

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*435:582.475

**ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ
ПОСЛЕПОЖАРНЫХ СОСНЯКОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО
ПРИБАЙКАЛЬЯ***

© 2012 г. Э. Ф. Ведрова, М. Д. Евдокименко, И. Н. Безкорвайная,
Л. В. Мухортова, Ю. С. Чередникова

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск Красноярского края, Академгородок*

E-mail: biosoil@forest.akadem.ru

Поступила в редакцию 1.04.2011 г.

Обсуждается изменение массы и состава органического вещества в фитомассе и почве сосняков под воздействием пожара средней и высокой интенсивности. Показано, что влияние пожара средней интенсивности не сказалось катастрофически на пуле углерода в средневозрастных сосняках подтаежно-лесостепного и таежного высотного-поясного комплекса Юго-Западного Прибайкалья. В приспевающем таежном сосняке спустя 5 лет после пожара высокой интенсивности пул С оставался на 20% ниже, чем в негоревшем варианте. Масса С в фитомассе древостоя по сравнению с контролем уменьшилась на 18%, напочвенного покрова – на 63%. Наполовину снизились запасы углерода в легкоминерализуемой фракции органического вещества из-за выгорания грубых древесных остатков (на 64%) и корневого детрита (на 50% по сравнению с контрольным древостоем).

Фитомасса, древостой, травяно-кустарничковый ярус, легкоминерализуемое и стабильное органическое вещество почвы, интенсивность пожара.

Взаимодействие многочисленных прямых и обратных процессов (потоков) между основными блоками экосистемы – растительностью и почвой – обуславливает ее формирование и функционирование. В естественных условиях взаимоотношения обменных потоков складываются в направлении поддержания устойчивого равновесия массы вещества в компонентах экосистемы и в экосистеме в целом. Любое нарушение экологических условий, в том числе антропогенное воздействие, изменяет интенсивность и направленность потоков вещества и энергии, нарушая режим функционирования экосистемы [1, 2, 6–8, 19, 21, 22]. Наибольший ущерб лесам наносят пожары, изменяя структуру лесных экосистем и определяя их динамику.

Одной из задач исследования антропогенной дигрессии в лесных экосистемах Центральной экологической зоны (ЦЭЗ) Байкальской природной территории явилась количественная

оценка динамики органического вещества (ОВ) в растительности и почве. Гетерогенность ОВ почвы по генезису, биохимическому составу, морфологической структуре, устойчивости к биотрансформации и внешним воздействиям обуславливает необходимость его разделения на легкогидролизуюмую и стабильную фракции [3]. В состав легкоминерализуемой фракции входят компоненты, активно участвующие в обменных процессах между фитомассой растительного блока экосистемы, гумусом почвы и атмосферой. К ним относятся фитодетрит на поверхности почвы (валеж, лесная подстилка) и в её толще (корневой детрит), биомасса микроорганизмов (C_{mb}) и почвенных беспозвоночных, легкогидролизуемая часть собственно гумуса почвы вместе с новообразованными гумусовыми веществами разлагающегося фитодетрита – подвижное ОВ ($C_{подв}$). Лесную подстилку – неотъемлемый генетический горизонт, часть гумусово-аккумулятивной толщи почвенного профиля, как правило, представляют морфологически четко диагностируемые подгоризонты из органических остатков растительного

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 08-04-00027а) и интеграционного проекта СО РАН № 50.

происхождения, в разной степени измененных процессами биоразложения: OL, OF и OH. Корневой детрит, как и подстилка, неоднороден по составу и степени изменения процессами биохимической трансформации. Он подразделяется на мертвые корни и фракцию “прочий корневой детрит” (или “прочая мортмасса”).

Стабильная (устойчивая к биотрансформации) фракция ОВ почвы представлена гумусовыми веществами ($C_{\text{стаб}}$). Она характеризует типовые признаки почв, формирующиеся в течение длительного времени, и обуславливает окраску, структурный состав, гидротермические и физико-химические характеристики почв, емкость поглощения, буферность, потенциальные запасы элементов минерального питания и азота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в средневозрастных и приспевающих светлохвойных насаждениях Голоустненского лесничества Иркутской области. Пробные площади заложены в буферной зоне Прибайкальского национального парка. Поскольку лесные массивы в ЦЭЗ наиболее пострадали от лесопирогенной аномалии 2000–2003 гг., эти пробные площади репрезентативны в отношении основного деструктивного фактора (пожаров) антропогенной дигрессии. Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений на пробных площадях приведена в табл. 1.

Первая серия пробных площадей (пр. пл.) заложена в высотном поясе комплекса подтаежно-лесостепных сосновых лесов, в сосняке осочково-остепленно-разнотравном (восточный макросклон Приморского хребта). Пробные площади расположены на шлейфе в нижней части юго-западного склона крутизной не более 5°, с абсолютными отметками 555 м над ур. моря. Здесь в июле 2003 г. возник крупный пожар, от которого повреждено около 800 га лесных насаждений.

Пр. пл. 1 отражает характерную обстановку низового пожара средней интенсивности. После пожара 5-летней давности на стволах деревьев отчетливо заметны огневые повреждения. Средняя высота кольцевого нагара составила 1.1 м. Прогорание поверхности почвы неравномерное, следствием этого является неравномерность в распределении растительного покрова – проективное покрытие колеблется от 30 до 50%. Наиболее затронутые огнем участки зарастают кипреем (*Chamerion angustifolium*), других видов сорного и гаревого разнотравья нет. Преобладают виды лесостепного комплекса с небольшим обилием (sp): горошек однопарный (*Vicia unijuga*),

горошек многостебельчатый (*V. multicaulus*), чина низкая (*Lathyrus humilis*), ирис (*Iris ruthenica*), астра альпийская (*Aster alpinus*), герань ложносибирская (*Geranium pseudosibiricum*), подмаренник настоящий (*Galium verum*), прострел (*Pulsatilla flavescens*), осока стоповидная (*Carex pediformis*), костяника (*Rubus saxatilis*), купена душистая (*Polygonatum odoratum*), полынь пижмолистная (*Artemisia tanacetifolia*) и др. Небольшими пятнами отмечены виды борových местообитаний – одноцветка (*Moneses uniflora*), гудайера (*Goodyera repens*). Подлесок представлен единичными экземплярами спиреи средней (*Spiraea media*); имеются редкие всходы сосны. Моховой покров в виде небольших пятен сформирован возле стволов деревьев и образован ритидиумом (*Rhizidium rugosum*). На данном участке пожар повлиял на степень развития и снижения жизнеспособности травостоя и его обилия, наблюдается некоторое обеднение его видового состава. Однако все эти изменения не носят необратимого характера.

Пр. пл. 2 рассматривается в качестве контрольной. Судя по объективным внешним признакам, участок пройден очень слабым низовым огнем; это окраина пожарища, где кромка огня была угасающей, несплошной. Высота кольцевого нагара на деревьях, попавших в зону распространения огня, составляет 0.3 м. Напочвенный покров обгорел фрагментарно, образовалась своеобразная мозаика участков с преобладанием негоревших фрагментов. Древостой с неравномерным распределением деревьев представлен редкостойным сосняком с примесью лиственницы. Травостой подтаежно-лесостепного облика с включением степных видов. Общее проективное покрытие 80%. Доминируют осока стоповидная, горошек однопарный, прострел, костяника, герань ложносибирская. Достаточно обильны полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii*), ирис, горичник байкальский (*Peucedanum baicalense*), борец бородатый (*Aconitum barbatum*). Подлесок из единичных кустов спиреи, кизильника (*Cotoneaster melanocarpus*). В почвенном покрове пробных площадей распространены серогумусовые типичные темнопрофильные почвы [9, 10].

Вторая серия пробных площадей заложена в высотном поясе комплекса таежных сосновых лесов, в сосняке рододендрово-бруснично-разнотравном. Они расположены в средней части склона восточно-северо-восточной экспозиции крутизной 15°, с абсолютными отметками 730 м над ур. моря и отличаются по интенсивности пожара, прошедшего в 2003 г. на общей площади 20 га. Наличие минерализованной полосы отделяет горевший древостой от незатронутого пожа-

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений на пробных площадях

Номер пробной площади	Вид и интенсивность пожара	Состав древостоя	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Сумма площадей сечения, м ² га ⁻¹	Полнота	Запас древесины, м ³ га ⁻¹	Отпад (усохшие деревья), м ³ га ⁻¹
Сосняк осочково-остепенно-разнотравный									
1	Низовой, средняя	5С 5Л	65	20.5	23.3	24.8	0.68	277	19.0
2к	Низовой, низкая	4С 6Л ед.Б	65	20.1	22.4	25.6	0.70	289	4.4
Сосняк рододендронов-бруснично-разнотравный									
3к	Без пожара	8С 2Л + Б	95	23.1	25.4	30.7	0.88	345	9.1
4	Низовой, средняя	8С 2Л ед.Б	95	22.2	24.7	28.7	0.82	323	14.4
5	Низовой, высокая	9С 1Л	95	21.6	23.8	25.5	0.73	284	32.2

ром, в котором была заложена контрольная пробная площадь 3. На пр. пл. 3 древостой подвергался давним по времени пожарам; об его отсутствии в последнее время свидетельствует обомшелый валеж, покрытый гипновыми мхами (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*), и подрост кедра (*Pinus sibirica*), высотой 1–1.2 м, хорошего состояния с нормальным приростом по высоте. Подрост сосны (*Pinus sylvestris*) представлен с меньшей численностью, в подлеске – единичные экземпляры кизильника, спиреи и густой полог рододендрона даурского (*Rhododendron dauricum*). Травяно-кустарничковый ярус равномерного сложения, проективное покрытие 60–70%, с заметным доминированием брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), осочки (*Carex pennisetum*), ириса. Прочие виды небилны, представлены разнотравьем, типичным для подтайги (чина низкая, горошек однопарный, подмаренник северный (*Gallium boreale*), костяника, прострел, ветреница длинно-волосистая (*Anemonastrum crinitum*), герань ложносибирская, ястребинка (*Hieracium umbellatum*) и др.). Видовой состав достаточно велик. Мхи на почве распространены очень небольшими пятнами (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*). К обомшелому валежу приурочен багульник (*Ledum palustre*).

Пр. пл. 4 характеризует участок соснового леса, пройденного пожаром средней интенсивности, кольцевой нагар составил в среднем 1.4 м. Односторонний предельный нагар свидетельствует о пиках пламени на кромке пожара в пределах 2–4 м. Последствия пожара выражаются в обгорании коры и кустов рододендрона, который отрастает от корня и сверху. Отмечено термиче-

ское повреждение крон деревьев нижнего полога. Имеется валеж березы, сухостой березы и лиственницы. Подрост уничтожен, имеются всходы сосны, березы. В напочвенном покрове доминируют те же виды растений, что и на контрольном участке: осочка, брусника, ветреница, горошек однопарный, костяника, чина низкая, ирис. Сохранились пятна мхов, багульник (особенно в мелких углублениях). Проектное покрытие травяно-кустарничкового яруса – 50%.

Пр. пл. 5 заложена на участке соснового леса, пройденного низовым пожаром высокой интенсивности. Здесь наблюдается наиболее тяжелая картина огневых повреждений древесных насаждений. Подлесок рододендрона сторел полностью. Средняя высота кольцевого нагара на стволах деревьев составила 2.5 м, предельный нагар колебался в пределах 4–6 м. В центральной части пробной площади отмечены следы локальной вспышки верхового огня. Проектное покрытие травяно-кустарничкового яруса уменьшается до 30–40%. На обнаженных участках появляются всходы и самосев сосны. На участках с полным прогоранием и в особенности лишенных деревьев разрастается осочка и имеются заросли кипрея.

В почвенном покрове пробных площадей фоновыми служат серогумусовые глинисто-иллювирированные хрящевато-глинистые почвы [10].

На пробных площадях проведен сплошной пересчет деревьев с измерением их диаметра и высоты, с последующим расчетом запаса древесины. Определение массы органического вещества проведено с использованием содержания в ней углерода.

Масса живого напочвенного покрова определена методом укусов в фазу максимального развития растений на площадках размером 25×25 см, в 10-кратной повторности [18]. Для отбора проб подстилки ($n = 10$) использовался шаблон площадью 0.031 м^2 . Учет корневого детрита ($n = 10$) проводился методом почвенных монолитов размером $20 \times 20 \times 20$ см. После изъятия монолитов из слоев 0–5, 5–10, 10–15 и 15–20 см из стенок образовавшегося “микроразреза” отбирались образцы почвы для определения объемной массы и химического анализа. Валеж учитывался внутри ленты (ленточный метод), площадь которой составляла около 10% пробной площади. В её границах измерялись длина и диаметры противоположных концов каждого учитываемого объекта с классификацией его по трехбалльной шкале разложения. Для последующего химического анализа и определения плотности разлагающейся древесины выпиливались (или вырезались, в зависимости от степени разложения) образцы древесины с учетом класса разложения и (по возможности) породного состава. Плотность образцов древесины живого дерева ($459 \pm 9 \text{ кг м}^{-3}$), сухостоя ($572 \pm 21 \text{ кг м}^{-3}$) и валежа разных классов разложения (1-й класс – $562 \pm 25 \text{ кг м}^{-3}$, 2-й – 495 ± 46 , 3-й – $260 \pm 13 \text{ кг м}^{-3}$) определяли методом измерения выталкивающей силы образцов, погруженных в воду [16, 23].

Для учета крупных беспозвоночных (размер >2 мм) – дождевых червей, энхитреид (особи, извлекаемые при ручной разборке проб), членистоногих – использовали прямые методы, общепринятые в почвенно-зоологических исследованиях: послойный отбор проб с последующей разборкой с использованием колонки почвенных сит [4, 5]. На каждой пробной площади пробы (размером 25×25 см) отбирались в 5-кратной повторности по слоям: подстилка, 0–20 см. Биомассу определяли весовым методом после ее высушивания при $t = 105^\circ\text{C}$ [12].

В лаборатории образцы подстилки разбирались на фракции: морфологически сохранившиеся остатки опада ярусов фитоценоза (слой OL подстилки), в том числе хвоя, листья, веточки (диаметром < 5 мм), шишки, кора, листья кустарничков. Отдельно выбирали живые и мертвые корни, угли, фрагменты неразложившейся древесины. Оставшаяся масса образца подстилки просеивалась через сито диаметром 1 мм. Органическая масса диаметром менее 1 мм характеризовала слой ОН (гумификации) подстилки, с диаметром более 1 мм – слой OF (ферментации) подстилки, представляющий собой растительные остатки, в разной степени затронутые процессами разложения.

Корневая масса из монолитов отмывалась от мелкозема в проточной воде с использованием набора почвенных сит с минимальным диаметром ячеек 0.5 мм. Из отмытой массы отбирали живые и морфологически сохранившиеся мертвые корни. Оставшиеся мертвые растительные остатки (отшелушившаяся кора, корневые чехлики, грибной мицелий, труха разложившихся корней и древесины, угли) объединяли во фракцию “прочий корневой детрит (прочая мортмасса)”. Общая масса мертвых корней в подстилке и минеральном слое почвы 0–20 см вместе с фракцией “прочий корневой детрит” характеризует запас корневого детрита размером 0.5–5 мм в составе мертвого органического вещества почв.

Каждая фракция (образец) растительного материала взвешивалась, определялась ее влажность и рассчитывалась сухая масса. Для химического анализа подстилки и корневого детрита использовался средний образец фракции, приготовленный из 10 повторностей с каждой пробной площади.

В растительных и почвенных образцах определена микробная биомасса регидратационным методом [14] и концентрация общего и подвижного углерода при последовательной обработке образцов дистиллированной водой и 0.1-нормальным раствором NaOH. Окисление органических соединений проводили по методу Тюрина. Гуминовые кислоты в щелочной вытяжке осаждали однонормальным раствором H_2SO_4 [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При одинаковой интенсивности пожара его последствия зависят от возраста насаждений. Если в средневозрастных сосняках после пожара средней интенсивности (пр. пл. 1) отпад деревьев в 4.2 раза выше, чем в контрольном насаждении, то большая часть деревьев старшей возрастной группы (пр. пл. 4) переносит такой пожар благополучно. Отмирают в основном маложизнеспособные деревья нижнего яруса с тонкой корой. В старшей возрастной группе послепожарный отпад как признак повреждения древостоя огнем [13, 15] резко выражен на пр. пл. 5, пройденной пожаром высокой интенсивности: здесь он в 3.5 раза превысил контрольный уровень, здесь же отмечено снижение относительной полноты древостоя до 0.73 против 0.88 на контрольном участке.

Фитомасса насаждений обеих групп сосняков практически полностью представлена древесным ярусом (табл. 2). Ее запасы в остепненном сосняке составляют $416\text{--}435 \text{ т га}^{-1}$ ($109\text{--}218 \text{ т С га}^{-1}$), в таежном – $426\text{--}521 \text{ т га}^{-1}$ ($214\text{--}262 \text{ т С га}^{-1}$).

Таблица 2. Фитомасса насаждений пробных площадей, т га⁻¹

Компонент фитомассы	Сосняк осочково-остепненно-разнотравный		Сосняк рододендрово-бруснично-разнотравный		
	пр. пл. 2к	пр. пл. 1	пр. пл. 3к	пр. пл. 4	пр. пл. 5
Фитомасса общая, в т.ч.	435.22	416.24	521.32	485	426.01
древостоя	430	413	514	481	423
надземная	357	343	427	399	351
корни	73	70	87	82	72
напочвенного покрова	5.22±0.81	3.24±0.74	7.32±0.84	4.00±0.71	3.01±0.78
надземная	0.87±0.20	0.66±0.24	0.93±0.13	0.54±0.77	0.35±0.04
корни	4.35±0.67	2.58±0.58	6.39±0.81	3.46±0.76	2.66±0.74

Пожар средней интенсивности незначительно повлиял на фитомассу древостоя: снижение запаса относительно контроля спустя 5 лет после пожара составляет 4 и 6%, соответственно, в сосняках остепненно-разнотравном и рододендрово-бруснично-разнотравном. Наиболее разрушающее влияние пожар оказал на напочвенный покров. В остепненном сосняке через пять лет после пожара масса надземной части растений травяно-кустарничкового яруса была на 24%, а подземной – на 41% ниже, чем в контрольном древостое. В сосняке рододендрово-бруснично-разнотравном напочвенный покров в насаждениях с низкой и высокой интенсивностью пожара восстановился, соответственно, на 55 и 41%.

Сосняк остепненный на пробных площадях незначительно различается по запасам углерода в органическом веществе почвы ($C_{орг}$), примерно в равных долях распределенном между легкоминерализуемой и стабильной фракциями (табл. 3). На контрольном участке основная масса (14.25 т С га⁻¹) в составе легкоминерализуемой фракции приходится на подстилку и корневой детрит. В подстилке преобладают ферментированные, частично гумифицированные, в большинстве своем не сохранившие морфологической структуры растительные остатки подгоризонта ОФ. Корневой детрит практически целиком состоит из фракций “прочая мортмасса”. Грубые древесные остатки в массе $C_{орг}$ почвы составляют 5% и представлены на 73% слабо разложившимися (1 класс разложения) ветками разной длины (от 0.7 до 3.6 м) и диаметра (от 1 до 4 см).

Спустя 5 лет после пожара средней интенсивности (пр. пл. 1) общие закономерности в распределении пула $C_{орг}$ серогумусовой почвы практически не отличаются от контрольного сосняка (табл. 3). При близких запасах С в подстилке несколько изменилось соотношение масс растительных остатков разных подгоризонтов: наблю-

дается снижение доли неразложившихся фракций древесного опада (OL) и адекватное увеличение ферментированного сильно разложившегося материала. Запасы С в грубых древесных остатках ниже, чем в контрольном сосняке, но долевое участие в массе $C_{орг}$ почвы осталось прежним. Изменился их состав: более половины запаса приходится на выпавшие стволы сосны длиной до 4.3 м и диаметром от 7.2 до 9.5 см.

Запасы ОВ в корневом детрите сосняка на пр. пл. 1 ниже, чем в контрольном насаждении. В нем появились угли, доля мертвых корней увеличилась до 6% против 1% на контрольном участке. Можно предположить, что более низкие запасы корневого детрита, также как и запасы гумуса в почве сосняка пр. пл. 1, скорее всего, являются следствием исходной неоднородности, а не влияния пожара. В целом, судя по анализу данных, влияние пожара средней интенсивности не сказалось катастрофически на компонентах пула углерода сосняка осочково-остепненно-разнотравного.

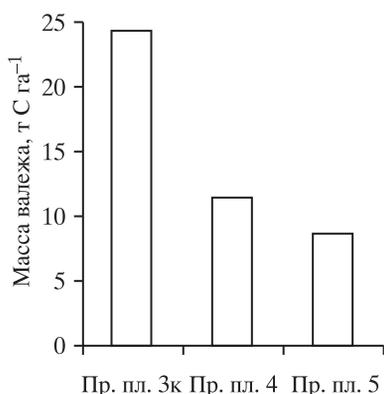
При сравнении вариантов таежного сосняка отмечается, что, как и в подтаежно-лесостепном сосняке, максимум запаса почвенного ОВ приходится на контрольное насаждение – 74.32 т С га⁻¹, минимум – на насаждение пр. пл. 5 с сильным воздействием пожара – 56.62 т С га⁻¹ (табл. 3). В отличие от остепненного сосняка, в стабильном гумусе слоя 0–20 см контрольного варианта аккумуляровано лишь около 30% общего $C_{орг}$ почвенного блока, основная его часть представлена легкоминерализуемой фракцией с преобладанием грубого древесного материала и корневого детрита. С увеличением интенсивности пожара участие стабильного гумуса почвы в формировании пула С увеличивается до 55% (пр. пл. 5) за счет снижения массы компонентов растительного происхождения. Если пожар средней интенсивности в остепненном сосняке лишь на 13% снизил массу углерода легкоминерализуемого органического

Таблица 3. Запасы углерода в органическом веществе почвы, т С га⁻¹

Компонент органического вещества	Сосняк осочково-остепенно-разнотравный		Сосняк рододендроново-бруснично-разнотравный		
	пр. пл. 2 к	пр. пл. 1	пр. пл. 3к	пр. пл. 4	пр. пл. 5
Валеж	2.51	1.99	24.45	11.42	8.73
Подстилка	7.52±0.68	7.76±0.50	7.59±1.29	7.80±1.62	6.61±0.71
Корневой детрит	6.73±0.66	4.70±0.79	13.35±1.96	11.62±1.59	6.50±1.68
Микробиомасса, в т.ч.	0.83	0.79	0.62	0.39	0.48
почва, 0–20 см	0.72	0.55	0.41	0.34	0.31
Беспозвоночные	9.63·10 ⁻³	8.70·10 ⁻³	7.68·10 ⁻³	2.92·10 ⁻³	4.36·10 ⁻³
Гумус, 0–20 см	29.12	27.45	28.39	32.75	34.30
подвижный	4.57	4.13	4.58	5.37	2.95
Всего (С _{орг} почвы)	46.71	42.69	74.41	63.98	56.62

вещества (ЛМОВ), то в таежном сосняке снижение составило 28%, а при сильной интенсивности – 50%, главным образом, за счет выгорания грубого древесного материала и корневого детрита (рис. 1). Вместе со снижением запаса валежа пожар привел к изменению его состава по классам разложения. В контрольном варианте (пр. пл. 3к) более 70% массы представлено валежом 2-го и фрагментами валежин 4-го классов разложения. Спустя 5 лет после пожара на участках со средней и сильной интенсивностью горения преобладает валеж 2-го класса разложения, валеж 4-го класса разложения отсутствует.

Подстилка исследуемых насаждений при близкой аккумуляции углерода различается по соотношению массы ОВ в подгоризонтах: если в свежеспавших неразложившихся остатках древесного опада (OL) на пр. пл. 3 и 4 сосредоточено, соответственно, 38 и 30% всей массы подстилок, то на пр. пл. 5 – только 17% (рис. 2). После пожара средней интенсивности в этом слое подстилки значительно снижается масса хвои и ветвей диаметром менее 1 см, накапливаются кора и шишки.



После высокоинтенсивного пожара отмечается уменьшение массы последней фракции в 2.5 раза.

Пожар высокой интенсивности сказался и на корневом детрите: его масса уменьшилась относительно контрольного варианта в 2 раза, главным образом, за счет выгорания растительного материала фракции “прочая мортмасса” (рис. 3).

Присутствие в корневом детрите контрольного варианта обгоревшей коры, обугленных остатков древесины, отсутствующих в подстилке, диагностирует следы очень давнего сильного пожара, приведшего к отпаду деревьев с диаметром до 30 см. На момент учета их сильно разложившиеся остатки (4-ый класс разложения) составили 33% общей массы С валежа (рис. 1). На массу углей в корневом детрите пр. пл. 3к приходится 14% его запаса, что выше, чем запас мертвых корней (рис. 3).

Подвижное органическое вещество гумуса и растительного материала, как продукт его биотрансформации, отражающий интенсивность гумификации, в контрольных вариантах составляет



Рис. 1. Изменение состава валежа по классам разложения (1–4) под воздействием пожара в сосняке рододендрово-бруснично-разнотравном: 1 – 1, 2 – 2, 3 – 3, 4 – 4

6.5–6.6 т С га⁻¹, или 13–15% общего запаса С в подстилке, корневом детрите и гумусе. Основная его масса связана с гумусом (рис. 4), из нее около 30–50% сконцентрировано в слое почвы 0–5 см, прилегающем к подстилке. Эта величина не изменяется в вариантах обоих типов сосняков, затронутых пожаром средней интенсивности, и почти наполовину снижается (от 1.54 до 0.81 т С га⁻¹) после интенсивного пожара в сосняке рододендрово-бруснично-разнотравном (пр. пл. 5). В нижележащей толще масса С_{подв} в гумусе снижается и не отражает воздействия огня.

На подстилку в общем запесе С_{подв} приходится от 14 до 29% (рис. 4). Отсутствие однонаправленности его изменения в подстилке пробных площадей связано как с изменением фракционного состава при пожаре, так и с влиянием высвобождающихся зольных элементов на скорость процессов и их соотношение при разложении подстилки. Значительное снижение подвижной органики в корневом детрите почвы варианта сосняка рододендрово-бруснично-разнотравного, наиболее пострадавшего от огня, связано с выгоранием фракции “прочая корневая мортмасса” в верхних горизонтах почвы. Подвижное ОВ разлагающегося растительного материала и гумуса почвы практически полностью представлено щелочнорастворимыми продуктами фульватно-гуматной природы.

В биомассе микроорганизмов и почвенных беспозвоночных (соотношение 99:1) остепненного и таежного сосняков сосредоточено, соответственно, 4 и 1–2% углерода ЛМОВ почвы (табл. 3). В подстилке сосняков концентрация С_{мб} (0.65–1.39%) выше, чем в прилегающем слое почвы 0–5 см (0.07–0.17%) и на порядок превышает таковую в нижележащем слое почвы 5–20 см (0.03–0.09%). На участках, пройденных пожаром, по сравнению с контрольными участками долевое участие подстилочной микроббиомассы в таежном сосняке увеличивается до 35% против 18%, в лесостепном – до 30% против 13%.

Почвенное население ненарушенного таежного сосняка характеризуется высокой численностью крупных беспозвоночных – 693 экз м⁻² при биомассе 768 мг м⁻² (рис. 5А). Основная масса педобионтов (67%) концентрируется в минеральном слое почвы 0–20 см. Колонизация минеральных горизонтов почвы крупными беспозвоночными отмечается как особенность педокомплексов лесных почв тяжелого гранулометрического состава южнотаежных местообитаний [5, 11, 20].

Абсолютными доминантами комплекса являются энхитреиды (Enchytraeidae) и муравьи

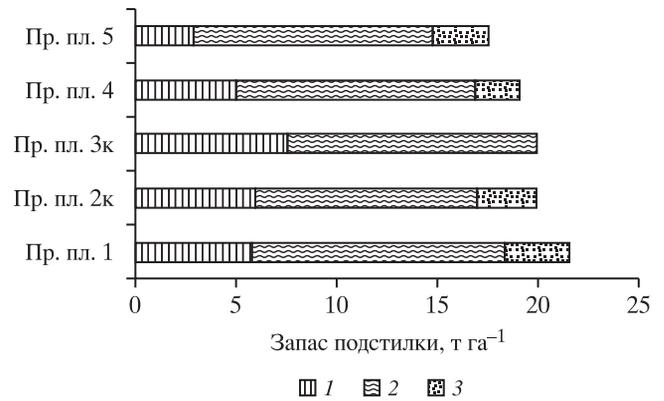


Рис. 2. Изменение состава и запаса подстилки на пробных площадях сосняков: 1 – OL, 2 – OF, 3 – OH.



Рис. 3. Изменение массы компонентов корневого детрита в сосняке рододендрово-бруснично-разнотравном под воздействием пожара: 1 – корни мертвые, 2 – мортмасса, 3 – угли.

(Formicidae), на них приходится соответственно 52 и 24% от общего числа беспозвоночных. На личинки и имаго жесткокрылых и двукрылых приходится по 7%. Среди губоногих многоножек встречаются, как подстилочные Lithobiidae (3%), так и почвенные Geophylidae (0.5%). Диплоподы в составе населения на момент учета не найдены. Анализ трофической структуры показал, что крупные беспозвоночные на 54% представлены сапрофагами, на зоофагов приходится около 34%, фитофаги и беспозвоночные со смешанным типом питания составляют не более 9% (рис. 5Б).

В сосняке лесостепного типа численность крупных беспозвоночных в 2 раза ниже таковой в подтаежном сосняке (рис. 6А). В то же время за счет крупных особей дождевых червей (Lumbricidae) общая биомасса педобионтов здесь несколько выше и составляет 963 мг м⁻². Подстилочный комплекс обеднен – до 90% беспозвоночных сосредоточено в 0–20 см почвы. Доминантами в лесостепном сосняке являются энхитреиды (60% от общего числа беспозвоночных), жесткокрылые (13%) и губоногие многоножки (11%).

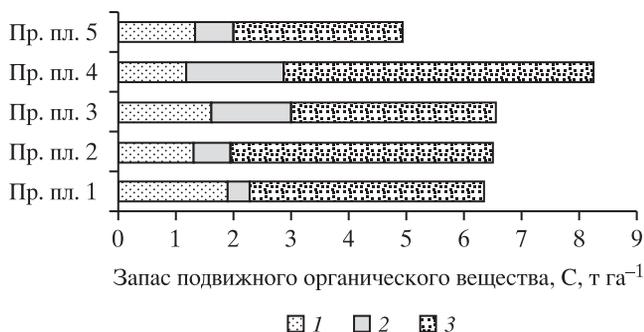


Рис. 4. Запасы углерода подвижного органического вещества на пробных площадях подтаежно-лесостепного и таежно-соснякового: 1 – подстилка, 2 – корневой детрит, 3 – гумус (0–20 см).

В 10 раз по сравнению с тайгой снижена доля муравьев, ассоциированных с валежом.

Распределение крупных беспозвоночных по трофическим группам близко к таковому в сосняках тайги: на сапрофагов приходится 62%, зоофагов – 20, на фито- и миксофагов около 15% общей численности (рис. 6Б).

Влияние лесного пожара на почвенное население проявляется через его воздействие на условия местообитания животных. Изменение гидротермических параметров среды (увеличение инсоляции поверхности и повышение температуры), изменение pH, уничтожение или трансформация кормовой базы оказывают существенное влияние на структурно-функциональную организацию послепожарных комплексов беспозвоночных.

После пожара средней и высокой интенсивности в рододендрово-бруснично-разнотравном сосняке общая численность беспозвоночных ниже соответственно в 1.5 и 4 раза по сравнению

с ненарушенным местообитанием (рис. 5А). Причем, после высокоинтенсивного пожара снижение численности происходит главным образом за счет обитателей минеральных горизонтов почв. Возможно, это происходит вследствие негативного влияния на животных продуктов пиролиза, поступающих в нижележащие почвенные горизонты и изменяющих в них pH среды.

Ядро комплекса, как и в ненарушенном сообществе, представлено энхитреидами (40–57% от общей численности), жесткокрылыми (14–15%), муравьями (14–16%) и губоногими многоножками (5–9%). После пожара высокой интенсивности в комплексе не обнаружены личинки двукрылых. В трофической структуре, вне зависимости от интенсивности пожара, также сохраняется доминирование сапрофагов, на них приходится 49–57% от общей численности беспозвоночных (рис. 5Б). Незначительно увеличивается (до 13%) доля фито- и миксофагов после пожара средней интенсивности и до 42% – доля зоофагов после пожара высокой интенсивности.

После пожара средней интенсивности в сосняке лесостепного типа наблюдается незначительное увеличение численности крупных беспозвоночных при снижении биомассы животных до 870 мг/м². Изменение количественных параметров комплекса происходит за счет увеличения в нем доли мелких форм энхитреид, личинок жуков и двукрылых. Эти группы, как и в ненарушенном сосняке, составляют основу комплекса – на энхитреид приходится 74%, жесткокрылых – 11% и двукрылых – 3% общей численности. Многоножки также являются доминирующей группой, они составляют 4% общей численности. На момент обследования не обнаружены почвенные геофи-

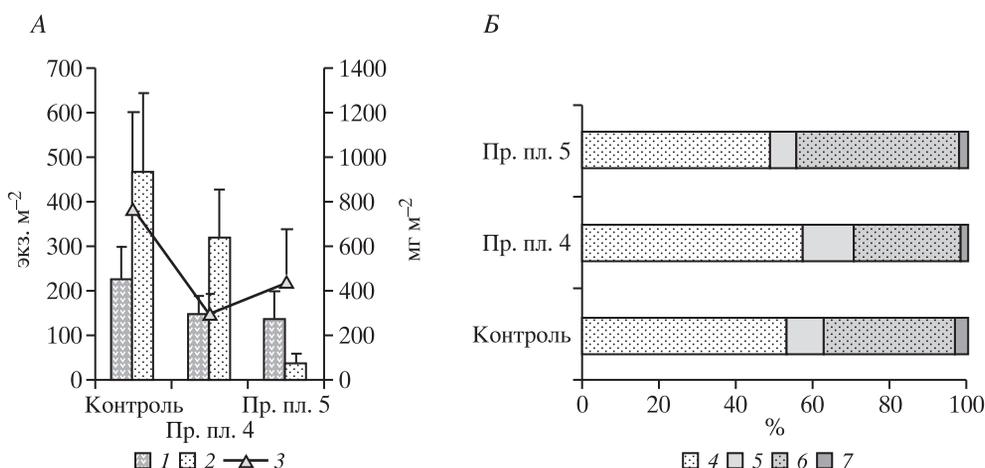


Рис. 5. Структура комплексов почвенных беспозвоночных в таежных сосняках: А – численность и биомасса; Б – трофическая структура; 1 – численность в подстилке, 2 – численность в минеральном слое 0–20 см, 3 – биомасса, 4 – сапрофаги, 5 – фито- и миксофаги, 6 – зоофаги, 7 – прочие.

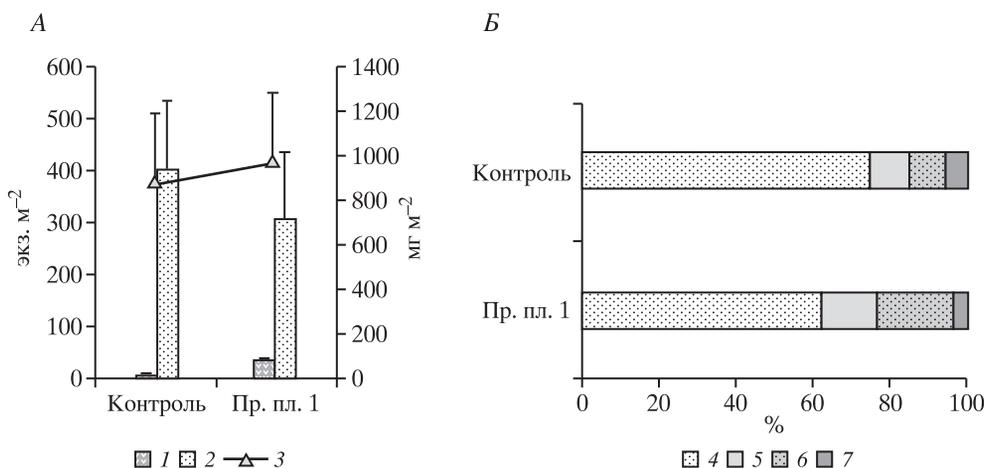


Рис. 6. Структура комплексов почвенных беспозвоночных в подтаежно-лесостепном сосняке: А – численность и биомасса; В – трофическая структура; 1 – численность в подстилке, 2 – численность в минеральном слое 0–20 см, 3 – биомасса, 4 – сапрофаги, 5 – фито- и миксофаги, 6 – зоофаги, 7 – прочие.

лиды и муравьи. В трофической структуре доминируют сапрофаги, причем их доля увеличилась до 75%, тогда как доля зоофагов снизилась почти в 2 раза.

Анализ распределения исследуемых сосняков в пространстве переменных, отражающих различия в составе педокомплексов, с помощью метода главных компонент выявил три группы местообитаний по приуроченности к ним крупных таксонов беспозвоночных (рис. 7). Первая компонента объясняет 82% дисперсии местообитаний и показывает различия таежных и подтаежно-лесостепных сосняков. В последних складываются более благоприятные условия для развития энхитреид, жесткокрылых и подстилочных многоножек литобиид. Вторая компонента описывает 17% дисперсии и подчеркивает особенность экологических условий, формирующихся в сосняке таежном после высокоинтенсивного пожара и обуславливающих развитие здесь дождевых червей, пауков, почвенных геофилид и моллюсков.

Заключение. Анализ результатов исследования запасов углерода в сосновых лесах подтаежно-лесостепного и таежного комплекса Юго-Западного Прибайкалья показал, что в незатронутых огнем сосняках пул углерода составляет, соответственно, 266 и 339 т С га⁻¹. Он распределяется между живым (фитомасса древостоя и напочвенного покрова) и неживым (легкоминерализуемая фракция и гумус минерального слоя почвы 0–20 см) ОВ как 82 и 18% в сосняке осочково-остепенно-разнотравном, 78 и 22% в сосняке рододендрово-бруснично-разнотравном. Основу живого ОВ составляет древостой (99%), неживого – легкоминерализуемая фракция. Влияние пожара средней интенсивности не сказалось

катастрофически на пуле углерода сосняков обоих типов. Его снижение через 5 лет после пожара не выходит за пределы 5–9%. Заметно (на 27%) уменьшились лишь запасы углерода в легкоминерализуемой фракции ОВ рододендрово-бруснично-разнотравного, главным образом за счет выгорания грубых древесных остатков. Запасы С в растительной биомассе снизились на 4–7%, в основном, за счет гибели напочвенного покрова. Через 5 лет после пожара масса С в нем оставалась на 30 и 47% ниже, чем в контрольных вариантах сосняков остепенно-разнотравном и рододендрово-бруснично-разнотравном, соответственно.

На участке сосняка рододендрово-бруснично-разнотравного, пройденного пожаром высокой

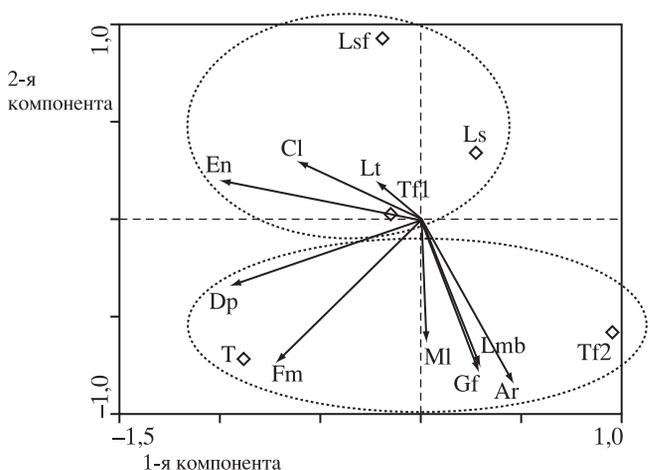


Рис. 7. Ординация пробных площадей в пространстве переменных, отражающих групповой состав комплексов крупных беспозвоночных: Lmb – дождевые черви, En – энхитреиды, Ml – моллюски, Ar – пауки, Lt – литобииды, Gf – геофилиды, Cl – жуки, Dp – двукрылые, Fm – муравьи.

интенсивности, спустя 5 лет пул С оставался на 20% ниже, чем в варианте негоревшего насаждения. Масса С фитомассы древостоя по сравнению с контролем уменьшилась на 18%, напочвенного покрова – на 63%. Снизились запасы С и в неживом органическом веществе за счет уменьшения массы легкоминерализуемой фракции из-за выгорания (на 64%) грубых древесных остатков и корневого детрита (на 50% по сравнению с контролем). Если в контрольном варианте преобладал валеж 2- и 4-го классов разложения, то на участке с высокой интенсивностью горения на момент исследования валеж 4-го класса разложения отсутствовал, преобладал валеж 2-го класса разложения. Распределение запаса $C_{\text{мб}}$ между подстилкой и органическим веществом толщи почвы 0–20 см одинаково на всех изучаемых пробных площадях: в почве запасы $C_{\text{мб}}$ выше, чем в подстилке. Долевое участие микроббиомассы подстилки увеличивается на участках, пройденных пожаром, до 35% против 18% и до 30% против 13%, соответственно, в подтаежном и лесостепном сосняках. Реакция крупных беспозвоночных на пирогенную трансформацию среды обитания выражается, прежде всего, в снижении общей численности и биомассы педобионтов, однако радикальной трансформации структуры их комплексов на данном этапе пирогенных сукцессий не наблюдается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов Е.А., Фуряев В.В., Сухинин А.И. Пожары сибирской тайги // *Природа*. 1998. № 7. С. 51–62.
2. Ведрова Э.Ф., Климченко А.В. Динамика экологических функций листовничников северной тайги под воздействием пожаров // *Сибирский экологический журн.* 2007. № 2. С. 263–273.
3. Ведрова Э.Ф., Плешиков Ф.И., Каплунов В.Я. Структура органического вещества северотаежных экосистем Средней Сибири // *Лесоведение*. 2002. № 6. С. 3–12.
4. Гиляров М.С. Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) // *Количественные методы в почвенной зоологии*. М.: Наука, 1997. С. 9–26.
5. Гиляров М.С., Перель Т.С. Соотношение численности разных групп беспозвоночных сапрофагов как показатель различий лесных буроземов и серых лесных почв // *Докл. АН СССР*. 1970. № 192. С. 290–299.
6. Евдокименко М.Д. Реакция сосны на огневые воздействия в условиях Забайкалья // *Лесоведение*. 1986. № 6. С. 46–53.
7. Евдокименко М.Д. Пожары в лесных экосистемах Сибири. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 122–125.
8. Евдокименко М.Д. Природа пожаров в байкальских лесах и совершенствование их противопожарной охраны // *Леса бассейна Байкала*. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 159–227.
9. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
10. Краснощекоев Ю.Н. Постпирогенная трансформация почв сосновых лесов в Юго-Западном Прибайкалье // *Вестник КрасГАУ*. 2009. № 9. С. 60–65.
11. Краснощекоев Ю.Н., Безкоровайная И.Н., Кузьмиченко В.В. Трансформация свойств лесной подстилки при контролируемом выжигании шелкопрядников в Нижнем Приангарье // *Почвоведение*. 2007. № 2. С. 170–178.
12. Мазанцева Г.П. Методы определения биомассы почвенных беспозвоночных // *Количественные методы в почвенной зоологии*. М.: Наука, 1997. С. 88–98.
13. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. Л.: Гослесхозиздат, 1948. 126 с.
14. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. С. 24–27.
15. Молчанов А.А. Влияние лесных пожаров на древостой // *Тр. Ин-та леса СО АН СССР*. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 16. С. 314–335.
16. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
17. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л.: Наука, 1975. 105 с.
18. Понятовская В.М., Макаревич В.Н. Об изучении продукционного процесса в луговых сообществах // *Ботанический журн.* 1973. № 7. Т. 58. С. 997–1004.
19. Сапожников А.П. Роль огня в формировании лесных почв // *Экология*. 1976. № 1. С. 43–46.
20. Стриганова Б.Р. Адаптивные стратегии освоения животными почвенного яруса // *Почвоведение*. 1996. № 6. С. 714–721.
21. Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
22. Фуряев В.В. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Наука, 2002. С. 101–109.
23. Keenan R.J., Prescott C.E., Kimmins J.P. Mass and nutrient content of woody debris and forest floor in western red cedar and western hemlock forests on northern Vancouver Island // *Can. J. For. Res.* 1993. № 23. P. 1052–1059.

Carbon Reserves in Organic Matter of Postfire Pine Forests in Southwestern Lake Baikal Basin

**E. F. Vedrova, M. D. Evdokimenko, I. N. Bezkorovainaya,
L. V. Mukhortova, Yu. S. Cherednikova**

Changes in the organic matter mass and composition in the phytomass and soil of pine forests under the influence of fires of high and medium intensity are discussed. Fires of medium intensity were shown not to affect drastically the carbon pool in pine forests of the subtaiga forest-steppe and taiga altitudinal complexes in southwestern Lake Baikal basin. In the maturing pine forest, 5 years after the fire of high intensity, the carbon pool remained by 20% lower than that in the unburned forest. The carbon mass in the stand phytomass, as compared to the control variant, decreased by 18%; in the ground cover, it was 63% smaller. In the easily mineralizable fraction of organic matter, the carbon reserves became lower due to burning down of coarse wood residues (by 64%) and root detritus (by 50% relative to the control stand).