгонки мелких беспозвоночных в сосуды с водой. Животных подсчитывали и определяли на фильтрах под стереоскопом МХ-1150(Т) при  $16-56\times$  увеличении. Число особей в образцах пересчитывали в экз./м<sup>2</sup>. Для характеристики структуры доминирования использовали деление беспозвоночных на доминантов, субдоминантов, малочисленных и редких по доле численности:  $\geq 10$  %, от  $> 10$  % до  $\geq 5$  %, от  $> 5$  % до  $\geq 1$  % и  $< 1$  % соответственно (Southwood, 1978).

В навесках подстилки определяли: рН (потенциометрическим титрованием), зольность, потери органического вещества при прокаливании (ППП, %), содержание общего азота (методом Кьельдаля) и углерода (методом мокрого сжиганием по Тюрину) в г/кг, соотношение  $C : N$  (Ариушкина, 1970).

Достоверность различий средних значений почвенных факторов и численности беспозвоночных между участками и в разные годы оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента, различия в динамике температуры и влажности почвы за 75 сут – методом дисперсионного анализа ANOVA с  $F$ -критерием Фишера. Зависимость количественных показателей почвенного населения от эдафических факторов определяли методом корреляционного анализа. Результаты обрабатывали в программах Excel, Statistica-12.

## Результаты и обсуждение

### Изменение эдафических факторов на нарушенных территориях

В результате выгорания лесной подстилки в ней снизилось общее содержание органического вещества (ППП составили  $75,4 \pm 4,3$  % в  $ГС$  против  $84,8 \pm 1,1$  % в  $С$ ) и доля основных биогенных элементов – углерода (с 43 % в  $С$  до 39 % в  $ГС$ ) и азота (с 1,2 до 0,9 %), что привело к расширению соотношения  $C : N$  с 37 до 43. Достоверное возрастание зольности (с 15 до 27 %) вызвало подщелачивание почвенного раствора с  $pH_{водн.}$   $3,8 \pm 0,1$  до  $4,2 \pm 0,1$ .

Показатели температуры подстилки в лесных биотопах имели противоположные тенденции в 2015 и 2018 гг. (рис. 2). Через 2 года после пожара прогревшаяся темноокрашенная подстилка в  $ГС$  прогрелась достоверно лучше, чем в контрольном  $С$ : средняя за июль – сентябрь температура на глубине 5 см составила  $+9,79 \pm 0,15$  °C против  $+9,17 \pm 0,15$  °C, максимальная (8/VIII)  $+12,6$  °C против  $+12,0$  °C, сумма температур 685 против 642 °C. Минимальная за сезон среднесуточная температура также была выше в подстилке  $ГС$ :  $+7,4$  °C против  $+6,4$  °C в контрольном  $С$ . Динамика температуры была достоверно более вариабельна в подстилке  $С$  ( $F = 6,97, p = 0,01$ ), несмотря на наличие развитого мохово-кустарничкового яруса, в большей степени зависела от температуры атмосферного воздуха, чем в  $ГС$  (коэффициент корреляции  $r$  0,83 и 0,80 соответственно).

В более теплый вегетационный сезон 2018 г. температура на глубине подстилки 5 см была достоверно выше на участках с мохово-кустарничковым ярусом –  $С$  и  $В$ . Средняя за июль – сентябрь температура составила на этих участках  $+12,4$  и  $+12,7$  °C соответственно, а на горелых не превысила  $+11,5$  °C; сумма температур равнялась 954 °C на  $В$ , 927 °C в  $С$  и оказалась самой низкой в  $ГС$  – 856 °C. Различия средних температур определялись максимальными значениями, которые достигали  $+19,2$  °C в  $С$  и  $+18,6$  °C на  $В$  (20/VII) и лишь  $+16...+17$  °C на горячих. Минимальные (сентябрьские) температуры на участках были сопоставимы:  $+6,5...+6,7$  °C. Самым теплым месяцем, определяющими наибольшую разницу в степени прогрева участков, был июль. С первых чисел августа различия в уровне и динамике среднесуточных температур нивелировались, и с 9/IX, а на  $ГВ$  раньше – с 27/VIII, температура на глубине 5 см на всех участках была устойчиво ниже пороговой  $+10$  °C. Для сравнения: в более холодный вегетационный сезон 2015 г. подстилка в  $С$  и  $ГС$  лучше прогрелась к августу по сравнению с июлем, но до меньших температур, чем в августе 2018 г., и устойчивый переход среднесуточной  $T < +10$  °C отмечался уже с 26/VIII в  $С$  и с 28/VIII в  $ГС$ .

Таким образом, через 2 года после пожара подстилка  $ГС$  прогрелась достоверно лучше по сравнению с контрольным  $С$ , что объяснялось разреженностью древостоя, отсутствием крон и мохово-кустарничкового яруса, лучшим поглощением тепла темной поверхностью почвы, окрашенной зольными элементами. Через 5 лет в  $ГС$ , на фоне вымывания поверхностного нагара и зарастания черникой, подстилка прогрелась слабее, чем на соседнем контрольном участке  $С$  ( $t_{73;0,05} = 2,10$ ) и поэтому отличалась достоверно меньшей

<sup>2</sup> Регистраторы (логгеры) температуры и влажности / Сайт ООО "Инженерные Технологии" (Челябинск). URL: <https://gigrotermon.ru/ru/katalog/seriya-tr-mezhpoverochnyj-interval-4-goda>.

вариабельностью температур на протяжении вегетационного сезона:  $CV = 18,5\%$  против  $26,5\%$  ( $F = 4,39$ ;  $p = 0,04$ ).

Причиной более низкой температуры и ее сглаженной динамики в ГС могла быть высокая влажность подстилки, которая не опускалась ниже  $95\%$  в 2015 г. и ниже  $101\%$  в более теплый сезон 2018 г., тогда как в подстилке контрольного С варьировала в пределах  $76-108\%$ , составив в среднем  $87,5 \pm 1,1\%$  (рис. 2, б, г). Влагонасыщение горелой подстилки можно объяснить изменением ее водно-физических свойств в результате пирогенного уплотнения, что неоднократно отмечалось в литературе (Киселева, 1978; Краснощекоев и др., 1988; Безкоровайная и др., 2005; Тарасов и др., 2008; Назаркина, 2009; Дымов и др., 2015). Сгорание рыхлой подстилки и образование тяжелых компонентов – сажи, частиц угля и золы – уменьшают порозность почвы, зола заполняет почвенные поры, снижая фильтрационные характеристики и водоотдачу почвы и повышая ее влагозапасы. Дополнительно водоотталкивающие свойства почве придают органические продукты пиролиза – гидрофобные ароматические соединения, которые образуются в таежных лесах при сгорании лигнинов и смолистых компонентов, в большом количестве содержащихся в древесине хвойных пород (Цибарт и др., 2011). Показана и роль пирогенного угля в повышении водоудерживающей способности лесных подстилок и верхних минеральных горизонтов, благодаря его высокопористой структуре и способности длительное время сорбировать большое количество влаги на единицу массы (Брянин и др., 2019).

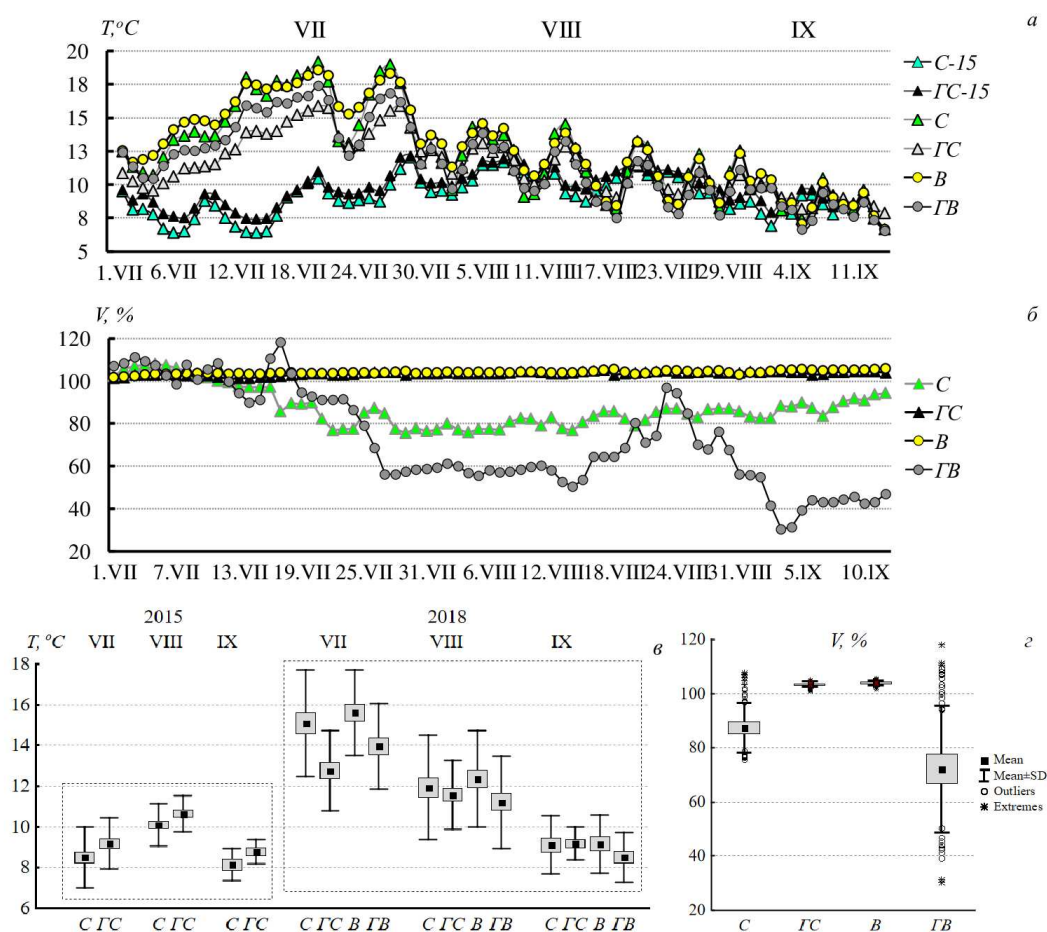


Рис. 2. Динамика (а, б) и средние за июль – сентябрь значения температуры (в, 2015, 2018 гг.) и влажности (г, 2018 г.) в почве мониторинговых участков на глубине 5 см. Участки контрольного и горелого сосняков, обследованные в 2015 г., обозначены на графике а как C-15, GC-15  
 Fig. 2. Dynamics (a, б) and average soil temperature for July – September (в, 2015, 2018) and humidity (г, 2018) at the depth of 5 cm in the monitoring sites. The control and burnt pine forest sites studied in 2015 are marked on the graph a as C-15 and GC-15

Ряд авторов связывают повышение влажности почв на лесных гарях с уничтожением растительных ярусов: сгоревшие древостои не перехватывают атмосферные осадки и не снижают их поступления в почву, мохово-лишайниковый покров не аккумулирует почвенную влагу и не расходует ее на транспирацию, прекращается мощная водорегулирующая функция корней деревьев. На фоне увеличения прихода осадков на поверхность сгоревшей территории происходит сдвиг расхода почвенной влаги с процесса транспирации

растений на физический процесс испарения (*Краснощевков, 1994; Евдокименко, 1996; Тарасов и др., 2011*). В условиях влажного климата Хибин, короткого вегетационного периода с невысокими положительными температурами и расположения исследуемых участков в межгорной речной долине, принимающей водные стоки с окружающих горных склонов, расход влаги на испарение представляется нам несущественным в сравнении с ее приходом. Следовательно, дисбаланс этих процессов может быть реальной причиной гидроморфизма почв в ГС.

Влажность, превышающая 100 % на протяжении исследованного сезона (в среднем  $101,7 \pm 0,1$  %,  $CV < 1$  %), была характерна и для мощной мохово-кустарничковой подстилки с признаками оторфованности на В. Этот факт подтверждает предположение о том, что изменение водного режима почвы в направлении гидроморфизма связано с нарушением водорегулирующей функции древесного яруса и его корневой системы после вырубки.

Изменение гидрологического режима почв по пути заболачивания считается одним из основных последствий сплошных рубок, особенно на первых стадиях сукцессии и в горных районах (*Дмитриев, 1950; Морозова, 2004; Мерзляков, 2008*). В средней тайге переувлажнение подзолистых почв проявляется в первые 5–10 лет послерубочной сукцессии даже на автоморфных позициях ландшафта (*Лантева и др., 2015*). Развитие процесса поверхностного гидроморфизма на вырубках связано не только с нарушением водорегулирующей функции из-за сведения древесного яруса и снижением транспирации растительностью, но и с увеличением мощности и влагозапасов снежного покрова по сравнению с хвойными лесами, полог которых задерживает до 30–40 % снеговых осадков (*Лебедев, 1982*). В горно-таежных лесах запасы воды в снеге на вырубке на 20–30 мм или 15–20 % выше, чем под пологом леса (*Буренина и др., 2013; Онучин и др., 2014*). В условиях повышенной влажности горного климата и возросшего после сведения леса поступления атмосферных осадков на вырубках формируется моховой покров. Обладая значительной влагоемкостью, он снижает интенсивность газообмена между приземным слоем воздуха и почвой, ухудшая ее аэрацию и создавая дополнительные условия для поверхностного переувлажнения почв (*Лопатовская и др., 2018*).

Дважды нарушенная ГВ резко отличалась от остальных участков только режимом увлажнения (рис. 2). Здесь были зарегистрированы как минимальные (30 %, в дни "бабьего лета" 8–9/IX), так и максимальные среди участков (118 %, 22/VII) среднесуточные значения влажности почвенного горизонта, что отразилось на наибольшей сезонной вариабельности этого показателя:  $CV = 32$  % против 11 % в С и <1 % в гидроморфных подстилках ГС и В. По температурному режиму ГВ занимала промежуточное положение между более "теплыми" участками с ярусом напочвенной растительности (С и В) и более "холодной" ГВ.

#### Почвенная фауна

В образцах подстилки учтено 20 таксонов (отрядов и семейств) почвенной фауны, из которых лишь 6 были общими для мониторинговых участков: активно подвижные хищники, типичные для лесных почв Мурманской области, – пауки (*Aranei*), многоножки-костянки (*Lithobiidae*), муравьи (*Formicidae*), жуки мягкотелки (*Cantharidae*) и стафилиниды (*Staphylinidae*) и представители сапрофильного комплекса – личинки жуков-щелкунов (*Elateridae*). Эти таксоны входили в число доминантов почвенной фауны (табл. 1).

Таблица 1. Население почвенных беспозвоночных мониторинговых участков в 2015 и 2018 гг.  
Table 1. Communities of soil invertebrates at monitoring sites in 2015 and 2018

Таксоны <sup>1</sup>	Участки					
	С-15	С	ГС-15	ГС	В	ГВ
Щелкуны ( <i>Elateridae</i> )	++++	++++	++++	++++	++++	++++
Пауки ( <i>Aranei</i> )	++++	++++	++++	++++	++++	++
Двукрылые ( <i>Diptera</i> )	++++	++++	++++	++++	++++	–
Трипсы ( <i>Thysanoptera</i> )	++++	++++	+++	++	+	–
Стафилиниды ( <i>Staphylinidae</i> )	++	+++	+++	++++	++	++++
Мягкотелки ( <i>Cantharinae</i> )	+++	++	++	++++	++	+
Многоножки ( <i>Lithobiidae</i> )	++	++	+++	++++	++++	++
Жужелицы ( <i>Carabidae</i> )	++	–	++	++	+	++++
Энхитреиды ( <i>Enchytraeidae</i> )	+	–	–	++	+++	++++
Муравьи ( <i>Formicidae</i> )	–	++	–	++	++	++
Личинки насекомых ( <i>Insecta larvae</i> )	+	–	++	++	–	–
Долгоносики ( <i>Curculionidae</i> )	+	+	++	–	+	–
Прочие жуки ( <i>Coleoptera</i> )	++	–	++	–	–	–
Совки ( <i>Noctuidae</i> )	+	+	+	–	–	–
Перепончатокрылые ( <i>Hymenoptera</i> ) <sup>2</sup>	–	–	+	++	–	+
Дождевые черви ( <i>Lumbricidae</i> )	–	–	–	++	–	–

Пилильщики ( <i>Tenthredinoidea</i> )	–	–	–	++	–	–	
Сенокосы ( <i>Psocoptera</i> )	–	–	–	++	–	–	
Чернотелки ( <i>Tenebrionidae</i> )	–	+	–	–	–	–	
Клопы ( <i>Heteroptera</i> )	–	–	–	–	+	–	
Пилюльщики ( <i>Byrrhidae</i> )	–	–	–	–	–	+	
Всего:	таксонов	13	11	13	15	12	10
	экз./м <sup>2</sup>	515	1 058	176	307	605	558

Примечание. 1 – таксоны приведены в порядке убывания доли численности; 2 – перепончатокрылые указаны без учета муравьев и пилильщиков. Доля, % от общей численности: (++++) ≥ 10 %, (+++) < 10 %, (++) < 5 %, (+) < 1 %. Прочерк – группа не выявлена.

В почве всех нарушенных участков численность пауков, шелкоунов, мягкотелок и муравьев была ниже по сравнению с контрольным *C*, особенно на дважды нарушенной *ГВ* (табл. 2). Такую же тенденцию проявляли трипсы (*Thysanoptera*) и личинки двукрылых (*Diptera*), массовые в подстилке *C*. Двукрылые проходят свое развитие за несколько дней и являются временными для почвы, поэтому снижение их численности на нарушенных участках было не столь резким, как у трипсов. Мелкие сосущие микрофитофаги – трипсы, развивающиеся в лесной подстилке весь вегетационный сезон и трофически связанные с водорослями, в том числе с водорослевым компонентом лишайников, оказались более чувствительными индикаторами всех видов антропогенной трансформации лесной подстилки.

Таблица 2. Численность почвенных беспозвоночных на мониторинговых участках в 2018 г. (экз./м<sup>2</sup>)  
Table 2. Number of soil invertebrates at monitoring sites in 2018 (ind./m<sup>2</sup>)

Таксон	<i>C</i>		<i>B</i>		<i>ГC</i>		<i>ГВ</i>	
	М ± m	min – max	М ± m	min – max	М ± m	min – max	М ± m	min – max
<i>Aranea</i>	387 ± 81 <sup>bcd</sup>	44 – 889	187 ± 44	44 – 533	44 ± 12	0 – 89	20 ± 7,8	0 – 44
<i>Elateridae</i>	133 ± 348	0 – 311	102 ± 18	0 – 177	53 ± 26	0 – 222	79 ± 29	0 – 266
<i>Staphylinidae</i>	76 ± 15 <sup>bc</sup>	0 – 133	22 ± 10	0 – 88	36 ± 13	0 – 133	99 ± 37 <sup>bc</sup>	0 – 355
<i>Lithobiidae</i>	13 ± 78	0 – 44	85 ± 28 <sup>a</sup>	0 – 266	31 ± 12	0 – 88	25 ± 17	0 – 133
<i>Formicidae</i>	22 ± 12	0 – 88	27 ± 12	0 – 88	13 ± 10	0 – 88	9,9 ± 6,5	0 – 44
<i>Cantharidae</i>	49 ± 20 <sup>d</sup>	0 – 177	22 ± 7	0 – 44	36 ± 22	0 – 222	ед.	0 – 44
<i>Diptera</i>	253 ± 556	44 – 533	107 ± 82	0 – 844	31 ± 18	0 – 177	–	–
<i>Thysanoptera</i>	111 ± 22 <sup>bc</sup>	0 – 266	ед.	0 – 44	ед.	0 – 44	–	–
<i>Curculionidae</i>	ед.	0 – 44	ед.	0 – 44	–	–	–	–
<i>Lepidoptera</i>	ед.	0 – 44	–	–	–	–	–	–
<i>Hemiptera</i>	–	–	ед.	0 – 44	–	–	–	–
<i>Carabidae</i>	–	–	ед.	0 – 44	ед.	0 – 44	64 ± 20 <sup>bc</sup>	0 – 177
<i>Enchytraeidae</i>	–	–	36 ± 16	0 – 133	13 ± 9,5	0 – 88	247 ± 145 <sup>bc</sup>	0 – 1 277
<i>Hymenoptera</i>	–	–	–	–	13 ± 9,5	0 – 88	ед.	0 – 44
<i>Lumbricidae</i>	–	–	–	–	9 ± 5,9	0 – 44	–	–
Личинки <i>Insecta</i>	–	–	–	–	9 ± 8,9	0 – 88	–	–
<i>Psocoptera</i>	–	–	–	–	ед.	0 – 44	–	–
<i>Tenthredinoidea</i>	–	–	–	–	ед.	0 – 44	–	–
<i>Byrrhidae</i>	–	–	–	–	–	–	ед.	0 – 44
Всего, экз./м <sup>2</sup>	1 058 ± 112 <sup>bcd</sup>	356 – 1 600	605 ± 158	267 – 1 956	307 ± 38	89 – 533	558 ± 189	222 – 2 044

Примечание. a, b, c, d – различия в численности, достоверные для участков *C*, *B*, *ГC*, *ГВ* по *t*-критерию Стьюдента для *n* = 18 при *p* ≤ 0,05. Прочерк – отсутствие представителей, ед. – единичные находки.

Многоножки, представленные в Хибинах единственным подстилочным видом *Lithobius (Monotarsobius) curtipes* С. L. Koch, напротив, были в 2–6 раз многочисленнее на нарушенных участках, особенно на *B*. Очевидно, что гидротермический режим влажной, прогреваемой, сохранившей мощную лесную подстилку *B*, оказался оптимальным для развития молодежи многоножек: число личинок младших и средних возрастов было здесь наибольшим среди участков. Корреляционный анализ выявил первостепенную зависимость численности многоножек от влажности подстилки (*r* = 0,77) и ее средней (*r* = 0,71) и минимальной (*r* = 0,68) температуры – показателей, которые были самыми высокими на *B* (рис. 2).

Для развития жуков стафилинид и жужелиц (*Carabidae*) благоприятной оказалась лишенная растительного покрова *ГВ*, где почвенными пробами отловлено наибольшее число личинок. Этот факт не удивителен для жужелиц, предпочитающих в Хибинах открытые освещаемые и прогреваемые ландшафты

горных тундр и разреженные березовые криволеся, но интересен для стафилинид, тесно связанных с почвой на всех стадиях онтогенеза и приуроченных к лесным поясам Хибин.

В сапрофильном комплексе достоверный рост численности в ряду нарушенных участков  $ГС \rightarrow B \rightarrow ГВ$  выявлен для мелких кольчатых червей – энхитреид (*Enchytraeidae*), сочетающих потребление отмершего органического вещества (сапрофагия) и развивающихся на нем микроорганизмов (микробофагия). На  $ГВ$  под редкими куртинами отросших после пожара злаков насчитывали десятки энхитреид, что свидетельствовало о росте микробиологической активности в ризосфере этих растений.

Беспозвоночные остальных таксонов были единичны в почвенных пробах, включая подстилочных сапрофагов – дождевых червей (*Lumbricidae*) и личинок насекомых-фитофагов, развивающихся в почве – ложногусениц пилильщиков (*Tenthredinoidea*), личинок жуков долгоносиков (*Curculionidae*) и пилюльщиков (*Byrrhidae*), либо питающихся в ярусе напочвенной растительности – гусениц пядениц (*Lepidoptera: Geometridae*). Подстилочные раковинные моллюски и слизни, типичные для горных почв Хибин, выявлены не были.

В целом, таксономическое разнообразие почвенного населения было невысоким на всех участках, включая контрольный сосняк, обследованный в 2015 и 2018 гг. (табл. 1). Это объясняется общими закономерностями организации почвенной фауны Хибин: ее обеднением в выхолаживаемых лесах межгорных долин и горно-таежного пояса по сравнению с вышележащими и лучше прогреваемыми открытыми пространствами лесотундры и горной тундры, а также меньшим разнообразием и обилием почвенных беспозвоночных по сравнению с герпетобионтными, населяющими поверхность подстилки и нижний кустарничковый ярус. Низкие показатели разнообразия и обилия кальцефильных сапрофагов – дождевых червей и моллюсков связаны с повышенной кислотностью лесной подстилки исходного соснового леса и его вырубке; колонизация этими малоподвижными беспозвоночными горелых участков с повышенной зольностью и значительным количеством доступной пищи (в виде разлагающихся порубочных остатков и протлевшей моховой подстилки), очевидно, требует в условиях Хибин более длительного времени, чем прошедший 5-летний период.

Для сравнения, в южных районах Мурманской области – на беломорских островах Кандалакшского природного заповедника, на горях двухлетней (сосново-березовый багульниково-брусничный лес, низовой пожар 2011 г.) и семилетней давности (сосново-еловый бруснично-зеленомошный лес, низовой пожар 2006 г.) в подстилке, прогоревшей до глубины 3–12 см, было выявлено по 9 таксонов почвенной фауны (Гонгальский, 2015), т. е. меньше, чем в горелом сосняке на севере Хибин в 2015 и 2018 гг. (табл. 1). Помимо клопов, личинок шелконов и двукрылых, единичных экземпляров дождевых червей на двухлетней гари и личинок шелконов и пилюльщиков на семилетней гари, остальные таксоны были представлены хищными беспозвоночными. Показатели общей численности почвенной фауны на сосновых горях Кандалакшского заповедника ( $105 \pm 72$  и  $390 \pm 152$  экз./м<sup>2</sup>) и Хибин ( $176 \pm 49$  и  $307 \pm 38$  экз./м<sup>2</sup>) оказались сопоставимы.

Несмотря на описанные выше разнонаправленные тренды изменения численности таксонов, общая численность почвенной фауны через 5–6 лет после всех видов антропогенного воздействия была достоверно ниже (в 1,8–3,5 раза) по сравнению с контрольным  $C$ . Различия этого показателя между нарушенными участками оказались незначимы (рис. 3). Достоверно наибольший уровень численности в  $C$  ( $1\ 058$  экз./м<sup>2</sup>) коррелировал с максимальными значениями температуры подстилки ( $0,85 \leq r \leq 0,91$ ), которые в июле, августе и сентябре были на  $0,6$ – $3,3$  °С выше, чем на нарушенных участках (рис. 2).

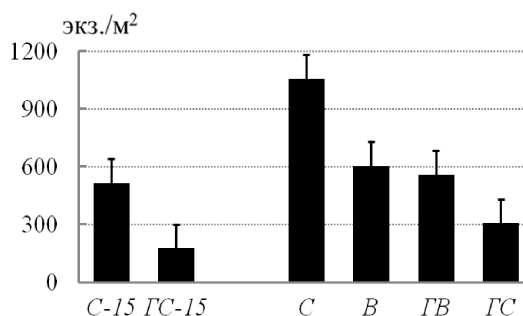


Рис. 3. Численность почвенной фауны на мониторинговых участках через 2 ( $C-15$ ,  $ГС-15$ ) и 5–6 лет после антропогенного воздействия. Обозначения участков – как и на рис. 1, 2

Fig. 3. The number of soil fauna at monitoring sites two ( $C-15$ ,  $ГС-15$ ) and five-six years after the anthropogenic impact. Sites are marked as in Fig. 1 and Fig. 2

Следует отметить, что в более теплый сезон 2018 г., когда подстилка  $C$  и  $ГС$  прогревалась до максимальных среднесуточных  $T = +16...+19$  °С против  $+12...+13$  °С в 2015 г., общая численность почвенной фауны двукратно возросла в обоих лесных биотопах. Однако все доминирующие таксоны (пауки, двукрылые, трипсы, шелконы, стафилиниды, мягкотелки) по-прежнему оставались менее обильными



в ГС: в 2–8 раз в 2015 г. и 2–25 раз в 2018 г. В итоге трехкратная разница в общей численности почвенной фауны, выявленная между С и ГС в 2015 г., сохранилась в 2018 г. (рис. 3).

Согласно результатам экспериментальных выжиганий, имитирующих низовые пожары, в сосняках лишайниково-зеленомошных среднетаежной подзоны Приенисейской Сибири, спустя 5 лет низкая численность и упрощенная структура почвенной фауны сохраняется даже на участках, пройденных пожарами средней и низкой интенсивности (Безкоровайная и др., 2007; Богородская и др., 2010).

На фоне возросшей численности ее пространственное распределение в лесных биотопах стало более выровненным: 1.VII.18 г. по сравнению с 1.VII.15 г. варьирование общей численности по пробам снизилось с 51 до 34 % в контрольном С и с 88 до 40 % в ГС. На вырубках снижение численности беспозвоночных, напротив, сопровождалось неравномерностью их пространственного распределения (CV по пробам 80–100 %), отражая гетерогенность почвенных условий, возникающих, например, в "окнах" между поваленными стволами деревьев и в приствольных пространствах (рис. 4).

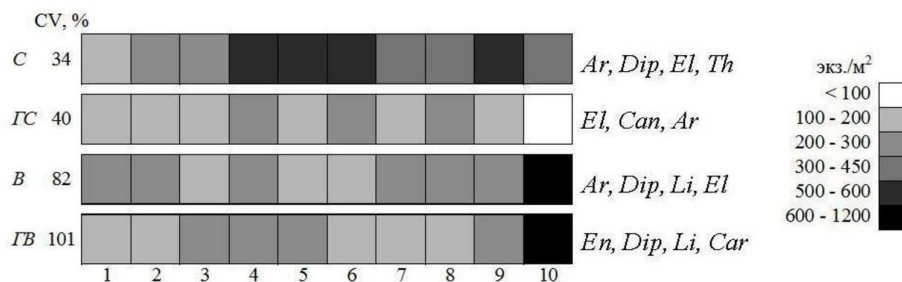


Рис. 4. Пространственное распределение общей численности беспозвоночных на мониторинговых участках в 2018 г. (в пересчете с площади почвенных проб на 1 м<sup>2</sup>, n проб = 10). Таксоны, формировавшие скопления в почве: Ar – пауки, Dip – личинки двукрылых, El – шелконы, Th – трипсы, Can – мягкотелки, Li – многоножки, En – энхитреиды, Car – жуличицы

Fig. 4. The spatial distribution of the total number of invertebrates at monitoring sites in 2018 (in recalculation of soil samples dimensions per 1 m<sup>2</sup>, n samples = 10). Invertebrates with the largest concentrations in the soil: Ar – spiders, Dip – dipteran larvae, El – click beetle larvae, Th – thrips, Can – soft-bodied beetle larvae, Li – centipedes, En – enchytraeids, Car – ground beetles

При кластеризации данных методом "ближайшего соседа", который отражает последовательное присоединение участков по принципу наибольшего сходства таксономического состава и численности почвенной фауны, в 2018 г. нарушенные участки оказались противопоставлены контрольному (рис. 5, а), при этом в подкластер объединились гари – ГВ (10 таксонов) и ГС (15 таксонов), имевшие 9 общих таксонов, сходную (более низкую, чем в С и на В) численность пауков, шелконов, многоножек, двукрылых, муравьев и перепончатокрылых, более высокую численность стафилинид (табл. 1, 2). С учетом данных 2015 г. структура кластера принципиально не изменилась: участки контрольного сосняка С-15 и С обособились в подкластер на основании высокой численности доминирующих таксонов – пауков, двукрылых, трипсов, мягкотелок, шелконов, стафилинид. В цепочке нарушенных биотопов наиболее сходными оказались гидроморфные участки: ГС за разные годы и В (рис. 5, б).

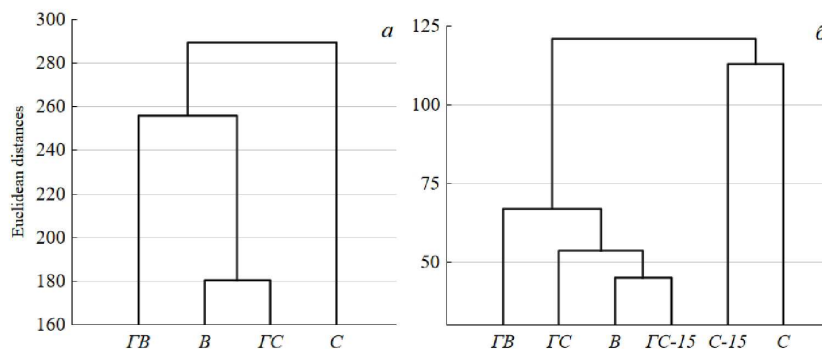


Рис. 5. Кластеризация мониторинговых участков методом "ближайшего соседа" по таксономическому составу и численности почвенной фауны в 2018 г. (а) и с учетом 2015 г. (б).

Обозначение участков – как и на рис. 1, 2

Fig. 5. Clustering of monitoring sites by "single linked" method based on the taxonomic composition and number of soil fauna in 2018 (a) and taking into account 2015 (b).

Sites are marked as in Fig. 1 and Fig. 2

Обособление участков контрольного сосняка *C-15* и *C*, обследованных с разницей в 3 года, соответствовало устойчивой структуре таксономического состава и доминирования почвенной фауны. Из 13 таксономических групп, выявленных в 2015 г. и 11 групп – в 2018 г., 9 были встречены в оба срока (табл. 1). Численность 8 из них увеличилась в более теплый сезон 2018 г.: у пауков – в 4,5 раза, стафилинид – в 3,6, остальных 6 таксонов – в 1,5–2 раза. При этом набор доминантов остался прежним (в % от общей численности беспозвоночных):

*C-15*: двукрылые 36 → шелкуны 18 → пауки 17 → трипсы 13 → мягкотелки 5 → стафилиниды 4, проч. 6 групп 7 %;  
*C*: пауки 37 → двукрылые 24 → шелкуны 13 → трипсы 11 → мягкотелки 5 → стафилиниды 7, проч. 5 групп 5 %.

В гидроморфной подстилке нарушенных участков численность всех таксонов, преобладавших в контрольном *C*, снизилась: в 1,3–3,5 раза на *B* и в 1,5–9 раз в *ГС*. Мелкие обильные трипсы сократились на обоих участках на 2 порядка. Основные лесные доминанты сохранились, но их потеснили влаголюбивые многоножки, а на *B* еще и энхитреиды. Эти сходные тенденции отразились на построении цепочки нарушенных биотопов (рис. 5, б).

На фоне снижения численности доминирующих таксонов, почвенная фауна *B* через 6 лет воздействия сохранила структуру, наиболее близкую к контрольному *C* по набору таксонов и соотношению их обилия, что объясняется сохранением их исходной среды обитания – лесной подстилки и мохово-кустарничкового яруса:

*B*: пауки 31 → двукрылые 18 → шелкуны 17 → многоножки 14 → энхитреиды 6 → муравьи 5, проч. 6 групп 10 %.

Для *ГС* такое сравнение с контрольным сосняком было справедливо через 2 года после пожара, когда в подстилке этих соседних участков было выявлено по 13 общих таксонов, из них половина формировали ядро доминантов. Это позволяло прогнозировать быстрое восстановление почвенной фауны до исходного состояния, однако не подтвердилось результатами 2018 г. Ядро доминантов в подстилке *ГВ* сохранилось, но численность его основных таксонов (пауки, двукрылые, шелкуны, трипсы) не достигла контрольного уровня даже в сравнении с менее теплым 2015 г.:

*ГС-15*: двукрылые 35 → шелкуны 20 → пауки 11 → многоножки 9 → трипсы, стафилиниды по 6, проч. 7 гр. 14 %;  
*ГС*: шелкуны 17 → пауки 15 → мягкотелки, стафилиниды по 13 → двукрылые, многоножки по 10, проч. 9 гр. 25 %.

Появление влаголюбивых дождевых червей, энхитреид и муравьев, типичных для лесных подстилок, но не выявленных в разные годы в контрольном сосняке, отражало гидроморфизм горелой подстилки в *ГС* и, напротив, усилило различие между этими соседними лесными биотопами (рис. 6).

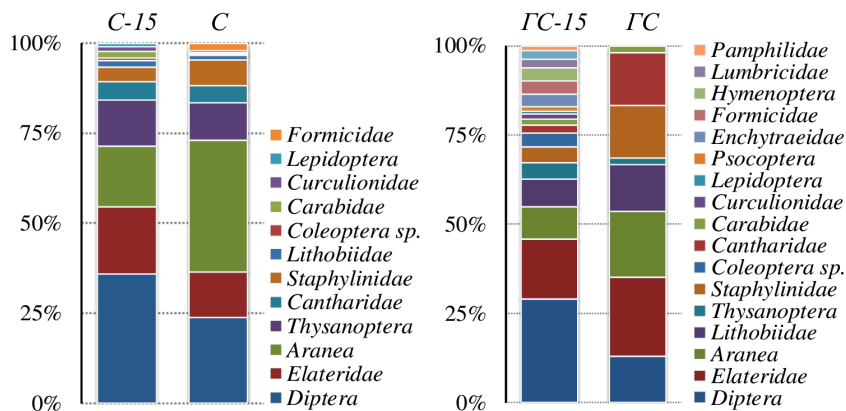


Рис. 6. Структура доминирования почвенной фауны на участках контрольного и горелого сосняков в 2015 и 2018 гг. (% от общей численности). Обозначение участков – как и на рис. 2  
Fig. 6. The dominant structure of soil fauna in control and burnt pine forest sites in 2015 and 2018 (% of the total number). Sites are marked as in Fig. 2

## Заключение

Почвенно-зоологическое обследование участка горно-соснового леса и трех вариантов его антропогенной трансформации показало, что спустя 5–6 лет после воздействия на всех нарушенных участках – в горелом сосняке, на вырубке и на горелой вырубке – структура почвенной фауны далека от контрольного лесного варианта. Между соседними участками контрольного и горелого леса различия даже усилились к 2018 г. (через 5 лет после пожара) по сравнению с 2015 г. (через 2 года) на фоне сохранения стабильной структуры фауны в подстилке контрольного сосняка.

С учетом преобладания в почвах мониторинговых участков хищных, активно подвижных беспозвоночных и близкого расположения участков, позволяющего животным мигрировать и заселять их территории, очевидно, что различия в структуре и численности почвенной фауны определяются эдафическими факторами – температурой, влажностью и кислотностью подстилки. Увеличение зольности и подщелачивание почвенного

раствора пирогенной почвы оказалось благоприятным для развития кальцефильных видов (многоножек-костянок). Повышение влажности подстилки из-за нарушения водорегулирующей функции древесного яруса в горелом лесу и на вырубке – фактором, привлекающим влаголюбивых беспозвоночных (энхитреид, дождевых червей, многоножек). В более теплый вегетационный сезон 2018 г. увеличение численности почвенной фауны было характерно и для контрольного, и для горелого участков сосняка.

Наличие лесной подстилки и кустарничкового яруса имеет первостепенное значение для сохранения исходной лесной структуры почвенной фауны даже после уничтожения древесного полога, а также для поддержания гидротермического режима почвы, благоприятного для ее восстановления. Контрольный сосняк и вырубка, удаленные на расстоянии 1 км, но имеющие лесную подстилку и развитый мохово-кустарничковый ярус, оказались наиболее сходными по разнообразию, численности и структуре доминирования почвенного населения, чем пары участков, заложенные в 300 м друг от друга (контрольный – горелый сосняк и горелая – негорелая вырубка).

Пострадавший два года подряд и наиболее трансформированный участок горелой вырубки, лишенный и яруса напочвенной растительности, и органогенного горизонта, напротив, привлекал наибольшее число свето- и теплолюбивых видов беспозвоночных, нетипичных для Хибин, обогащая, таким образом, локальную фауну этого заполярного горного массива и Мурманской области в целом. Достоверно высокая численность личинок жужелиц и стафилинид в почвенных пробах показала, что гари благоприятны для размножения этих жуков и развития их личиночных стадий. В 2018 г. на горелой вырубке и, в меньшей степени, в горелом сосняке, нами выявлен десяток видов жужелиц, новых для Хибин, тогда как за предшествующий период 2008–2017 гг. в пределах массива было обнаружено не более 30 видов (Zenkova et al., 2019).

### Благодарности

Исследования выполнены в рамках темы НИР "Динамика восстановления биоразнообразия и функций наземных экосистем Субарктики в условиях комбинированного действия природных и антропогенных факторов" (№ гос. рег. А18-118021490070-5) и при частичной поддержке гранта РФФИ № 17-44-510841\_р-а "Влияние антропогенной трансформации горных арктических экосистем на разнообразие и распространение редких и биологически ценных видов растений, лишайников, грибов и животных".

### Библиографический список

- Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : МГУ, 1970. 487 с.
- Безкоровайная И. Н., Иванова Г. А., Тарасов П. А., Сорокин Н. Д. [и др.]. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края // Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12, № 1. С. 143–152.
- Безкоровайная И. Н., Краснощекова Е. Н., Иванова Г. А. Трансформация комплексов почвенных беспозвоночных при низовых пожарах разной интенсивности // Известия Российской Академии наук. Сер. Биологическая. 2007. № 5. С. 619–625.
- Богородская А. В., Краснощекова Е. Н., Безкоровайная И. Н., Иванова Г. А. Послепожарная трансформация микробценозов и комплексов беспозвоночных в почвах сосняков Центральной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2010. № 6. С. 893–901.
- Брянин С. В., Суслопарова Е. С., Молчанов Д. А., Абрамова Е. Р. Постпирогенный уголь как фактор почвообразования в таежных лесах Дальнего Востока // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: материалы VII Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Москва, 24–27 сентября 2019 г. М. : ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 98–101.
- Буренина Т. А., Шишкин А. С., Онучин А. А., Борисов А. Н. Снежный покров на вырубках разных лет в пихтово-кедровых лесах Енисейского края // Лесоведение. 2013. № 6. С. 26–36.
- Гонгальский К. Б. Закономерности восстановления сообществ почвенных животных после лесных пожаров : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08. М., 2015. 306 с.
- Дмитриев А. С. Заболачивание и разболачивание концентрированных вырубок в борах черничниках в бассейне Сысолы (Коми АССР) : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Сыктывкар, 1950. 16 с.
- Дымов А. А., Габов Д. Н., Дубровский Ю. А., Жангуров Е. В. [и др.]. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почв // Лесоведение. 2015. № 1. С. 52–62.
- Евдокименко М. Д. Послепожарная динамика микроклимата и гидротермического режима мерзлотных почв в лиственничниках Станового хребта // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 73–79.
- 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 и Всерос. с зарубежным участием науч. конф., Белгород, 15–22 августа 2016 г. / в 2-х ч. М. ; Белгород : Белгород, 2016. Ч. I. С. 221–222.
- Киселева Г. А. Изменение водно-физических свойств почв в результате послепожарного заболачивания // Изменение почвенного покрова Дальнего Востока в результате сельскохозяйственного использования и мелиорации : сб. ст. / отв. ред. Ю. И. Слабко. Уссурийск: Изд-во ПримСХИ, 1978. Вып. 52. С. 92–94.

- Количественные методы в почвенной зоологии / отв. ред. М. С. Гиляров, Б. Р. Стриганова. М. : Наука, 1987. 287 с.
- Краснощеков Ю. Н. Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных почв лиственничников Монголии // Почвоведение. 1994. № 9. С. 102–109.
- Краснощеков Ю. Н., Сорокин Н. Д. Почвенно-экологические изменения на вырубках и гарях Восточного Хэнгэя (МНР) // Почвоведение. 1988. № 1. С. 117–127.
- Лаптева Е. М., Втюрин Г. М., Бобкова К. С., Каверин Д. А. [и др.]. Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок // Сибирский лесной журнал. 2015. № 5. С. 64–76. DOI: <https://doi.org/10.15372/sjfs20150505>.
- Лебедев А. В. Гидрологическая роль горных лесов Сибири. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1982. 183 с.
- Лопатовская О. Г., Максимова Е. Н., Попов В. В., Соловьева К. С. Влияние сплошных рубок на лесорастительные свойства почв Братского района Иркутской области // Известия Байкальского государственного университета. 2018. Т. 28, № 1. С. 159–165. DOI: [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(1\).159-165](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(1).159-165).
- Мерзляков О. Э. Влияние сплошных рубок на изменение лесорастительных свойств мерзлотных грубогумусных почв // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2008. № 1(2). С. 71–74.
- Морозова Р. М. Влияние концентрированных рубок еловых лесов на свойства почв // Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы : экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Петрозаводск, 23–25 ноября 2004 г. Петрозаводск, 2004. С. 182–184.
- Назаркина А. В. Изменение плотности сложения и влагозапасов лесных почв долины р. Амур в результате действия пожаров // Вестник КрасГАУ. 2009. № 4(31). С. 37–41.
- Онучин А. А., Буренина Т. А., Зирюкина Н. В., Фарбер С. К. Лесогидрологические последствия рубок в условиях Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 110–118.
- Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А. Особенности температурного режима почв в сосняках средней тайги, пройденных низовыми пожарами // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 3–4. С. 300–304.
- Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А., Краснощекова Е. Н. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795–803.
- Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Ассоциации полициклических ароматических углеводородов в пройденных пожарами почвах // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2011. № 3. С. 13–19.
- Southwood T. R. E. *Ecological methods*. 2nd Edition. London : Champan and Hall. 1978.
- Zenkova I. V., Filippov B. Yu. The ground beetles fauna (Coleoptera, Carabidae) of natural and anthropogenic habitats in Khibiny polar massif // The Proceedings of 8th International Symposium of Ecologists of Montenegro, 2–5 October, 2019 / ed. V. Pešić. Budva, Montenegro, 2019. P. 121–129.

## References

- Arinushkina, E. V. 1970. Guide to chemical analysis of soils. Moscow. (In Russ.)
- Bezkorovaynaya, I. N., Ivanova, G. A., Tarasov, P. A., Sorokin, N. D. et al. 2005. Pyrogenic soil transformation of pine forests of the middle taiga of the Krasnoyarsk Territory. *Contemporary Problems of Ecology*, 12(1), pp. 143–152. (In Russ.)
- Bezkorovaynaya, I. N., Krasnoshchekova, E. N., Ivanova, G. A. 2007. Transformation of soil invertebrate complexes in low-level fires of different intensity. *Biology Bulletin*, 5, pp. 619–625. (In Russ.)
- Bogorodskaya, A. V., Krasnoshchekova, E. N., Bezkorovaynaya, I. N., Ivanova, G. A. 2010. Post-fire transformation of microbocenoses and invertebrate complexes in the soils of pine forests of Central Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 6, pp. 893–901. (In Russ.)
- Bryanin, S. V., Susloparova, E. S., Molchanov, D. A., Abramova, E. R. 2019. Post-pyrogenic coal as a factor in soil formation in the taiga forests of the Far East. Proceedings of VII scientific conf. *Forest soils and the functioning of forest ecosystems*. Moscow, CEPL RAS, pp. 98–101. (In Russ.)
- Burenina, T. A., Shishikin, A. S., Onuchin, A. A., Borisov, A. N. 2013. Snow cover on clearings of different years in fir-cedar forests of the Yenisei Ridge. *Russian Journal of Forest Science*, 6, pp. 26–36. (In Russ.)
- Gongalsky, K. B. 2015. Regularities of restoration of communities of soil animals after forest fires. Ph.D. Thesis. Moscow. (In Russ.)
- Dmitriev, A. S. 1950. Bogging of concentrated cuttings in blueberries in the Sysola basin (Komi Autonomous Soviet Socialist Republic). Abstract of Ph.D. dissertation. Syktyvkar. (In Russ.)
- Dymov, A. A., Gabov, D. N., Dubrovsky, Yu. A., Zhangurov, E. V. et al. 2015. The effect of fire in the northern taiga spruce on the organic matter of soils. *Russian Journal of Forest Science*, 1, pp. 52–62. (In Russ.)
- Evdokimenko, M. D. 1996. Post-fire dynamics of the microclimate and hydrothermal regime of permafrost soils in the larch forests of the Stanovoi Range. *Contemporary Problems of Ecology*, 1, pp. 73–79. (In Russ.)
- Zenkova, I. V. 2016. Soil and soil fauna of the pyrogenic forest: Consequences of a bottom fire in the Khibiny massif. Abstract of reports *Soil Science – Food and Environmental Safety of the Country*. Belgorod, pp. 221–222. (In Russ.)

- Kiseleva, G. A. 1978. Change in water-physical properties of soils as a result of post-fire waterlogging. In coll. articles *Change in soil cover of the Far East as a result of agricultural use and land reclamation*. Ussuriysk, pp. 92–94. (In Russ.)
- Quantitative methods in soil zoology. 1987. Eds. M. S. Gilyarov, B. R. Striganova. Moscow. (In Russ.)
- Krasnoshchekov, Yu. N. 1994. The effect of fires on the properties of mountain sod-taiga soils of larch forests of Mongolia. *Eurasian Soil Science*, 9, pp. 102–109. (In Russ.)
- Krasnoshchekov, Yu. N., Sorokin, N. D. 1988. Soil-ecological changes in clearings and burnt areas of East Khentei (MPR). *Soviet Soil Science*, 1, pp. 117–127. (In Russ.)
- Lapteva, E. M., Vtyurin, G. M., Bobkova, K. S., Kaverin, D. A. et al. 2015. Change in soils and soil cover of spruce forests after clear-cutting operations. *Siberian Journal of Forest Science*, 5, pp. 64–76. DOI: <https://doi.org/10.15372/sjfs20150505>. (In Russ.)
- Lebedev, A. V. 1982. Hydrological role of mountain forests in Siberia. Novosibirsk. (In Russ.)
- Lopatovskaya, O. G., Maksimova, E. N., Popov, V. V., Solovieva, K. S. 2018. Influence of clear-cutting on the forest-growing properties of soils of the Bratsk district of the Irkutsk region. *Bulletin of Baikal State University*, 28(1), pp. 159–165. DOI: [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(1\).159-165](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(1).159-165). (In Russ.)
- Merzlyakov, O. E. 2008. The effect of clear-cutting on the change in forest-growing properties of permafrost coarse humus soils. *Tomsk State University Journal of Biology*, 1(2), pp. 71–74. (In Russ.)
- Morozova, R. M. 2004. Influence of concentrated cutting of spruce forests on soil properties. Proceedings of Intern. conf. *Anthropogenic transformation of taiga ecosystems in Europe*. Petrozavodsk, pp. 182–184. (In Russ.)
- Nazarkina, A. V. 2009. Change in the density of addition and moisture reserves of forest soils of the River Amur valley as a result of fires. *Bulletin of KrasGAU*, 4(31), pp. 37–41. (In Russ.)
- Onuchin, A. A., Burenina, T. A., Ziryukina, N. V., Farber, S. K. 2014. Forest-hydrological consequences of logging in Central Siberia. *Siberian Journal of Forest Science*, 1, pp. 110–118. (In Russ.)
- Tarasov, P. A., Ivanov, V. A., Ivanova, G. A. 2008. Peculiarities of the temperature regime of soils in the middle taiga pine forests passed by the lower fires. *Khvoynye borealnoi zony*, 25(3–4), pp. 300–304. (In Russ.)
- Tarasov, P. A., Ivanov, V. A., Ivanova, G. A., Krasnoshchekova, E. N. 2011. Post-pyrogenic changes in hydrothermal parameters of soils of middle taiga pine forests. *Eurasian Soil Science*, 7, pp. 795–803. (In Russ.)
- Tsibart, A. S., Gennadiev, A. N. 2011. Associations of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils passed by fires. *Moscow University Bulletin. Series 5, Geography*, 3, pp. 13–19. (In Russ.)
- Southwood, T. R. E. 1978. Ecological methods. 2nd Edition. London.
- Zenkova, I. V., Filippov, B. Yu. 2019. The ground beetles fauna (Coleoptera, Carabidae) of natural and anthropogenic habitats in Khibiny polar massif. Proceedings of 8th International Symposium of Ecologists of Montenegro, pp. 121–129.

#### Сведения об авторах

**Зенкова Ирина Викторовна** – мкр. Академгородок, 14А, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. биол. наук, доцент, вед. науч. сотрудник; e-mail: [i.zenkova@ksc.ru](mailto:i.zenkova@ksc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7712-6846>

**Irina V. Zenkova** – 14A, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher; e-mail: [i.zenkova@ksc.ru](mailto:i.zenkova@ksc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7712-6846>

**Штабровская Ирина Михайловна** – мкр. Академгородок, 14А, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, аспирант, ст. лаборант; e-mail: [i.shtabrovskaya@ksc.ru](mailto:i.shtabrovskaya@ksc.ru)

**Irina M. Shtabrovskaya** – 14A, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, PhD Student, Senior Laboratory Assistant; e-mail: [i.shtabrovskaya@ksc.ru](mailto:i.shtabrovskaya@ksc.ru)

**Усова Дарья Васильевна** – мкр. Академгородок, 23А, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Центр коллективного пользования КНЦ РАН, магистр, ст. лаборант; e-mail: [usova.d@mail.ru](mailto:usova.d@mail.ru)

**Darya V. Usova** – 23A, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Center of Research Equipment KSC RAS, Master's Degree Student; Senior Laboratory Assistant; e-mail: [usova.d@mail.ru](mailto:usova.d@mail.ru)