

УДК 574.42:631.43/631.468

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОДСТИЛОЧНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ВЫРУБОК И ГАРЕЙ ХИБИН¹

© 2022 г. И. В. Зенкова^а, *, И. М. Штабровская^а^аИнститут проблем промышленной экологии Севера ФИЦ “Кольский НЦ РАН”, мкр. Академгородок, д. 14а, Апатиты, 184209 Россия

*E-mail: i.zenkova@ksc.ru

Поступила в редакцию 01.11.2021 г.

После доработки 07.12.2021 г.

Принята к публикации 02.02.2022 г.

С 2018 г., после присвоения Хибинам статуса национального парка, возросла актуальность задач сохранения уникальных природных объектов и эталонных комплексов хибинской горной тундры и северной тайги, экологического мониторинга и восстановления территорий, нарушенных хозяйственной деятельностью горнодобывающих компаний. Одним из последствий такой деятельности, нанесшей значительный экологический ущерб уязвимым экосистемам заполярного горного массива, стал обширный низовой пожар на месте брошенной нерасчищенной промышленной вырубке в долине реки Кунийок. С целью анализа восстановительных сукцессий почвенного покрова и населяющей его фауны в изменившихся условиях инсоляции и гидротермического режима нами был организован почвенно-экологический мониторинг горно-соснового леса и трех участков его антропогенной трансформации – горелого сосняка, вырубки и горелой вырубке. Спустя 2 (2015 г.) и 5–6 лет (2018 г.) после воздействия на всех модельных участках выполнены учеты беспозвоночных (почвенными ловушками с формалином), температуры и влажности подстилки на глубине 5 см (автономными термогидрохронами). Выявлено устойчивое повышение влажности подстилки при нарушении (горелый лес) или сведении (вырубка) древесного яруса, что соответствует представлениям о развитии процессов поверхностного гидроморфизма и заболачивания на лесных вырубках и гарях. Учтены беспозвоночные 34 таксономических групп при повышенных показателях их разнообразия и динамической плотности в более теплый вегетационный сезон 2018 г. Наибольшим числом таксонов характеризовались гари; наименьшим, но с максимальной плотностью беспозвоночных – вырубке; минимальной динамической плотностью – дважды нарушенная горелая вырубка. Обе вырубке отличались более выраженными межвидовыми связями с участием паразитических перепончатокрылых и жуков-некрофагов. В паре соседних лесных биотопов “контрольный–горелый сосняк” прослежено усиление различий в структуре населения беспозвоночных через 5 лет после обширного низового пожара по сравнению с обследованием этих участков через 2 г. Установлена прямая корреляционная зависимость межгодовых различий плотности герпетобионтов от температуры лесной подстилки ($r \geq 0.71$) и обратная – от ее влажности ($-0.79 \leq r \leq -0.82$). Факторами, определяющими различия в плотности беспозвоночных между годами и участками, оказались: сумма температур ($r = 0.95$), минимальные температуры июля (0.89) и максимальные температуры сентября (0.94) и августа (0.92). Подтверждена важность лесной подстилки для сохранения на горно-лесных вырубках и гарях исходного комплекса фауны и поддержания гидротермического режима, благоприятного для ее восстановления. Сделан методический вывод о большем фаунистическом сходстве участков, удаленных на расстоянии 1 км, но сохранивших лесную подстилку (контрольный сосняк и вырубке), по сравнению с парами участков, заложенных в 300 м друг от друга для их сопоставления по принципу “горелый – незатронутый пожаром” (т.е. контрольный и горелый сосняки, горелая и негорелая вырубке).

Ключевые слова: лесная подстилка, температура, влажность, беспозвоночные-герпетобионты, вырубке, гари, Хибинские горы.

DOI: 10.31857/S0024114822030123

История промышленного освоения Хибин в Мурманской области насчитывает почти 90 лет, и все это время воздействию со стороны горнодо-

бывающих и перерабатывающих предприятий была подвержена преимущественно юго-восточная часть массива. Одно из последних планируемых к освоению месторождений апатит-нефелиновой руды “Партомчорр” находится на севере Хибин – в долине реки Кунийок. Летом 2012 г.

¹ “Исследования выполнены в рамках темы НИР № 1021051803679-9 ИППЭС КНЦ РАН и поддержаны грантом РФФИ “Аспиранты”, проект № 20-34-90135.”



Рис. 1. Модельные участки в долине реки Кунийок в Хибинах: (а) — ненарушенный сосняк (контроль), (б) — горелый сосняк, (в, г) — нерасчищенная вырубка у подножья горы Партомчорр, (д, е) — горелая вырубка у подножья горы Путеличорр.

здесь была организована промышленная рубка леса на площади более 100 га (Новости-24 ..., 2012). Из-за конфликта интересов промышленников и экологов, выступавших против строительства обогатительной фабрики и прокладки коммуникаций в долине в связи с организацией национального парка «Хибинь», работы по рубке леса и очистке территории от порубочных остатков были прекращены. Через год на неочищенной вырубке возник обширный пожар, который охватил горно-таежный лес в долине и лесной пояс на склоне горы Путеличорр. Выгоревшая площадь составила 8 га. Препградой для распространения пожара стала проходящая по долине грунтовая дорога, которая разделила территорию на сгоревшую (выгоревшие сосняк и вырубка) и не затронутую пожаром (исходный

сосняк и его вырубка) (рис. 1). Таким образом, в непосредственной близости друг от друга возникли четыре участка, выбранные нами в качестве модельных для проведения экологического мониторинга за сукцессионными изменениями нарушенного почвенного покрова и населяющей его фауны.

Первичное почвенно-зоологическое обследование лесных биотопов — исходного (контрольного) и горелого сосняков мы провели в 2015 г., через 2 г. после обширного низового пожара (Зенкова, 2016). В 2018 г. объем работ расширили и охватили вырубку — сгоревшую и негорелую. На всех участках оценивали таксономическое разнообразие и обилие *почвенных беспозвоночных* в образцах подстилки и *герпетобионтной фауны*, населяющей поверхность подстилки и ярус напоч-

венной растительности (методом почвенных ловушек с формалином). Результаты исследования почвенной фауны показали, что, несмотря на разнонаправленные тренды изменения численности отдельных таксонов, общая численность педобионтов через 5–6 лет после видов антропогенного воздействия была достоверно ниже (в 1.8–3.5 раза) по сравнению с контрольным сосняком при незначимых различиях этого показателя между нарушенными участками (Зенкова и др., 2020). В настоящем сообщении приводится анализ населения герпетобионтных беспозвоночных и гидротермических показателей почв на модельных участках, спустя 6 лет после вырубке леса и 2 и 5 лет после пожара.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Пары лесных участков “контрольный сосняк (С)–горелый сосняк (ГС)” и вырубок “горелая (ГВ)–незатронутая пожаром (В)” были выбраны на плоском ландшафте в межгорной долине реки Кунийок на севере Хибин, 67°50′ с.ш., 33°39′ в.д., на высотах 220–235 м над ур. м. (Зенкова и др., 2020). Расстояние между парами составляло 1 км, а между участками в каждой паре – 300 м: по 150 м от разделяющей их грунтовой дороги.

Контрольный сосняк (рис. 1а) характеризовался мощной подстилкой (9.5 ± 1.3 см) и хорошо развитым гетерогенным ярусом из кустарничков, мхов и лишайников. Древесный ярус сформирован лапландской формой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* f. *lapponica*), елью (*Picea obovata*) и березой извилистой (*Betula tortuosa*); кустарничковый – вороникой (*Empetrum nigrum*), черникой (*Vaccinium myrtillus*), брусникой (*V. vitis-idaea*), голубикой (*V. uliginosum*), багульником (*Ledum palustre*), мхами рода *Bryophyta* и лишайниками рода *Cladonia*.

В *горелом сосняке* (рис. 1б) подрост ели и березы, напочвенная растительность и валежник выгорели. Лесная подстилка протлела. Высота нагара на стволах сосен достигала 2–3 м, их большая часть лишилась крон. Через два года поверхность почвы имела темную окраску, территория очагово зарастала вегетативно возобновляющейся черникой, что характерно для послепожарного восстановления травяно-кустарничкового яруса в хвойных лесах Кольского п-ова (Баккал и др., 2006). Спустя пять лет зола с поверхности почвы заметно вымылась, покров из черники и злаков стал более сомкнутым, во влажных микропонижениях росла брусника, встречался иван-чай и редкий подрост березы высотой до 30–40 см.

На 6-летней *вырубке* (рис. 1в, 1г), сохранившей гетерогенный ярус из кустарничков, мхов и лишайников, шло активное зарастание березой; неочищенная территория завалена стволами и вет-

ками, труднопроходима; подстилка мощная, темноокрашенная, с признаками оторфовывания в нижней части.

Горелая вырубка, испытавшая воздействие два года подряд, и через 6 лет выглядела наиболее нарушенной (рис. 1д, 1е): рубка уничтожила древесный ярус, а пожар – кустарничковый ярус и подстилку, обнажив минеральную массу почвы. Между поваленными обугленными стволами сосен встречались куртины злаков, отдельные растения иван-чая и пятна печеночных мхов; слабый подрост березы отмечался в основном вдоль обочины дороги.

На всех участках в 2015 и 2018 гг., с июля до середины сентября (всего 75 суток), отлавливали беспозвоночных пластиковыми стаканами-ловушками (500 мл) с формалином, вкопанными в почву до верхней кромки. Повторность на каждом участке была 30-кратной: 3 линии (I–III) по 10 ловушек с расстоянием между линиями и ловушками по 10 м, таким образом, площадь облова составила по 0.18 га. В лабораторных условиях содержимое ловушек разбирали вручную, число особей пересчитывали в экз. на 100 ловушко-суток (показатель динамической плотности). Общее число лов.-сут. равнялось 2250, число беспозвоночных, учтенных в двух сосняках в 2015 г. – 4227 экз., отловленных на 4 участках в 2018 г., – 19776 экз.

Автоматическими термогидрохронами ТРВ-2 (Регистраторы ..., <https://gigrotermom.ru>) каждые 2 ч регистрировали температуру (T , °C) и влажность (V , %) почвенного воздуха на глубине 5 см. Данная глубина оказалась максимальной во фрагментах подстилки на горелой вырубке с эродированным почвенным покровом. Вычисляли среднесуточные, среднемесячные и средние за 75 сут значения. Число показаний T и V составило на каждом участке по 1800, общий объем измерений – 10800.

Достоверность различий средних значений измеренных показателей подстилки и населения беспозвоночных между участками оценивали по t -крит. Стьюдента, различий в динамике T и V – методом ANOVA с F -крит. Фишера. Зависимость плотности беспозвоночных от эдафических факторов определяли методом корреляционного анализа. Сходство-различия участков по таксономическому составу и динамической плотности беспозвоночных выявляли методом кластерного анализа. Результаты обрабатывали в программах Excel, Statistica-12. Структуру доминирования характеризовали по соотношению доминантов, субдоминантов, малочисленных и редких беспозвоночных с соответствующими долями плотности: ≥ 10 , < 10 , < 5 и $< 1\%$ (Southwood, 1978).

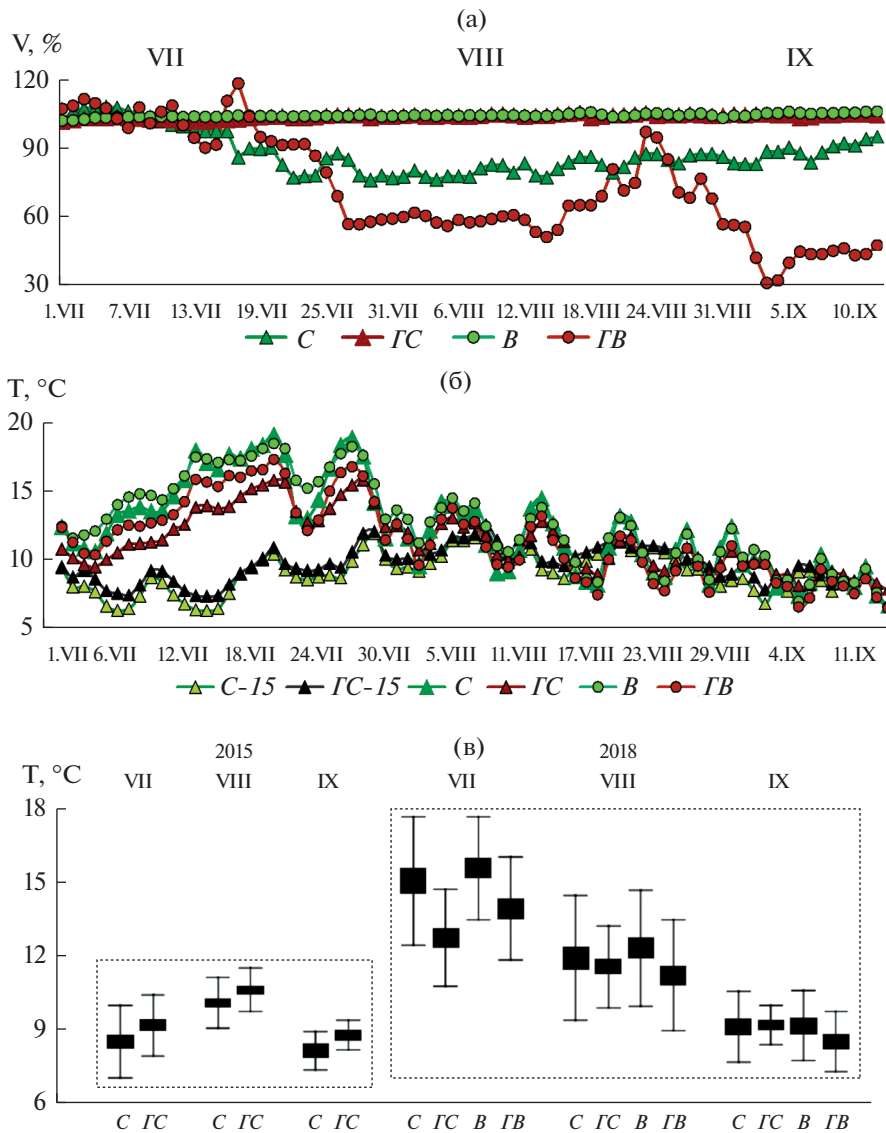


Рис. 2. Гидротермические показатели подстилки на глубине 5 см на модельных участках в июле–сентябре 2015 и 2018 гг.: (а), (б) – динамика влажности и температуры, (в) – среднемесячные температуры. *C-15, GC-15* – контрольный и горелый сосняки, обследованные в 2015 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидротермические показатели почв

Влажность воздуха в 5 см слое подстилки контрольного *C* не опускалась ниже 97% в прохладный и дождливый вегетационный сезон 2015 г. и 76% в более теплый 2018 г. На нарушенных участках *GC* и *B* с сохранившейся подстилкой влажность постоянно была близка к 100% ($CV < 1\%$), что свидетельствовало об изменении водного режима почвы в направлении гидроморфизма (рис. 2а). На *B* это подтверждалось оторфовыванием нижней части мощной подстилки. В *GC* достоверное повышение *V* подстилки по сравнению с соседним контрольным *C* отмечалось уже через 2 г. после пожара. Лишенная напочвенной раститель-

ности и органогенного горизонта *GB* отличалась наибольшей сезонной вариабельностью влажности ($CV = 32\%$) за счет как минимальных ($V = 30\%$, в погожие дни “бабьего лета” 8–9/IX), так и максимальных среди участков (до 118%, 22/VII) среднесуточных значений.

Причиной устойчивого повышения влажности сохранившейся подстилки нарушенных *GC* и *B* можно считать уничтожение древесного яруса. Кроны деревьев, перехватывая атмосферные осадки, снижают их поступление в почву, а корни выполняют мощную водорегулирующую функцию в почве. Значительная часть почвенной влаги расходуется растениями древесного и кустарникового яруса на транспирацию (Карпечко,

2008, 2016, Архипова, Исаченкова, 2013). На фоне увеличения поступления осадков на поверхность нарушенных территорий происходит сдвиг расхода почвенной влаги с физиологического процесса ее транспирации растениями на физический процесс испарения с поверхности почвы (Краснощеков, 1994; Евдокименко, 1996; Поляков, 2010; Тарасов и др., 2011). В Хибинах, в условиях высокой влажности горного климата (Яковлев, 1961), непродолжительного периода с положительными температурами воздуха и расположения исследуемых участков в межгорной речной долине, принимающей водные стоки с окружающих склонов, расход почвенной влаги на испарение представляется нам несущественным в сравнении с ее приходом. Следовательно, дисбаланс этих процессов может быть реальной причиной гидроморфизма почв на нарушенных участках — *ГС* и *В*.

Заболачиванию почв после сведения лесов в разных широтных районах посвящена обширная литература (Морозова, 2004; Исаченкова, Герасимова, 2007; Архипова, Исаченкова, 2013). В средней тайге переувлажнение подзолистых почв в первые 5–10 лет послерубочной сукцессии проявляется даже на автоморфных позициях ландшафта (Лаптева и др., 2015). Изменение гидрологического режима почв по пути заболачивания считается основным последствием сплошных рубок на начальных стадиях восстановления и в горных районах (Дмитриев, 1950; Морозова, 2004; Мерзляков, 2008; Дымов, Милановский, 2014; Дымов, 2017). Развитию процесса поверхностного гидроморфизма способствует увеличение мощности и запасов снежного покрова на вырубках по сравнению с хвойными лесами, полог которых задерживает до 30–40% снеговых осадков (Лебедев, 1982). На вырубках горно-таежных лесов запасы воды в снеге 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 активно развивается моховой покров, который, имея высокую влагоемкость, снижает интенсивность газообмена между приземным слоем воздуха и почвой, ухудшая ее аэрацию и создавая дополнительные условия для поверхностного переувлажнения (Дымов и др., 2012; Лопатовская, 2018).

В *ГС*, наряду с протлевающим слоем мха, аккумулирующим влагу, ее удерживанию в лесной подстилке и верхних минеральных горизонтах способствует пирогенный уголь. Обладая высокопористой структурой, уголь способен длительное время сорбировать большое количество влаги на единицу массы (Брянин и др., 2019). Влагонасыщение горелых лесных подстилок неоднократно объяснялось их пирогенным уплотнением (Кисе-

лева, 1978; Краснощеков, Сорокин, 1988; Бескоровайная и др., 2005; Тарасов и др., 2008; Назаркина, 2009; Тер-Мисакянц, 2013; Дымов и др., 2015). Сгорание рыхлой подстилки и образование тяжелых компонентов — сажи, частиц угля и золы уменьшает порозность почвы и изменяет ее водно-физические свойства. Продукты сгорания заполняют почвенные поры, снижают фильтрационные характеристики и водоотдачу почвы, повышают ее влагозапасы. Дополнительно водоотталкивающие свойства почве придают гидрофобные ароматические соединения — органические продукты пиролиза, которые образуются в таежных лесах при сгорании лигнинов и смолистых компонентов древесины хвойных пород (Цибарт, Геннадиев, 2011).

Прогрев подстилки в лесных биотопах в 2015 и 2018 гг. носил противоположный характер. Через 2 г. после пожара темноокрашенная подстилка *ГС* прогревалась достоверно сильнее по сравнению с соседним контрольным *С* (рис. 2б, 2в). Средняя за сезон *T* на глубине 5 см составила $+9.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$ против $+9.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$; максимальная, в первой декаде июля, $+12.6^\circ\text{C}$ против $+12.0^\circ\text{C}$; сумма температур за 75 сут была на 43°C выше: 685 против 642°C . Минимальная за сезон среднесуточная *T* также была выше в горелой подстилке: $+7.4^\circ\text{C}$ против $+6.4^\circ\text{C}$ в *С*. Активные среднесуточные $T \geq +10^\circ\text{C}$ регистрировались в подстилке *ГС* на протяжении 30 из 75 сут (или в 43% случаев), а в контрольном *С* — только 21 день (30%). Дни с эффективными $T \geq +5^\circ\text{C}$ (но $< +10^\circ\text{C}$), напротив, преобладали в подстилке *С*: 49 сут против 40 в *ГС* или в 70% суток против 57%. Динамика *T* в подстилке контрольного *С* была достоверно более вариабельна, чем в *ГС* ($F = 7.0, p = 0.009$) и, несмотря на наличие развитого мохово-лишайниково-кустарничкового яруса, в большей степени зависела от *T* атмосферного воздуха (коэф. корр. $r = 0.83$ для *С* и 0.80 для *ГС*).

В более теплый вегетационный сезон 2018 г. температура подстилки была достоверно выше на участках с напочвенной растительностью — в контрольном сосняке и на вырубке. Средняя за июль–сентябрь *T* на глубине 5 см составила на этих участках $+12.4$ и $+12.7^\circ\text{C}$ соответственно, а на горелых не превысила $+11.5^\circ\text{C}$ (рис. 2б). Сумма температур за 75 сут равнялась 954°C на *В* и 927°C в *С*, а на горячих оказалась на $90–100^\circ\text{C}$ меньше, чем на *В*, и на $60–70^\circ\text{C}$ ниже, чем в контрольном *С*. Число дней с активными среднесуточными $T \geq +10^\circ\text{C}$ увеличивалось в ряду: *ГВ* (48 сут)—*ГС* (54)—*С* (55)—*В* (59), т.е. для лесных биотопов было сопоставимо, в отличие от 2015 г.

В 2018 г. самым теплым месяцем, достоверно дифференцирующим прогрев участков, был июль ($F \geq 8.0, p \leq 0.007$). С первых чисел августа различия между участками в величине и динамике среднесуточных *T* нивелировались, и с 9/IX, а на

ГВ раньше – с 27/VIII, температура на глубине 5 см на всех участках была устойчиво ниже +10°C (рис. 2б, 2в). В более холодный вегетационный сезон 2015 г. подстилка в лесных биотопах максимально прогрелась только к августу, но до меньших *T*, чем в августе 2018 г.

Население беспозвоночных животных

С июля по сентябрь 2015 г. в контрольном и горелом сосняках отловлены представители 28 таксономических групп при сопоставимом числе таксонов и трехкратном преобладании их общей плотности в *ГС*. В 2018 г. на 4-х модельных участках учтено 34 таксона при наибольшем разнообразии в горелом сосняке, наименьшем разнообразии, но максимальной плотности на вырубке и минимальной динамической плотности на дважды нарушенной горелой вырубке (табл. 1, рис. 3).

Для сравнения, в образцах подстилки, отобранных в день установки почвенных ловушек в начале июля, выявлено 20 таксонов почвенной фауны (от 10 до 15 на модельных участках), общими из которых были лишь 6 таксонов, доминирующих в подстилке северотаежных лесов Мурманской области: активно подвижные хищные пауки, многоножки-костянки, муравьи, жуки мягкотелки, стафилиниды и сапрофильные личинки жуков-щелкунов (Зенкова и др., 2016, 2020).

Следует отметить, что расположение модельных участков в северной части Хибин и освобождение ведущей к ним грунтовой дороги от снежников не ранее начала июля не позволило организовать полевые работы в мае–июне, в период размножения и наибольшей активности беспозвоночных, что, вероятно, привело к недоучету их реального разнообразия и обилия.

Лесные биотопы

В контрольном сосняке в оба вегетационных сезона в ловушках преобладали муравьи, пауки и жуки долгоносики с суммарной долей 82–89%. Многочисленными были типичные для лесной подстилки хищные краснотелковые клещи и жесткокрылые (жужелицы, стафилиниды, мягкотелки); малочисленными – многоножки-костянки и жуки чернотелки, растительноядные клопы, цикадки и слизни; единичными – большинство насекомых-фитофагов: шмели, гусеницы чешуекрылых, ложногусеницы пилильщиков, щелкуны, короеды и пиллюльщики, личинки жуков-усачей (табл. 1).

В более теплый сезон 2018 г. число таксонов увеличилось с 24 до 28, в том числе за счет насекомых-фитофагов: сеноедов, тлей, гусениц пядениц. Уловистость представителей 9 таксонов возросла в 2–13 раз. Плотность подстилочных хищников (многоножек, жужелиц, мягкотелок,

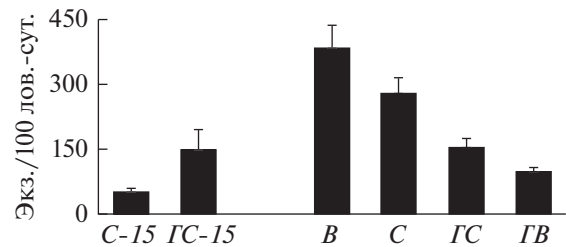


Рис. 3. Динамическая плотность беспозвоночных на модельных участках через 2 (*C-15*, *GS-15*) и 5–6 лет (*B*, *C*, *GS*, *GB*) после антропогенного воздействия.

клещей-краснотелок) и растительноядных моллюсков, цикадок, гусениц совок и жуков-усачей сохранилась на уровне 2015 г. Наряду с муравьями, пауками и долгоносиками массовыми в ловушках (более чем по 100 экз.) были стафилиниды, клопы и разнородная группа перепончатокрылых, однако возросшее обилие муравьев (74% всех беспозвоночных против 59% в 2015 г.) определило более олигодоминантную структуру населения в 2018 г. (табл. 1). Пространственное распределение беспозвоночных в *C*, более равномерное, чем в *GS* и на *B* (рис. 4), также зависело от распределения муравьев ($r = 0.99$). В целом у половины из 28 таксонов, выявленных в контрольном сосняке в 2018 г., динамическая плотность оказалась максимальной по сравнению с нарушенными участками (табл. 2).

В горелом сосняке через 2 г. после низового пожара обитали беспозвоночные 22 таксонов. Общими с контрольным участком, удаленным на 300 м, были 18 групп (табл. 1). Из них у представителей 8-ми таксонов динамическая плотность была ниже контрольных величин (пауки, мягкотелки, перепончатокрылые, короеды, цикадки, гусеницы совок, моллюски, личинки двукрылых), у 7-ми таксонов – выше (многоножки, муравьи, жужелицы, стафилиниды, усачи, долгоносики, клопы); у растительноядных щелкунов и пиллюльщиков – сопоставима с контролем. В ловушках *GS* не оказалось жуков гладкотелок и чернотелок, клещей-краснотелок и фитофагов – пилильщиков, шмелей и листоблошек. Напротив, появились обитатели открытых пространств – сенокосцы, тараканы и божьи коровки, не выявленные в контрольном *C*. В целом из 28 таксонов, отловленных на двух лесных участках в 2015 г., представители 14 таксонов (или 50%) имели большую плотность в контрольном *C*, представители 11 таксонов (39%) – в *GS* (табл. 3). Пятикратно возросшее в сравнении с контролем обилие муравьев (северного лесного *Formica aquilonia*) сделало их абсолютными доминантами в *GS*: 89% от общей плотности беспозвоночных. Заселение муравьями сосняков, нарушенных низовым пожаром, и активное формирование муравьиных семей в тече-

Таблица 1. Население беспозвоночных на модельных участках в 2015 и 2018 гг. (в порядке убывания относительной плотности в ловушках контрольного сосняка, %)

Таксономическая группа	2015		2018			
	<i>C-15</i>	<i>ГС-15</i>	<i>C</i>	<i>ГС</i>	<i>B</i>	<i>ГВ</i>
Муравьи (<i>Formicidae</i>)	++++	++++	++++	++++	++++	++
Пауки (<i>Aranei</i>)	++++	++	++++	++++	++++	++++
Долгоносики (<i>Curculionidae</i>)	+++	++	++	+	+	+
Перепончатокрылые (<i>Hymenoptera</i>)*	++	+	++	++	+	+++
Стафилиниды (<i>Staphylinidae</i>)	++	+	++	++	+	++
Жужелицы (<i>Carabidae</i>)	++	++	+	+++	+	++++
Цикадовые (<i>Cicadoidea</i>)	++	+	+	+	++	++++
Многоножки (<i>Lithobiidae</i>)	++	+	+	++	+	++
Мягкотелки (<i>Cantharidae</i>)	++	+	+	+	+	+
Клещи-красотелки (<i>Trombidiidae</i>)	++	-	+	+	-	+
Клопы (<i>Heteroptera</i>)	+	+	++	+	+	++
Двукрылые (<i>Diptera</i>)	+	+	+	+	+	++
Щелкуны (<i>Elateridae</i>)	+	+	+	+	+	+
Совки (<i>Noctuidae</i>)	+	+	+	+	+	+
<i>Coleoptera</i> sp.	+	+	+	++	+	-
Моллюски (<i>Gastropoda</i>)	+	+	+	+	+	-
Короеды (<i>Scolytidae</i>)	+	+	+	+	-	-
Усачи (<i>Cerambycidae</i>)	+	+	+	-	+	+
Пилюльщики (<i>Byrrhidae</i>)	+	+	-	+	-	++
Чернотелки (<i>Tenebrionidae</i>)	+	-	++	++	+	+++
Пилильщики (<i>Tenthredinoidea</i>)	+	-	+	++	+	+
Шмели (<i>Bombidae</i>)	+	-	+	-	+	-
Гладкотелки (<i>Leiodidae</i>)	+	-	+	+	-	+
Листоблошки (<i>Psyllidoidea</i>)	+	-	-	+	-	+
Гли (<i>Aphidoidea</i>)	-	+	+	+	+	+
Дождевые черви (<i>Lumbricidae</i>)	-	-	+	+	+	+
Сеноеды (<i>Psocoptera</i>)	-	-	+	+	+	-
Сенокосцы (<i>Opiliones</i>)	-	++	+	++++	-	+
Могильщики (<i>Nicrophorus</i>)	-	-	+	+	-	+
Пяденицы (<i>Geometridae</i>)	-	-	+	-	-	-
Тараканы (<i>Blattodea</i>)	-	+	-	+	+	+
Божьи коровки (<i>Coccinellidae</i>)	-	+	-	-	-	+
Энхитреиды (<i>Enchytraeidae</i>)	-	-	-	+	-	+
Листоеды (<i>Chrysomelidae</i>)	-	-	-	+	-	-
Личинки <i>Insecta</i>	-	-	-	-	+	+
Трипсы (<i>Thysanoptera</i>)	-	-	-	-	-	+
Всего:						
Таксонов	24	22	28	30	24	29
экз./100 лов.—сут.	50	149	283	153	383	105

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

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

ние 3-х первых лет развития гарей было прослежено в Окском заповеднике и объяснялось высокой численностью насекомых-ксилофагов и слабым задернением почвы (Аверина, 2002).

Через 5 лет после пожара структура населения беспозвоночных в *ГС* претерпела значительные

изменения как по отношению к контрольному *C*, так и в сравнении с 2015 г., что отразилось на дендрограмме кластеризации этих участков (рис. 5а). В более теплый вегетационный сезон 2018 г. в обоих лесных биотопах, *C* и *ГС*, увеличилось число таксонов в ловушках (с 22–24 до 28–30) и возросла

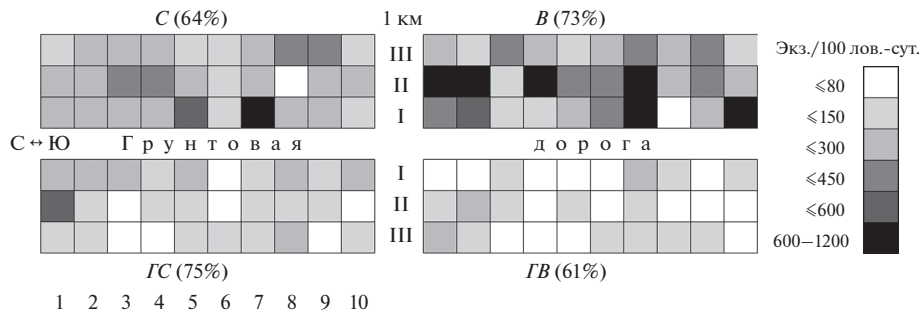


Рис. 4. Схема пространственного распределения беспозвоночных на модельных участках в 2018 г. (общая плотность, экз./100 лов.-сут.). 1–10 – почвенные ловушки, I–III – ловушко–линии (в направлении от грунтовой дороги вглубь участков), в скобках – коэф. пространственного варьирования плотности, %.

динамическая плотность большинства таксонов: у муравьев (на порядок), долгоносиков и клопов более выражено – в контрольном С; у большинства фитофагов (цикадки, гусеницы чешуекрылых, ложногусеницы пилильщинок, пилюльщики, короеды) и личинок двукрылых – в ГС, превысив контрольные показатели; у прочих перепончатокрылых, пауков, стафилинид, чернотелок и тлей – в обоих лесных биотопах. Сравнилась с контролем плотность стафилинид, гладкотелок и слизней. В обоих лесных биотопах появились сапрофильные дождевые черви, сеноеды и жуки-могильщики. Плотность хищных пауков, клещей-краснотелок, перепончатокрылых и мягкотелок в ГС оставалась ниже контрольных величин в оба года, а у муравьев, клопов, щелкунов, долгоносиков и усачей стала уступать контрольному С в 2018 г. Доля муравьев снизилась до 38%, и они делили доминирование с сенокосцами (23%) и пауками (11%). Таксонами, дифференцирующими лесные биотопы в оба года, оказались шмели, отмеченные только в ловушках контрольного С, и тараканы, выявленные только в ГС.

В результате разнонаправленных изменений обилия таксонов общая динамическая плотность беспозвоночных достоверно, в 5.7 раза, увеличилась только в контрольном С (табл. 1, рис. 3). Для сравнения в почвенных пробах общая численность фауны двукратно возросла в обоих лесных биотопах, однако все доминирующие таксоны оставались менее обильными в ГС, в итоге трехкратная разница в общей численности, выявленная между С и ГС в 2015 г., сохранилась и в 2018 г. (Зенкова и др., 2020).

В ряде публикаций, анализирующих начальные стадии послепожарных сукцессий, отмечается повышенная численность насекомых-вредителей. На разновозрастных горях Печоро-Ильчского заповедника в Республике Коми это были долгоносики (*Hylobius abietis*), привлекаемые ослабленными соснами (Савельева, Долгин, 2008, 2009), в сосняках Окского заповедника, в зависимости от их спе-

лости, – жуки-пилюльщики, щелкуны или листоеды вида *Adoxus obscurus*, трофически связанного с иван-чаем, разрастающимся на горях в первые годы после пожаров (Потапова, 2002). В сосновых лесах соседних регионов – центральной Швеции и Республики Карелия – в первые два года после пожаров на зарастающих горях более многочисленными, чем в негорелых лесах, были сосущие фитофаги – тли, цикадовые, трипсы. Комплекс хищных беспозвоночных из-за недостатка пищи восстанавливался медленно: через 6 лет после пожара их биомасса составляла лишь 40–60% от контрольных показателей (Gongalsky, Persson, 2013).

В Хибинах в горелом сосняке выраженным увеличением плотности через два года после пожара отличались активно подвижные хищники, привлекаемые разреженным и лучше прогреваемым горелым лесом (сенокосцы, жужелицы) и его более теплой и влажной подстилкой (многоножки-костянки, стафилиниды), а также разрушители древесины – муравьи и долгоносики. Изменение общей плотности герпетобионтов по годам и участкам (трехкратное преобладание в ГС через 2 г. после пожара и почти двукратное отставание от контрольного С через 5 лет) также было скоррелировано преимущественно с динамикой подстилочных хищников – муравьев ($r = 0.92$), пауков (0.82), перепончатокрылых (0.78), стафилинид (0.74) и фитофагов долгоносиков (0.63). Четкую тенденцию к увеличению численности в ГС через два и особенно через 5 лет после пожара проявили три группы зоофагов – многоножки, сенокосцы и жужелицы. Для многоножек, чувствительных к кислотности почвы, дополнительным благоприятным фактором могла быть повышенная зольность протлевшей подстилки.

Стволовые вредители – усачи и короеды, способные заселять ослабленные, усыхающие и мертвые деревья, а также привлекаемые территориями с большим количеством поваленных стволов, в оба года были единичны в ловушках как контрольного, так и горелого сосняков. По на-

Таблица 2. Плотность беспозвоночных на модельных участках в 2018 г. (экз./100 лов.-сут.)

Таксон	С		В		ГС		ГВ	
	$M \pm m$	min-max	$M \pm m$	min-max	$M \pm m$	min-max	$M \pm m$	min-max
<i>Formicidae</i>	210 ± 33 ^{bcd}	38–920	320 ± 51 ^{acd}	0–1141	58 ± 20 ^d	3–527	8 ± 0.4 ^b	0–9
<i>Aranei</i>	31 ± 2.4 ^c	16–77	38 ± 6.2 ^c	3–168	17 ± 2.9	0–74	47 ± 0.8 ^{ac}	7–217
<i>Curculionidae</i>	9.0 ± 0.8 ^{bcd}	3–23	1.2 ± 0.3 ^{acd}	0–4	0.2 ± 0.1	0–1	0.2 ± 0.1	0–2
<i>Staphylinidae</i>	6.2 ± 0.1 ^{bd}	0–21	1.5 ± 0.5 ^a	0–14	6.1 ± 2.2 ^b	0–63	2.2 ± 0.9	0–23
<i>Hymenoptera</i>	5.7 ± 1.0 ^b	0–27	1.0 ± 0.2 ^a	0–4	4.3 ± 0.9 ^b	0–21	2.7 ± 1.1 ^b	0–8
<i>Heteroptera</i>	4.2 ± 0.9 ^{bcd}	0–17	2.5 ± 0.8 ^{acd}	0–17	0.7 ± 0.2	0–4	1.8 ± 0.4 ^c	0–10
<i>Carabidae</i>	2.3 ± 0.6 ^b	0–17	0.7 ± 0.2 ^a	0–4	11 ± 1.4 ^{ab}	3–28	12.7 ± 2 ^{bd}	0–36
<i>Tenthredinoidea</i>	0.9 ± 0.2 ^{bd}	0–2	0.4 ± 0.2 ^{ad}	0–6	2.3 ± 0.5 ^{abd}	0–9	ед.	0–1
<i>Cantharidae</i>	0.9 ± 0.2 ^{bcd}	0–2	ед.	0–2	0.5	0–1	ед.	0–1
<i>Trombidiidae</i>	0.9 ± 0.4 ^{bd}	0–12	–	–	0.5 ± 0.2 ^{bd}	0–4	ед.	0–2
<i>Lithobiidae</i>	0.5 ± 0.1	0–2	0.9 ± 0.3 ^a	0–6	3.0 ± 0.5 ^{abd}	0–8	1.7 ± 0.4 ^b	0–5
<i>Aphidoidea</i>	0.5 ± 0.2 ^{bcd}	0–2	ед.	0–1	0.2 ± 0.1	0–2	0.2 ± 0.1	0–2
<i>Lepidoptera</i>	0.4 ± 0.1 ^{bcd}	0–2	ед.	0–1	0.9 ± 0.2 ^{bd}	0–5	ед.	0–1
<i>Gastropoda</i>	0.4 ± 0.1 ^d	0–2	0.6 ± 0.2 ^{ad}	0–4	0.3 ± 0.2 ^{ad}	0–4	–	–
<i>Psocoptera</i>	0.4 ± 0.2 ^d	0–4	ед.	0–1	ед.	0–1	–	–
<i>Nicrophorinae</i>	0.2 ± 0.1	0–4	–	–	1.3 ± 0.9 ^{ad}	0–23	0.5 ± 0.3 ^d	0–6
<i>Cicadoidea</i>	ед.	0–2	13 ± 2.3 ^{ac}	0–44	1.4 ± 0.4 ^a	0–6	15 ± 1.6 ^{ac}	0–31
<i>Diptera</i>	ед.	0–1	ед.	0–1	0.8 ± 0.3	0–6	1.7 ± 1.5	0–44
<i>Cerambycidae</i>	ед.	0–1	0.2 ± 0.1	0–2	–	–	0.2 ± 0.1	0–1
<i>Bombidae</i>	ед.	0–1	0.7 ± 0.3 ^a	0–6	–	–	–	–
<i>Lumbricidae</i>	ед.	0–1	ед.	0–1	ед.	0–1	ед.	0–1
<i>Elateridae</i>	ед.	0–1	ед.	0–1	ед.	0–1	ед.	0–1
<i>Scolytidae</i>	0.3	0–2	–	–	0.6 ± 0.3	0–8	–	–
<i>Opiliones</i>	ед.	0–1	–	–	35 ± 4.4 ^{abd}	4.1–82	ед.	0–1
<i>Blattodea</i>	–	–	1.0 ± 0.3 ^{acd}	0–6	ед.	0–1	ед.	0–2
<i>Psyllidae</i>	–	–	–	–	ед.	0–1	ед.	0–1
<i>Chrysomelidae</i>	–	–	–	–	ед.	0–1	–	–
<i>Enchytraeidae</i>	–	–	–	–	0.2 ± 0.1	0–2	ед.	0–1
<i>Byrrhidae</i>	–	–	–	–	0.4 ± 0.2	0–4	1.0 ± 0.3 ^c	0–5
<i>Coccinellida</i>	–	–	–	–	–	–	0.8 ± 0.2	0–2
<i>Thysanoptera</i>	–	–	–	–	–	–	ед.	0–1
экз./100 лов.-сут.	283 ± 33 ^{bc}	81–973	383 ± 52 ^{cd}	77–1212	153 ± 22 ^d	22–568	105 ± 11	29–283

Примечание. abcd – различия в плотности, достоверные для участков С, В, ГС, ГВ при $t_{58; 0.05} \geq 2.00$. Прочерк – группы не выявлены, ед. – единичные находки.

блюдениям энтомологов, в Восточной Фенноскандии, несмотря на наличие старовозрастных лесов, частые пожары и отсутствие должного лесопатологического ухода, вспышек массового размножения этих ксилофагов не зафиксировано (Яковлев, 1996; Yakovlev et al., 2000).

Для лесных участков выявлена прямая зависимость межгодовых различий плотности герпетобиянтов от температуры подстилки ($r \geq 0.71$) и обратная – от ее влажности ($-0.79 \leq r \leq -0.82$). Показателями, достоверно определяющими различия в плотности беспозвоночных между годами и участ-

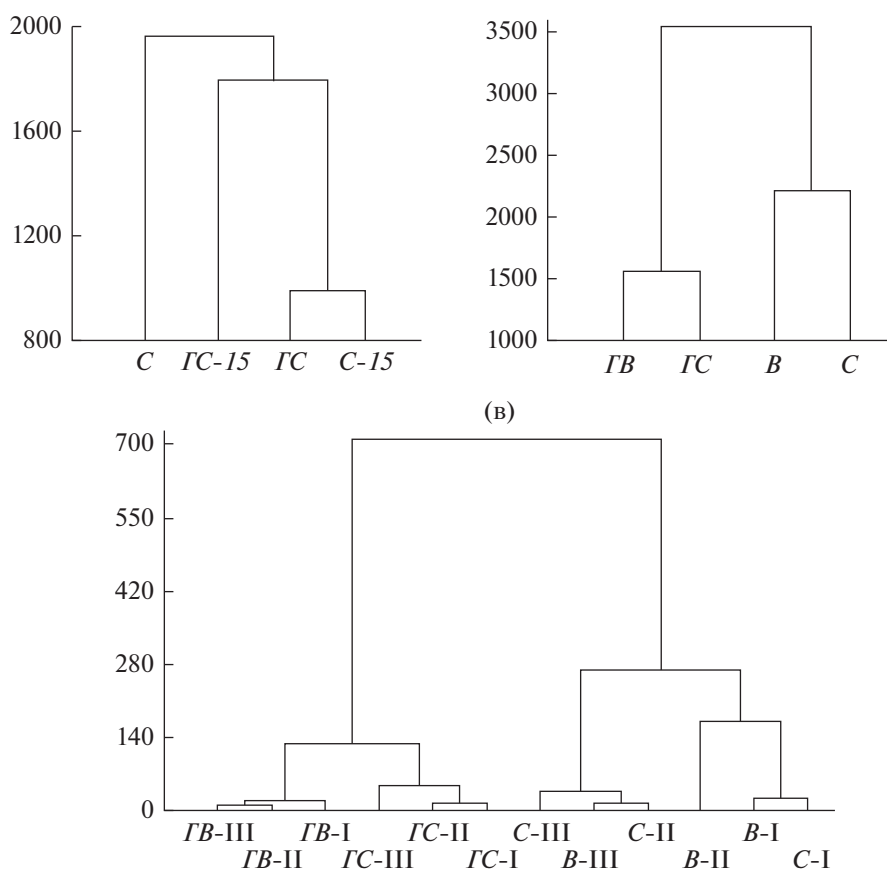


Рис. 5. Кластеризация модельных участков по таксономическому составу и динамической плотности беспозвоночных: (а) – контрольный и горелый сосняки в 2015 и 2018 г. (single linkage method, Euclidean distances), (б) – лесные участки и вырубki в 2018 г. (средние для каждого участка показатели по 30-ти ловушкам, Ward’s method), (в) – средние значения по ловушко-линиям.

ками, оказались: сумма температур июля ($r = 0.95$), T_{max} сентября (0.94) и августа (0.92) и T_{min} июля (0.89), которые в вегетационный сезон 2018 г. были выше в подстилке контрольного С (рис. 2б, 2в). Корреляция плотности беспозвоночных с температурой и запасами влаги в подстилке была выявлена при сравнении нарушенных участков с разными древесными породами в процессе лесовос-

становления в южной тайге Центральной Сибири (Безкороваяная, Егунова, 2011).

Вырубki

Структура населения беспозвоночных шестилетней *вырубki* отражала два сукцессионных процесса: смену лесной фауны на луговую и усиление

Таблица 3. Структурные показатели населения беспозвоночных в лесных биотопах через 2 и 5 лет после пожара

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

гидроморфизма почвы. Несмотря на сохранение мощной лесной подстилки, плотность типичных подстилочных хищников — стафилинид, жуужелиц, чернотелок, личинок мягкотелок и перепончатокрылых была в 3–10 раз ниже, чем в контрольном *С*. Как и в *ГС*, исчезли краснотелковые клещи, появились божьи коровки. Плотность влаголюбивых муравьев, пауков, многоножек, дождевых червей, моллюсков и личинок двукрылых, напротив, в 1.2–3 раза превысила таковую в *С*, что соответствовало высокой влажности подстилки на *В* при сходной степени прогрева этих участков (рис. 2), а также обилию пищевых ресурсов для сапрофильных беспозвоночных и ксилофагов в виде многочисленных поваленных стволов и веток деревьев.

Несмотря на активный подрост березы, в комплексе фитофагов *В*, в отличие от контрольного *С*, не отмечены гусеницы пядениц, единичны гусеницы совок, в 1.7–11 раз сократилась плотность клопов, тлей, сеноедов и насекомых, трофически связанных с древесиной и корнями живых сосен — жуков-короедов, долгоносиков и ложногусениц пилильщиков. Уловистость личинок жуков-усачей, развитие которых проходит в мертвой древесине, напротив, увеличилась в 4 раза, как и луговых фитофагов: цикадок (на 2 порядка), влаголюбивых тараканов, опылителей — шмелей. Тараканы и шмели исчислялись в ловушках десятками особей, цикадки — сотнями. В целом 4 группы беспозвоночных (муравьи, моллюски, шмели и тараканы) достигали на *В* наибольшей плотности среди участков. Этот список дополняли личинки усачей и цикадки с оговоркой, что сходную плотность они имели и на второй вырубке — горелой. В результате при наименьшем числе таксонов (24) лесная вырубка отличалась самой высокой динамической плотностью беспозвоночных (рис. 3, табл. 1, 2) и их наиболее неравномерным пространственным распределением из-за гетерогенности среды обитания в виде скопления—разброса порубочного материала (рис. 4). Максимальные локальные скопления формировали муравьи, пауки и цикадки.

В сравнении с контрольным *С* на *В* плотность более половины таксонов (13 из 24) снизилась, у 9 таксонов — увеличилась; представители 6 таксонов не были выявлены, как и в *ГС* появились тараканы. Из-за обилия муравьев структура населения была более олигодоминантной: муравьи составляли 86% улова (против 75% в контрольном *С*), пауки — 10, цикадки — 3, суммарная доля представителей остальных таксонов не превысила 1% (табл. 1).

Структура населения дважды нарушенной *горелой вырубке* наиболее отличалась от контрольного *С* и была сходна частично с *ГС*, частично — с соседней *В*. Динамическая плотность беспозво-

ночных была здесь достоверно меньшей: в 1.5 раза в сравнении с *ГС* и в 3–4 раза в сравнении участками *С* и *В*, сохранившими подстилку и кустарничковый ярус (табл. 1, 2, рис. 3). Обилие муравьев, преобладающих на остальных участках, сократилось на два порядка; плотность типичных обитателей лесной подстилки — стафилинид и мягкотелок — на порядок; моллюски и сеноеды отсутствовали.

В то же время представители 6 таксонов достигали на *ГВ* наибольшей плотности: обитатели открытых пространств — божьи коровки и активные хищники — пауки и жуужелицы, предпочитающие в Хибинах открытые ландшафты лесотундры и горной тундры, и жуки-чернотелки. Последние проявили себя как некрофаги: вместе с жуками-мертвоедами массово шли в ловушки с попавшими в них мышами—полевками, также привлекаемыми горелой вырубкой со сложным лабиринтом из поваленных стволов деревьев. Еще двумя группами с максимальной уловистостью на *ГВ* были цикадки (собрано 333 экз.) и бриофаги пилульщики (два десятка имаго), развивающиеся на редких пятнах мохового покрова. Наряду с цикадками среди фитофагов преобладали клопы, присутствовали тараканы и развивающиеся в стволах мертвых деревьев личинки жуков-усачей. Как и на *В*, комплекс фитофагов *ГВ* имел луговой облик, а растительноядные группы, типичные для контрольного *С*, были здесь единичны (шелкуны, долгоносики, гусеницы совок, тли, трипсы) или отсутствовали (листоеды, короеды, гусеницы пядениц, ложногусеницы пилильщиков). Слабо растущая *ГВ* также не привлекала шмелей, обычных на соседней *В*. Уловистость многовидовой группы перепончатокрылых была высокой, но уступала контрольному *С*, а плотность многоножек — *ГС* (табл. 2).

Из-за снижения обилия муравьев — основного доминанта в уловах других участков, только *ГВ* отличалась полидоминантной структурой населения беспозвоночных и их более равномерным пространственным распределением (рис. 4). Преобладали пауки — 47, цикадки — 16, жуужелицы — 13, чернотелки и перепончатокрылые — 5–6%. Доля представителей каждого из остальных 22-х таксонов не превысила 2% (табл. 1).

На примере обеих вырубок, как антропогенно нарушенных горных биотопов, впервые за 10-летний период почвенно-зоологических исследований Хибин, нами установлен факт массового заражения сосущих фитофагов — цикадок их специализированными паразитоидами — мелкими жалающими осами-дриинидами рода *Gonatopus* (Hymenoptera, Aculeata, Dryinidae). Биология представителей небольшого семейства дриинид изучена недостаточно (Gugliemino, 2002), но известно, что бескрылые самки захватывают и временно парали-

зуют личинок цикадок для откладки яиц в их тельца, что нарушает естественный метаморфоз цикадок. По мере развития паразитической личинки на теле хозяина разрастается шаровидная капсула. Большинство цикадок, отловленных на вырубках Хибин, имели такие капсулы различной локализации, что свидетельствовало о массовом заражении их популяции; попадались в почвенные ловушки и сами осы-паразиты.

Обобщая данные по таксономическому составу и обилию беспозвоночных в оба периода исследований, можно сделать методический вывод. Из 4-х модельных участков, изначально выбранных для парного сравнения по принципу “горелый – незатронутый пожаром” (*С–ГС* и *В–ГВ*), наиболее сходными по разнообразию, плотности и структуре доминирования населения беспозвоночных–герпетобионтов, оказались не эти пары участков, заложенные в 300 м друг от друга, а контрольный сосняк (*С*) и вырубка (*В*), удаленные на расстоянии 1 км, но имеющие лесную подстилку и развитый мохово-кустарничковый ярус. Аналогичный вывод был сделан нами по результатам сравнительных исследований почвенной фауны в образцах подстилки с этих модельных участков (Зенкова и др., 2020).

Высокая плотность в контрольном *С* и на *В* основного доминанта – муравьев (210–320 против 8–58 экз./100 лов.-сут. на горях), сходная плотность пауков (30–40 экз./100 лов.-сут.), клопов и присутствие сенокосцев и шмелей повлияли на обособление этих участков с лесной подстилкой в подкластер, противопоставленный подкластеру горелых участков – *ГС* и *ГВ* (рис. 5б). Горелые сосняк и вырубка отличались от негорелых участков присутствием энхитреид, пилюльчиков, листоблошек и божьих коровок, повышенной плотностью жуужелиц (11–13 против 1–2 экз./100 лов.-сут.), многоножек, сенокосцев, личинок двукрылых. Еще отчетливее обособление горелых участков и, напротив, сходство контрольного сосняка и вырубки, проявилось при кластеризации данных по ловушко-линиям (рис. 5в).

Многочисленность жуужелиц (вида *Cicindela sylvatica*) на начальных стадиях послепожарной сукцессии отмечена на разновозрастных горях в Республике Коми (Савельева, Долгин, 2008, 2009). Повышенные показатели уловистости и разнообразия этих жуков по сравнению с ненарушенным лесом и выборочной рубкой выявлены после экспериментального выжигания вырубки в юго-восточной Норвегии (Gongalsky et al., 2006). Нами в горелом сосняке и на горелой вырубке за полевые сезоны 2015 и 2018 гг. учтено 19 видов жуужелиц (тогда как за 10 лет исследования природных биотопов Хибин суммарно – 30 видов), из них 8 видов, принадлежащих родам *Amara*, *Bembidion*, *Dicheirotrichus*, *Harpalus*, *Pterostichus*, отловлены

только на этих нарушенных участках (Zenkova, Filippov, 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обширной промышленной рубки в 2012 г. и последующего низового пожара в 2013 г. в речной долине на севере Хибин образовались три варианта антропогенной трансформации горно-таежного леса (горелый лес, вырубка и горелая вырубка), послужившие модельными биотопами для мониторинга восстановительных сукцессий почвенного покрова и населяющей его фауны в условиях заполярного горного массива. Во всех биотопах герпетобионты беспозвоночные, учтенные почвенными ловушками, оказались более разнообразным и многочисленным компонентом по сравнению с фауной в образцах лесной подстилки, исследованной в эти же сезоны (Зенкова и др., 2020). Структура их населения через 5–6 лет после воздействия соответствовала степени трансформации горных биотопов, которые можно расположить в следующем порядке: *лесная вырубка* (сохранение лесной подстилки и мохово-кустарничкового яруса, активное возобновление березы) – *горелый сосняк* (мертвый древостой, протлевшая подстилка, зарастание черникой) – *горелая вырубка* (полное уничтожение лесного фитоценоза и лесной подстилки, эродированная до минеральной массы почва, фрагментарное зарастание территории). Учитывая близкое расположение модельных участков, позволяющее беспозвоночным активно мигрировать на их территории, очевидно, что различия в разнообразии и динамической плотности герпетобионтов определялись наличием-отсутствием лесной подстилки и ее гидротермическими свойствами, что подтверждено результатами корреляционного и кластерного анализов. На вырубке, несмотря на формирование лугового комплекса беспозвоночных в первые годы появления березового подроста, наличие подстилки и яруса напочвенной растительности имеет первостепенное значение для поддержания гидротермического режима, благоприятного для сохранения и восстановления горно-лесного комплекса беспозвоночных даже после полного уничтожения древесного полога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверина И.А. Динамика численности и размещение на гари Окского заповедника муравьев рода *Formica* // Мониторинг сообществ на горях и управление пожарами в заповедниках. М.: ВНИИ природы, 2002. С. 66–69.
- Архипова М.В., Исаченкова Л.Б. Динамика почвенно-растительного покрова экосистемы сосново-еловых лесов (на примере юго-западного Подмосковья) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2013. № 6. С. 491–501.

- Баккал И.Ю., Гориков В.В., Пазуха А.В.* Послепожарное восстановление напочвенного покрова еловых лесов Кольского полуострова // Бюлл. Ботанич. сада Саратовского гос. ун-та. 2006. В. 5. С. 74–77.
- Безкоровайная И.Н., Егунова М.Н.* Формирование комплексов почвенных беспозвоночных в процессе лесовосстановления (южная тайга, Центральная Сибирь) // Ульяновский мед.-биол. журн. 2011. № 4. С. 117–129.
- Безкоровайная И.Н., Иванова Г.А., Тарасов П.А., Сорокин Н.Д., Богородская А.В., Иванов В.А., Конрад С.Г., Макрае Д.Дж.* Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края // Сиб. экол. журн. 2005. Т. 12. № 1. С. 143–152.
- Брянин С.В., Суслонярова Е.С., Молчанов Д.А., Абрамова Е.Р.* Постпирогенный уголь как фактор почвообразования в таёжных лесах Дальнего Востока // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: матер. VII Всерос. научн. конф. с межд. уч. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 98–101.
- Буренина Т.А., Шишикин 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.
- 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., Низовцев Н.А.* Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почвы // Лесоведение. 2015. № 1. С. 52–62.
- Дымов А.А.* Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17070024>
- Дымов А.А., Лантева Е.М., Милановский Е.Ю.* Изменение почв и почвенного органического вещества в процессе естественного лесовозобновления после рубки сосняка бруснично-зеленомошного // Вестн. Московского гос. ун-та леса (Лесной вестник). М. 2012. Т. 2. № 85. С. 67–71.
- Дымов А.А., Милановский Е.Ю.* Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. 2014. № 1. С. 39–47.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14010043>
- Евдокименко М.Д.* Послепожарная динамика микроклимата и гидротермического режима мерзлотных почв в лиственничниках Станового хребта // Сибирский экол. журн. 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 Об-ва почвоведов им. В.В. Докучаева. М.: Белгород, 2016. В 2-х ч. Ч. 1. С. 221–222.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29090.63683>
- Зенкова И.В., Штабровская И.М., Усова Д.В.* Почвенная фауна вырубок и гарей Хибин // Вестник МГТУ. 2020. Т. 23. № 2. С. 160–172.
<https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172>
- Исаченкова Л.Б., Герасимова М.И.* Пространственно-временная организация почвенного покрова антропогенно-измененных лесов юго-западного Подмосковья // Пространственно-временная организация почвенного покрова антропогенно-измененных лесов, теоретические и прикладные аспекты: матер. Междунар. науч. конф. СПб. 2007. С. 434–437.
- Карпечко А.Ю.* Изменение плотности и корневая насыщенности почв под влиянием лесозаготовительной техники в еловых лесах Южной Карелии // Лесоведение. 2008. № 5. С. 66–70.
- Карпечко А.Ю.* Влияние рубок на сток с лесопокрытой части водосбора Онежского озера // Труды КарНЦ РАН. Лимнология и океанология. 2016. № 5. С. 13–20.
- Киселева Г.А.* Изменение водно-физических свойств почв в результате послепожарного заболачивания // Изменение почвенного покрова Дальнего Востока в результате сельскохозяйственного использования и мелиорации. Уссурийск: ПримСХИ. 1978. В. 52. С. 92–94.
- Краснощекоев Ю.Н.* Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных почв лиственничников Монголии // Почвоведение. 1994. № 9. С. 102–109.
- Краснощекоев Ю.Н., Сорокин Н.Д.* Почвенно-экологические изменения на вырубках и гарях Восточного Хэнтэя (МНР) // Почвоведение. 1988. № 1. С. 117–127.
- Лантева Е.М., Втюрин Г.М., Бобкова К.С., Каверин Д.А., Дымов А.А., Симонов Г.А.* Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок // Сибирский лесн. журн. 2015. № 5. С. 64–76.
<https://doi.org/10.15372/SJFS20150505>
- Лебедев А.В.* Гидрологическая роль горных лесов Сибири. Новосибирск: Наука, 1982. 182 с.
- Лопатовская О.Г., Максимова Е.Н., Попов В.В., Соловьева К.С.* Влияние сплошных рубок на лесорастительные свойства почв Братского района Иркутской области // Изв. Байкальского гос. ун-та. Экология. 2018. С. 159–165.
- Мерзляков О.Э.* Влияние сплошных рубок на изменение лесорастительных свойств мерзлотных грубогумусных почв // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2008. № 1(2). С. 71–81.
- Морозова Р.М.* Влияние концентрированных рубок еловых лесов на свойства почв // Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы. Петрозаводск. 2004. С. 182–184.
- Назаркина А.В.* Изменение плотности сложения и влагозапасов лесных почв долины р. Амур в результате действия пожаров // Вестн. КрасГАУ. 2009. № 4. С. 37–41.
- 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)
- Поляков В.Л.* Подпочвенное увлажнение несвязных несугфозионных грунтов в условиях интенсивного испарения // Прикладна гідромеханіка. 2010. Т. 12. № 3. С. 54–61.
- Потапова Н.А.* Почвенные беспозвоночные (мезофауна) – 20 лет наблюдений в Окском заповеднике // Мониторинг сообществ на гарях и управление пожарами в заповедниках. М.: ВНИИприроды, 2002. С. 57–65.
- Онучин А.А., Буренина Т.А., Зирюкина Н.В., Фарбер С.К.* Лесогидрологические последствия рубок в условиях Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 110–118.
- Регистраторы (логгеры) температуры и влажности / ООО “Инженерные Технологии” (Челябинск). URL: <https://gigrotermon.ru> (Дата обращения: 15.09.2021)

- Савельева Л.Ю., Долгин М.М. Структура населения жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) разновозрастных сосновых гарей подзоны средней тайги Республики Коми // Вестн. Поморск. ун-та. Сер. естеств. и точн. наук. 2008. № 1(13). С. 40–44.
- Савельева Л.Ю., Долгин М.М. Изменение структуры населения жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) сосновых гарей подзоны средней тайги Республики Коми // Изв. Самарск. НЦ РАН. 2009. Т. 11. С. 656–660.
- Тарасов П.А., Иванов В.А., Иванова Г.А. Особенности температурного режима почв в сосняках средней тайги, пройденных низовыми пожарами // Хвойн. бореал. 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.
- Тер-Мисакянц Т.А. Изменение биологических свойств дерново-карбонатных почв Кавказа после вырубki леса // Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. Естественные науки. 2013. № 3. С. 57–59.
- Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Ассоциации полициклических ароматических углеводородов в пройденных пожарами почвах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 3. С. 13–19.
- Яковлев Б.А. Климат Мурманской области. Мурманск: Книжн. изд-во, 1961. 200 с.
- Яковлев Е.Б. К характеристике комплексов ксилофитных жесткокрылых (Coleoptera) в лесах Карелии, не подвергавшихся лесоводственному уходу // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск. 1996. С. 139–166.
- Gongalsky K., Midgaard F., Overgaard H.J. Effects of prescribed forest burning on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae): A case study in south-eastern Norway // Entomol. Fennica. 2006. V. 17. № 3. P. 325–333.
- Gongalsky K.B., Persson T. Recovery of soil macrofauna after wildfires in boreal forests // Soil Biol. & Biochem. 2013. V. 57. P. 182–191.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.07.005>
- Guglielmino A. Dryinidae (Hymenoptera Chrysidoidea): an interesting group among the natural enemies of the Auchenorrhyncha (Hemiptera) // Denisia. 2002. V. 4. P. 549–556. URL: https://www.zobodat.at/pdf/DENISIA_0004_0549-0556.pdf
- Southwood T.R.E. Ecological methods. London. Chapman and Hall, 1978. 575 p.
- Zenkova I.V., Filippov B. Yu. The ground beetles fauna (Coleoptera, Carabidae) of natural and anthropogenic habitats in Khibiny polar massif. // The Proceed. of 8th Intern. Symp. of Ecol. (ISEM8). Pešić V. (ed.). Budva, Montenegro, 2019. P. 121–129.
- Yakovlev E.B., Scherbakov A.N., Polevoi A.V., Humala A.E. Insect fauna of the Paanajarvi National Park and proposed Kalevala National Park with particular emphasis on saproxylic Coleoptera, Diptera and Hymenoptera // Biodiversity of old-growth forests and its conservation in north-west Russia. Oulu, 2000. P. 103–158.

Hydrothermal Conditions Affecting the Forest Litter Invertebrates in the Cuttings and Burnt Areas of Khibiny Mountains

I. V. Zenkova^{1, *} and I. M. Shtabrovskaya¹

¹*Institute of Industrial Ecology Problems of the North, Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences”, Akademgorodok, 14a, Apatity, 184209 Russia*

*E-mail: i.zenkova@ksc.ru

Hydrothermal parameters and invertebrate fauna were studied in the soil cover of the Khibiny mountain pine forest and three sites of its anthropogenic transformation (burnt forest, felling, burnt felling) after two (2015) and 5–6 years (2018) impacts. Invertebrates were caught on all sites using formalin-based soil traps, and the temperature and humidity were measured at the litter depth of 5 cm by autonomous thermo-hydro-sensors. A steady increase of the moisture content in the litter of the burnt forest and in the clearing was revealed which corresponds to the ideas about the development of the processes of hydromorphism and waterlogging in such forest disturbance. Invertebrates of 34 taxonomic groups were captured with an increased diversity and dynamic density in the warmer season of 2018 compared to 2015. The largest diversity of taxa was in both burnt sites; the smallest, but with the maximal density of invertebrates was found in the clearing, and the minimal density in the twice disturbed burnt clearing. In a pair of adjacent control and burnt pine forest sites, 5 years after the fire, an increase in the invertebrate fauna structural difference was revealed compared to the second year. A strong correlation was established between the annual differences in the density of herpetobionts and the soil temperature ($r \geq 0.71$) and humidity ($-0.79 \leq r \leq -0.82$). The importance of forest litter has been confirmed for the preservation of the original fauna in mountain-forest clearings and burnt areas and for the maintenance of a hydrothermal regime favourable for its restoration.

Keywords: forest litter, temperature, humidity, invertebrates-herpetobionts, cuttings, burnt areas, Khibiny Mountains.

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of a State contract with the Federal Research Center KSC of the Russian Academy of Sciences (INEP) and supported by the Russian Foundation for Basic Research (postgraduate project № 20-34-90135).

REFERENCES

- Averina I.A., Dinamika chislennosti i razmeshchenie na gari Okskogo zapovednika murav'ev roda *Formica* (The dynamics of the number and placement of ants of the genus *Formica* on the burned areas of the Oksky Reserve), In: *Monitoring soobshhestva na garyax i upravlenie pozharami v zapovednikax* (Community monitoring in burnt areas and fire management in nature reserves), Moscow: VNIIPrirody, 2002, pp. 66–69.
- Arhipova M.V., Isachenkova L.B., Dinamika pochvenno-rastitel'nogo pokrova ekosistemy sosnovo-elovykh lesov (na primere yugo-zapadnogo Podmoskov'ya) (Dynamics of soil-vegetation cover of ecosystems of pine-spruce forests (on the example of the southwestern Moscow region)), *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*, 2013, № 6, pp. 491–501.
- Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Pazukha A.V., Poslepozharnoe vosstanovlenie napochvennogo pokrova elovykh lesov Kol'skogo poluostrova (Post-fire restoration of the ground cover of spruce forests of the Kola Peninsula), *Byull. Botanich. sada Saratovskogo gos. un-ta*, 2006, Vol. 5, pp. 74–77.
- Bezkorovainaya I.N., Egunova M.N., Formirovanie kompleksov pochvennykh bespozvonochnykh v protsesse lesovosstanovleniya (yuzhnaya taiga, Tsentral'naya Sibir') (Soil invertebrate complexes in reforestation (southern taiga, Central Siberia)), *Ul'yanovskii med.-biol. zhurn*, 2011, No. 4, pp. 117–129.
- Bezkorovainaya I.N., Ivanova G.A., Tarasov P.A., Sorokin N.D., Bogorodskaya A.V., Ivanov V.A., Konard S.G., Makrae D.Dzh., Pirogennaya transformatsiya pochv sosnyakov srednei taigi Krasnoyarskogo kraia (Pyrogenic transformation of soils in pine forests in the middle taiga of the Krasnoyarsk Territory), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2005, Vol. 12, No. 1, pp.143–152.
- Bryanin S.V., Susloparova E.S., Molchanov D.A., Abramova E.R., Postpirogenny'j ugol' kak faktor pochvoobrazovaniya v tayozhny'x lesax Dal'nego Vostoka (Postpyrogenic coal as a factor of soil formation in the taiga forests of the Far East), *Lesnye pochvy i funktsionirovanie lesnykh ekosistem* (Forest soils and the functioning of forest ecosystems), Proc. of the VII All-Russian scientific conf. with international participation, Moscow: TsEPL RAN, 2019, pp. 98–101.
- Burenina T.A., Shishikin A.S., Onuchin A.A., Borisov A.N., Snezhnyi pokrov na vyrubkakh raznykh let v pikhtovokedrovnykh lesakh Eniseiskogo kryazha (Snow cover in clearings of different years in fir-cedar forests of the Yenisei Ridge), *Lesovedenie*, 2013, No. 6, pp. 26–36.
- Dmitriev A.S., *Zabolachivanie i razbolachivanie kontsen-trirovannykh vyrubok v borakh- chernichnikakh v basseine Sysoly (Komi ASSR). Avtoref. diss. kand. s-kh. nauk.* (Swamping and shallowing of concentrated clearings in blueberry forests in the Sysola basin (Komi ASSR). Extended abstract of Candidate's agric. sci. thesis), *Syktvykar*, 1950, 16 p.
- Dymov A.A., Gabov D.N., Dubrovskii Yu.A., Zhan-gurov E.V., Nizovtsev N.A., Vliyanie pozhara v severotaezhnom el'nike na organicheskoe veshchestvo pochvy (In-fluence of clearcutting in boreal forests on soils (review)), *Lesovedenie*, 2015, No. 1, pp. 52–62.
- Dymov A.A., The impact of clearcutting in boreal forests of Russia on soils: a review, *Eurasian Soil Science*, 2017, Vol. 50, No. 7, pp. 780–790. DOI 10.1134/S106422931707002X
- Dymov A.A., Lapteva E.M., Milanovskii E.Yu., Izmenenie pochv i pochvennogo organicheskogo veshchestva v protsesse estestvennogo lesovozobnovleniya posle rubki sosnyaka brusnichno-zelenomoshnogo (Changes in soils and soil organic matter in the process of natural reforestation after cutting of a cowberry-green moss pine forest), *Vestn. Moskovskogo gos. un-ta lesa (Lesnoi vestnik)*, 2012, Vol. 2, № 85, pp. 67–71.
- Dymov A.A., Milanovskii E.Yu., Izmenenie organicheskogo veshchestva taezhnykh pochv v protsesse estestvennogo lesovozobnovleniya rastitel'nosti posle rubok (srednyaya taiga Respubliki Komi) (Changes in the organic matter of taiga soils in the process of natural reforestation of vegetation after felling (middle taiga of the Komi Republic)), *Pochvovedenie*, 2014, No. 1, pp. 39–47. DOI 10.7868/S0032180X14010043
- Evdokimenko M.D., Poslepozharnaya dinamika mikroklimata i gidrotermicheskogo rezhima merzlotnykh pochv v listvennichnikakh Stanovogo khrehta (Postfire dynamics of microclimate and hydrothermal regime of permafrost soils in larch forests of Stanovoy ridge), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 1996, No. 1, pp. 73–79.
- Gongalsky K., Midtgaard F., Overgaard H.J., Effects of prescribed forest burning on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae): A case study in south-eastern Norway, *Entomol. Fennica*, 2006, Vol. 17, No. 3, pp. 325–333.
- Gongalsky K.B., Persson T., Recovery of soil macrofauna after wildfires in boreal forests, *Soil Biol. & Biochem.*, 2013, Vol. 57, pp. 182–191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.07.005>
- Gugliemino A., Dryinidae (Hymenoptera Chrysidoidea): an interesting group among the natural enemies of the Auchenorrhyncha (Hemiptera), *Denisia*, 2002, Vol. 4, pp. 549–556. URL: https://www.zobodat.at/pdf/DENISIA_0004_0549-0556.pdf.
- Zenkova I.V., Pochva i pochvennaya fauna pirogennogo lesa: posledstviya nizovogo pozhara v Khibinskom gornom massive (Soil and soil fauna of the pyrogenic forest: the consequences of a ground fire in the Khibiny mountain range), *Pochvovedenie – prodovol'stvennoi i ekologicheskoi bezopasnosti strany* (Soil science – food and environmental security of the country), Conf. abst. of VII Congress of the Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev, Belgorod, 2016, Vol. I, pp. 221–222. DOI 10.13140/RG.2.2.29090.63683
- Zenkova I.V., Shtabrovskaya I.M., Usova D.V., Pochvennaya fauna vyrubok i garei Khibin (Soil fauna of felling sites and burnt-out areas of the Khibiny), *Vestnik MGTU*, 2020, Vol. 23, No. 2, pp. 160–172. DOI 10.21443/1560-9278-2020-23-2-160-172
- Isachenkova L.B., Gerasimova M.I., Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya pochvennogo pokrova antropogenno-izmenennykh lesov yugo-zapadnogo Podmoskov'ya (Spatio-temporal organization of soil cover in anthropo-

- genically altered forests in the southwestern Moscow region), *Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya pochvennogo pokrova, teoreticheskie i prikladnye aspekty* (Spatial-temporal organization of the soil cover, theoretical and applied aspects), Proc. of International Sci. Conf., Saint Petersburg, 2007. pp. 434–437.
- Karpechko A.Yu., *Izmenenie plotnosti i kornenasyshchenosti pochv pod vliyaniem lesozagotovitel'noi tekhniki v elovykh lesakh Yuzhnoi Karelii* (Changes in density and root mass in soils under the influence of harvesting machines in spruce forests of southern Karelia), *Lesovedenie*, 2008, No. 5, pp. 66–70.
- Karpechko A.Yu., *Vliyanie rubok na stok s lesopokrytoy chasti vodosbora Onezhskogo ozera* (Impact of felling on the runoff from the forest-covered part of the catchment area of Lake Onega), *Trudy KarNTs RAN. Limnologiya i okeanologiy*, 2016, No. 5, pp. 13–20.
- Kiseleva G.A., *Izmenenie vodno-fizicheskikh svoystv pochv v rezul'tate poslepozharnogo zabolachivaniya* (Changes in the water-physical properties of soils as a result of post-fire swamping), In: *Izmenenie pochvennogo pokrova Dal'nego Vostoka v rezul'tate sel'skokhozyaistvennogo ispol'zovaniya i melioratsii* (Changes in the soil cover of the Far East as a result of agricultural use and melioration), Usuriisk: PrimSKhI, 1978, Vol. 52, pp. 92–94.
- Krasnoshchekov Yu.N., *Vliyanie pozharov na svoystva gornyykh dernovo-taehnykh pochv listvennichnikov Mongoli* (Influence of fires on the properties of mountain sod-taiga soils of larch forests in Mongolia), *Pochvovedenie*, 1994, No. 9, pp. 102–109.
- Krasnoshchekov Yu.N., Sorokin N.D., *Pochvenno-ekologicheskie izmeneniya na vyrubkakh i garyakh Vostochnogo Khenteya (MNR)* (Soil-ecological changes in felling areas and burnt-out areas of Eastern Khentei (Mongolian People's Republic)), *Pochvovedenie*, 1988, No. 1, pp. 117–127.
- Lapteva E.M., Vtyurin G.M., Bobkova K.S., Kaverin D.A., Dymov A.A., Simonov G.A., *Izmenenie pochv i pochvennogo pokrova elovykh lesov posle sploshnolesosechnyykh rubok* (Changes in soils and soil cover of spruce forests after clear-cut felling), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2015, No. 5, pp. 64–76. DOI 10.15372/SJFS20150505
- Lebedev A.V., *Gidrologicheskaya rol' gornyykh lesov Sibiri* (Hydrological role of Siberian mountain forests), Novosibirsk, Nauka, 1982, 182 p.
- Lopatovskaya O.G., Maksimova E.N., Popov V.V., Solov'eva K.S., *Vliyanie sploshnykh rubok na lesorastitel'nye svoystva pochv Bratskogo raiona Irkutskoi oblasti* (Influence of clearcutting on the forest growing properties of soils in the Bratsk district of the Irkutsk region), *Izv. Baikalskogo gos. un-ta. Ekologiya*, 2018, pp. 159–165.
- Merzlyakov O.E., *Vliyanie sploshnykh rubok na izmenenie lesorastitel'nykh svoystv merzlotnykh grubogumusnykh pochv* (Influence of clearcutting on changes in forest growth properties of permafrost coarse-humus soils), *Vestn. Tom. gos. un-ta. Biologiya*, 2008, № 1(2), pp. 71–81.
- Morozova R.M., *Vliyanie kontsentrirovannykh rubok elovykh lesov na svoystva pochv* (Influence of concentrated felling of spruce forests on soil properties), In: *Antropogennaya transformatsiya taehnykh ekosistem Evropy* (Anthropogenic transformation of taiga ecosystems in Europe), Petrozavodsk, 2004, pp. 182–184.
- Nazarkina A.V., *Izmenenie plotnosti slozheniya i vlagozapasov lesnykh pochv doliny r. Amur v rezul'tate deistviya pozharov* (Changes in the bulk density and moisture reserves of forest soils in the valley of the Amur as a result of the action of fires), *Vestnik KrasGAU*, 2009, No. 4, pp. 37–41.
- Novosti-24 ot 29.08.12: V Murmanskoi oblasti v Khibinakh vyrubleno okolo 100 ga lesa* (In the Murmansk region in the Khibiny, about 100 hectares of forest were cut down), *Komsomol'skaya pravda–Murmansk*, available at: <https://www.murmansk.kp.ru/online/news/1234173/> (October 01, 2021)
- Polyakov V.L., *Podpochvennoe uvlazhnenie nesvyaznykh nesuffuzionnykh gruntov v usloviyakh intensivnogo ispareniya* (Subsoil moistening of non-cohesive non-suffusive soils under conditions of intense evaporation), *Prikladna gidromekhanika*, 2010, Vol. 12, № 3, pp. 54–61.
- Potapova N.A., *Pochvennye bespozvonochnye (mezofauna) – 20 let nablyudeniya v Okskom zapovednike* (Soil invertebrates (mesofauna) – 20 years of observations in the Oksky Reserve), In: *Monitoring soobshhestva na garyax i upravlenie pozharami v zapovednikakh* (Community monitoring in burnt areas and fire management in nature reserves), Moscow: VNIIPrirody, 2002, pp. 57–65.
- Onuchin A.A., Burenina T.A., Ziryukina N.V., Farber S.K., *Lesogidrologicheskie posledstviya rubok v usloviyakh Srednei Sibiri* (Forest hydrological consequences of felling in the conditions of Central Siberia), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2014, No. 1, pp. 110–118.
- Registratory (loggery) temperatury i vlazhnosti* (Recorders (loggers) of temperature and humidity), ООО “Инженерные Технологии” (Chelyabinsk), Available at: <https://gigrotermon.ru> (September 15, 2021)
- Savel'eva L.Yu., Dolgin M.M., *Struktura naseleniya zhestkokrylykh (Insecta: Coleoptera) raznovozrastnykh osnovnykh garei podzony srednei taigi Respubliki Komi* (Population structure of coleoptera (Insecta: Coleoptera) of uneven-aged pine burns in the middle taiga subzone of the Komi Republic), *Vestnik Pomorskogo un-ta. Ser. Estestvennye i tochnye nauki*, 2008, No. 1(13), pp. 40–44.
- Savel'eva L.Yu., Dolgin M.M., *Izmenenie struktury naseleeniya zhestkokrylykh (Insecta: Coleoptera) osnovnykh garei podzony srednei taigi Respubliki Komi* (Changes in the structure of the population of coleoptera (Insecta: Coleoptera) pine burns in the middle taiga subzone of the Komi Republic), *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2009, Vol. 11, pp. 656–660.
- Tarasov P.A., Ivanov V.A., Ivanova G.A., *Osobennosti temperaturnogo rezhima pochv v sosnyakakh srednei taigi, proidennykh nizovymi pozharami* (Features of the temperature regime of soils in pine forests of the middle taiga, traversed by ground fires), *Khvoynye boreal'noi zony*, 2008, Vol. 25, pp. 300–304.
- Tarasov P.A., Ivanov V.A., Ivanova G.A., Krasnoshchekova E.N., *Post-pyrogenic changes in the hydrothermal parameters of soils in middle-taiga pine forests*, *Eurasian Soil Science*, 2011, Vol. 44, No. 7, pp. 731–738. DOI 10.1134/S1064229311070131

- Ter-Misakyants T.A., *Izmenenie biologicheskikh svoystv dernovo-karbonatnykh pochv Kavkaza posle vyrubki lesa* (Changes in the biological properties of soddy calcareous soils of the Caucasus after deforestation), *Izv. vuzov. Severo-Kavkaz. region. Estestvennye nauki*, 2013, No. 3, pp. 57–59.
- Tsibart A.S., Gennadiev A.N., *Assotsiatsii politsiklicheskih aromatischeskikh uglevodorodov v proidennykh pozharami pochvakh* (Associations of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils affected by fires), *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*, 2011, No. 3, pp. 13–19.
- Yakovlev B.A., *Klimat Murmanskoi oblasti* (The climate of the Murmansk region), Murmansk: Knizhn. izd-vo, 1961, 200 p.
- Yakovlev E.B., *K kharakteristike kompleksov ksilofitnykh zhechkokrylykh (Coleoptera) v lesakh Karelii, ne podvergovshikhsya lesovodstvennomu ukhodu* (On the characterization of complexes of xylophytichoeoptera (Coleoptera) in the forests of Karelia, not subjected to silvicultural care), In: *Problemy antropogennoi transformatsii lesnykh biogeotsenozov Karelii* (Problems of Anthropogenic Transformation of Forest Biogeocenoses in Karelia), Petrozavodsk, 1996, pp. 139–166.
- Southwood T.R.E., *Ecological methods*, London: Chapman and Hall, 1978, 575 p.
- Zenkova I.V., Filippov B.Yu., *The ground beetles fauna (Coleoptera, Carabidae) of natural and anthropogenic habitats in Khibiny polar massif*, *The Proceed. of 8th Intern. Symp. of Ecol. (ISEM8)*, Budva, Montenegro, 2019, pp. 121–129.
- Yakovlev E.B., Scherbakov A.N., Polevoi A.V., Humala A.E., *Insect fauna of the Paanajarvi national Park and proposed Kalevala National Park with particular emphasis on saproxyllic Coleoptera, Diptera and Hymenoptera*, In: *Biodiversity of old-growth forests and its conservation in north-west Russia*, Oulu, 2000, pp. 103–158.