

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 630.14.351

ПОСТПИРОГЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОДСТИЛКИ В ГОРНЫХ ЛЕСАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ

© 2019 г. Ю. Н. Краснощеков*

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

*e-mail: kyn47@mail.ru

Поступила в редакцию 14.02.2018 г.

После доработки 19.03.2018 г.

Принята к публикации 26.09.2018 г.

Анализируются данные экспериментальных исследований по постпирогенной динамике подстилки в горно-таежных кедровых (*Pinus sibirica*), сосновых (*Pinus sylvestris*) и подтаежно-лесостепных сосновых (*Pinus sylvestris*) лесах Прибайкалья. Низовые пожары, преобладающие в данном регионе, трансформируют типодиагностические поверхностные органогенные горизонты почв, приводят к формированию новых органогенных пирогенных горизонтов (O_{orig}; OL_{orig}; OL/O_{orig}; OA_{orig}). Показано негативное воздействие низовых пожаров на изменения мощности, запасов, влагоемкости и качественного фракционного состава лесных подстилок. Приведены данные по зольному химическому составу подстилок, а также по содержанию подвижных форм микроэлементов. Обнаружена тенденция уменьшения концентрации подвижных элементов в органогенных горизонтах от таежного кедрового к подтаежно-лесостепному сосновому высотно-поясному комплексу (ВПК) типов леса. Установлено, что лесные пожары приводят к значительным количественным и качественным изменениям химического состава поверхностных органогенных пирогенных горизонтов, особенно это проявляется в трансформации лабильных их свойств (рН, состав обменных катионов, валовых и подвижных форм азота и др.).

Ключевые слова: лесная подстилка, низовые пожары, запас, влагоемкость и фракционный состав подстилки, зольные элементы, подвижные микроэлементы

DOI: 10.1134/S0032180X19030080

ВВЕДЕНИЕ

Под термином “лесная подстилка” в настоящее время разными авторами вкладывается разное содержание. В немецкой школе лесоводов и почвоведов к подстилке относят только ту часть опада, которая находится в слабо-, и среднеразложившемся состоянии, а сильноразложившейся опад – к “лесному гумусу” [37, 41–43]. В отечественном лесоведении и почвоведении под термином “лесная подстилка” понятия разными авторами также неоднозначны. В одних случаях подстилку приравнивают к растительному войлоку [36]. В качестве органического вещества лесная подстилка рассматривается в понятии органо-профиля почвы [1, 21]. Некоторые исследователи лесную подстилку выделяют не как генетический горизонт лесных почв, а как самостоятельное напочвенное образование в лесном биогеоценозе [10, 13]. С точки зрения геохимии почв, лесная подстилка выступает в качестве механического органо-сорбционного барьера [22]. В ряде работ показано, что лесная подстилка является одновременно подси-

стемой как почвенного покрова, так и фитоценоза [3, 4].

Подстилка, или поверхностный органогенный горизонт в лесных почвах – это генетический горизонт биологической аккумуляции специфических и неспецифических органических веществ. Лесная подстилка образует особый, биохимически активный ярус аккумуляции энергии и биогенных элементов, который находится в сложных парагенетических связях с фитоценозом и подстилающими горными породами. Подстилка играет важную роль в процессах почвообразования [11, 15], имеет большое гидрологическое значение [20] и является одним из основных факторов в сохранении лесных почв от разрушения [14].

Особенность современных процессов почвообразования во многом определяется временными параметрами биологического круговорота – продолжительностью закрепления химических элементов в подстилке и скоростью их высвобождения и поступления в почву. Большое влияние на этот процесс оказывают антропогенные факторы, в частности, лесные пожары.

Лесные пожары, охватывающие в Прибайкалье биогеоценозы разного ранга, вызывают сложные изменения в составе, структуре и производительности лесов, формируют сукцессионные стадии их восстановления. При любом пожаре в сферу горения попадает напочвенный покров и поверхностные органогенные горизонты почв. Пирогенная трансформация подстилок сопровождается уменьшением их мощности, запасов, существенно изменяется и фракционный состав. Кроме того, смена коренных хвойных лесов на производные мелколиственные насаждения и резкое изменение живого напочвенного растительного покрова может иметь длительный и устойчивый характер, определяя иное поступление с опадом зольных элементов. В результате изменяется характер типодиагностических поверхностных органогенных горизонтов. Формируются новые поверхностные органогенные пирогенные горизонты *O_{orig}*; *OL_{orig}*; *OL/O_{orig}*; *OAr_{orig}*, которые по химическим, физико-химическим свойствам и биологическому круговороту элементов очень сильно отличаются от природных аналогов.

Исследование постпирогенной изменчивости состава и свойств подстилок представляет важную часть познания особенностей биологического круговорота в лесных биогеоценозах, дает возможность судить о направленности протекающих в почве биохимических процессов, определяющих уровень их лесорастительных свойств. Изучение закономерностей накопления подстилок, их зольного химического состава в пирогенно-измененных лесных биогеоценозах имеет большое теоретическое и практическое значение, что и определило основную цель работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являются поверхностные органогенные горизонты почв – лесные подстилки, формирующиеся в горных лесах южной части Прибайкалья, трансформированные низовыми пожарами [19] разной интенсивности и давности. По лесорастительному районированию гор Южной Сибири [30] работы проводились в Улан-Бургасском, Хамар-Дабанском и Приморском лесорастительных округах. На склонах разной крутизны и экспозиции в коренных и производных древостоях, заложено 80 пробных площадей, в том числе 38 – на пожарных участках разного возраста, пройденных огнем разной интенсивности.

При проведении исследований использовали следующие методики: закладка пробных площадей, а также лесоводственно-геоботаническая их характеристика – согласно методическим указаниям [24]. На гаревых участках устанавливалась давность и интенсивность пожара, определяемая по высоте нагара (обугливания) на стволах дере-

вьев, степени повреждения крон, полноте сгорания горючих материалов и др. [18]. Учет запаса подстилки вели с помощью шаблона 0.5×0.5 м в 10-кратной повторности в пределах пробной площади. Подстилку разбирали на фракции, выделяя активную и неактивную части. Влажность лесных подстилок определяли по Молчанову [20]. Определение аккумулярующих свойств лесных подстилок проводилось в лотке на монолитах размером 0.5×1.0 м. Для этого была приготовлена суспензия мутностью 5 г/л, имитирующая по своей концентрации мутные потоки воды после дождя. Мелкозем, используемый для приготовления суспензии (средний суглинок), предварительно просеивали через сито с отверстиями диаметром 0.25 мм. Уклон поверхности лотка во всех опытах был одинаков – 15° . Аккумулярующие возможности подстилки определены на 24 заложённых пробных площадях в ненарушенных пожарами древостоях. Повторность определения – трехкратная.

На каждой пробной площади брался средний образец подстилки (1–1.5 кг) для последующего химического анализа [6, 27]. Содержание подвижных форм микроэлементов определялось (в аммонийно-ацетатном буферном растворе с pH 4.8) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Рассчитаны коэффициенты концентрации подвижных элементов (Ккп), представляющие отношение содержания подвижных форм элемента в органогенных или органогенных пирогенных горизонтах к его общему содержанию в литосфере. Для данных расчетов были выбраны кларки по Виноградову [5]. Коэффициент биологического поглощения (Кбп) представляет отношение содержания подвижного элемента в органогенном или органогенном пирогенном горизонте к его содержанию в почвообразующей породе. Названия почв даны по “Классификации и диагностике почв России” [14] и международной классификации WRB [38]. Для статистической обработки данных и построения зависимостей использовали компьютерные программы Excel 2013 и Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологические особенности лесных подстилок в рассматриваемых высотно-поясных комплексах (ВПК) типов леса. Основными характеристиками лесной подстилки являются мощность, запас, влагоемкость и фракционный состав. Известна широкая изменчивость запасов подстилки, обусловленная типологическим разнообразием насаждений, различиями физико-географических условий среды [3, 11, 14, 16, 20, 28].

*В Южном Прибайкалье горно-таежные кедровые (*Pinus sibirica*) леса* приурочены к абсолютным высотам 600–1200 (1300) м. Они преобладают на

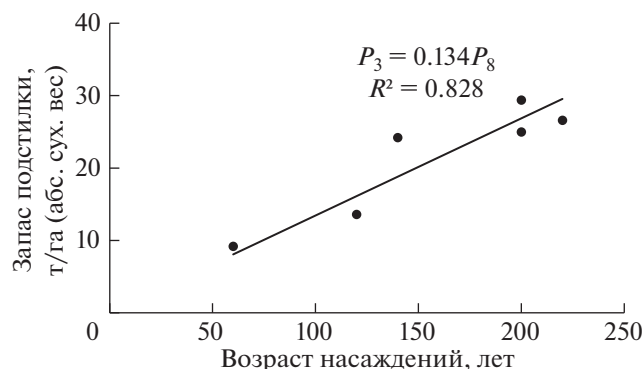


Рис. 1. Зависимость между запасом подстилки (P_3) и возрастом древостоев (P_8) в таежном кедровом ВПК типов леса.

территории северного, обращенного к Байкалу, макросклона хр. Хамар-Дабана, а также в юго-западной и восточной частях побережья. Фитоценологической особенностью их, как и в других регионах гор Южной Сибири, принадлежащих к циклоническим климатическим фациям, является преобладание кустарничково-зеленомошных типов леса. На Олхинском плато (между южной частью Байкала и р. Ангарой), на водоразделах (абс. отм. 900–1000 м) в значительной степени к кедру примешиваются сосна и лиственница, а также пихта.

В пределах горно-таежного кедрового ВПК в условиях промывного водного режима, под кедровниками чернично-зеленомошными, багульничково-зеленомошными, бруснично-зеленомошными и лишайниковыми, где в почвенном покрове представлены подбуры (Folic Leptic Entic Podzols, Histic Leptic Entic Podzols) и подзолы (Albic Podzols), мощность лесной подстилки в среднем составляет 4.0 ± 0.8 см, ее запас 24.8 ± 1.6 т/га, влагоемкость 6.0 ± 0.5 мм (табл. 1). Она состоит из смеси свежего или слабо разложившегося органического материала, в котором растительные остатки почти полностью сохранили свою исходную форму и темного грубогумусового материала средней степени разложившимся с включениями минеральных компонентов.

Установлены связи изменения мощности, запасов и влагоемкости подстилок в зависимости от возраста насаждений. Так, наименьшее количество подстилки содержится в кедровниках чернично-зеленомошных 60–80 летнего возраста – 9.2 т/га, а ее влагоемкость – 6.5 мм. В кедровниках чернично-зеленомошных 140–200 летнего возраста запасы и влагоемкость подстилок изменяются соответственно от 24.2 до 29.4 т/га и от 9.8 до 11.3 мм. Средний запас подстилки в кедровниках 220–250-летнего возраста составляет 26.6 т/га, а ее влагоемкость 10.4 мм. Зависимость между запасом подстилки и возрастом кедровых древостоев показана на рис. 1.

В более суровых местообитаниях под низкополнотными кедровниками кустарничково-моховыми, бруснично-багульничково-моховыми в почвенном покрове представлены глееземы (Histic Gleysols), реже подзолисто-глеевые (Gleyic Albic Retisols) почвы. Мощность подстилки здесь в среднем равна 8.5 ± 1.3 см, запас – 33.5 ± 8.6 т/га и влагоемкость 14.6 ± 0.9 мм.

Большое влияние на формирование подстилок и их влагоемкость оказывает состав насаждений. Так, в чистых кедровниках чернично-зеленомошных типов леса, полнотой 0.7–1.0 мощность подстилки в среднем равна 4.0 ± 1.5 см, запас – 20.6 ± 4.4 т/га, ее влагоемкость – 8.1 ± 3.3 мм. В высокополнотных насаждениях состава 7–8К2–3П1Б наблюдается тенденция увеличения мощности и запасов подстилки, но при этом уменьшается их влагоемкость, что можно объяснить увеличением во фракционном составе подстилок фракций, обладающих слабой водоудерживающей способностью. Относительно высокой влагоемкостью обладают подстилки в насаждениях составом 4–5К2–3П1–2Б. Здесь также наблюдается увеличение мощности подстилок, но при этом резко уменьшается их запас. Низкие запасы подстилки, при относительно высокой мощности и влагоемкости, объясняется их рыхлым сложением, высокой пористостью аэрации, преобладанием во фракционном составе влагоемких фракций (хвоя, листья, слаборазложившийся мох).

Изучение фракционного состава подстилок показало, что около половины веса приходится на труху (35–45%), на долю мхов и лишайников – 15–20%, грубые фракции (сучья, ветки, кора, шишки) – 25–35%, фракции хвои и листьев 5–10 и 1–3% соответственно.

Таким образом, в соответствии с классификацией Чертова [34] по типам гумуса и классификацией лесных подстилок, предложенной Богатыревым [2], в горно-таежном кедровом ВПК формируются подстилки по типу грубогумусовых среднемошных и маломошных, среднеразложившихся оторфованных или перегнойных, преимущественно древесно-кустарничково-лишайникового или мохового состава.

Горная светлохвойная тайга (абс. отм. 800–1000 м) преобладает на площади лесного фонда в пределах Улан-Бургасского и Приморского округов. В данном регионе она представлена сосняками (*Pinus sylvestris*) преимущественно IV класса бонитета с примесью лиственницы с успешным возобновлением сосны. Ландшафтообразующими являются сосновые и лиственничные леса с хорошо развитым подлеском из рододендрона даурского и ольховника.

В целом сосняки с подлеском из рододендрона бруснично-разнотравные образуют типологический фон светлохвойного горно-таежного пояса,

Таблица 1. Изменчивость мощности, запасов и влагоемкости лесных подстилок

Тип леса	Почвы	n	Мощность подстилки, см		Запас подстилки, т/га (абс. сух. вес)		Влагоемкость подстилки, мм				
			lim	M ± m	lim	M ± m	lim	M ± m			
			Кv, %	Кv, %	Кv, %	Кv, %	Кv, %	Кv, %			
Тяжелый кедровый ВПК типов леса											
Кедровники кустарничково-моховые, бруснично-багульниково-моховые	Глееземы типичные и оподзоленные мерзлотные грубогумусовые; подзолисто-глеевые грубогумусовые	6	6–10	8.5 ± 1.3	30.5	20.2–39.7	33.5 ± 8.6	31.8	6.9–18.8	14.6 ± 0.9	23.2
Кедровники чернично-зеленомошные, багульниково-зеленомошные, бруснично-зеленомошные, лишайниковые	Подбуры типичные, грубогумусированные, перегнойные; подзолы типичные, грубогумусированные, перегнойные	18	3–7	4.0 ± 0.8	22.1	18.8–27.7	24.8 ± 1.6	26.4	3.5–8.4	6.0 ± 0.5	29.0
Тяжелый сосновый ВПК типов леса											
Сосняки багульниково-бруснично-зеленомошные, рододендроновозеленомошные, ольховниково-зеленомошные	Подзолы грубогумусовые, иллювиально-ожелезненные	6	5–9	7.7 ± 0.3	14.4	20.7–30.6	26.4 ± 1.5	17.0	6.0–13.8	9.7 ± 0.8	25.5
Сосняки рододендроновые бруснично-разнотравные, бруснично-разнотравные	Серогумусовые глинисто-иллювирированные и иллювиально-ожелезненные; дерново-подбуры	15	2–3	2.4 ± 0.2	22.5	17.7–23.0	19.7 ± 0.9	10.4	2.7–6.8	4.2 ± 0.4	33.8
Подтаежно-лесостепной сосновый ВПК типов леса											
Сосняки разнотравные, ирисово-разнотравные, разнотравно-осочковые, разнотравно-остепненные	Серогумусовые типичные; темногумусовые метаморфизованные и остаточнокarbonатные; литоземы серогумусовые и карболито-земы	15	1–2	1.2 ± 0.2		9.9–16.3	12.6 ± 1.2	21.1	0.4–6.5	3.4 ± 0.5	53.1

Примечание. Здесь и в табл. 2: lim – пределы изменчивости; M – среднее арифметическое; ±m – ошибка среднего; Кv – коэффициент вариации, %; n – число данных в выборке.

сочетаясь с небольшими по занимаемой площади листовничниками этих же серий типов леса. В почвенном покрове широко распространены серогумусовые типичные и глинисто-иллювирированные почвы (Haplic Umbrisols, Lamellic Umbrisols).

Если в лесах горно-таежного кедрового ВПК наблюдается некоторая связь между возрастом древостоев и содержанием в них подстилки, то в лесах рассматриваемого ВПК данная связь нарушена. Это обусловлено тем, что они в значительной степени подвержены пирогенному влиянию. Отмечена тенденция увеличения мощности, запаса и влагоемкости подстилки в смешенных по составу сосняках, с ростом участия в них листовницы и березы в количестве до 40%.

В сосняках рододендроновых бруснично-разнотравных и бруснично-разнотравных средняя мощность подстилки составляет 2.4 ± 0.2 см, запас — 19.7 ± 0.9 т/га, а влагоемкость — 4.2 ± 0.4 мм.

Определение фракционного состава показало, что под пологом сосняков около 32% подстилки приходится на разложившиеся растительные остатки, на грубые фракции (сучья, шишки, хвоя, кора) — 43.5%. Фракция листьев и травы составляет около 20%.

Таким образом, в таежном сосновом ВПК в рододендроновых бруснично-разнотравных типах леса формируются подстилки по типу слабогумусовых маломощных, слабо-, среднеразложившихся, преимущественно древесно-кустарничково-травяного состава.

В верхней части горного светлохвойного пояса в сосняках багульниково-бруснично-зеленомощных, рододендроново-зеленомощных и ольховниково-зеленомощных, где в почвенном покрове распространены подзолы типичные и иллювиально-ожеженненные (Albic Podzols, Haplic Podzols), подстилки имеют мощность 7.7 ± 0.3 см, запас — 26.4 ± 1.5 т/га, влагоемкость — 9.7 ± 0.8 мм. Формирование их происходит по типу грубогумусовых среднемощных, слабо-, среднеразложившихся, преимущественно древесно-кустарничково-мохового состава.

Подтаежно-лесостепные сосновые леса в Прибайкалье в условиях резко расчлененного рельефа территории с контрастными мезоклиматическими условиями склонов разных экспозиций не образуют четко выраженного высотного пояса. Ландшафт представляет собой мозаику лесных и степных сообществ. В наиболее типичном виде они представлены в высотной полосе 460–800 м над ур. моря, где занимают в основном участки нижних частей склонов и конусов выноса, граничащих со степями, в частности, в нижнем течении р. Голоустной. Их фрагменты в горной светлохвойной тайге приурочены к хорошо прогреваемым крутым склонам. Провинциальной особенностью подтаежно-лесостепных лесов региона

является господство разнотравной и рододендроновой групп типов леса. В почвенном покрове представлены серогумусовые типичные (Haplic Umbrisols), темногумусовые (Haplic Phaeozems) почвы и литоземы (Umbric Leptosols, Mollic Leptosols).

Как показали исследования, в подтаежно-лесостепных сосновых лесах средняя мощность подстилки равна 1.2 ± 0.2 см, запас — 12.6 ± 1.2 т/га, а ее влагоемкость — 3.4 ± 0.5 мм. Определение фракционного состава показало, что на разложившиеся растительные остатки приходится 35–45%. Фракция хвои, листьев и травы соответственно составляют 5.4–6.0, 0.3–0.5 и 3.6–4.5%. На грубые фракции (сучья, кора, шишки) падает 36–38%.

Таким образом, в пределах подтаежно-лесостепного соснового ВПК формируются подстилки по типу слабогумусовых маломощных, слабо-, среднеразложившихся преимущественно древесно-травяного или древесно-кустарничково-травяного состава.

Важным в экологическом смысле свойством лесной подстилки является перехват ею взвешенных в жидком стоке частиц размытых почв. Величина перехвата твердых частиц находится в соответствии с запасом, характером сложения и плотностью лесных подстилок.

Исследованиями установлены очень высокие аккумулярующие свойства подстилки, формирующихся в горно-таежном кедровом ВПК типов леса. При дождевании водой, мутностью 5 г/л подстилки перехватили 70–82% взвешенных частиц. В таежном сосновом ВПК наибольшим аккумулярующим эффектом обладают подстилки бруснично-разнотравных, рододендроновых бруснично-разнотравных сосняков, которые могут задерживать 52–67% взвешенных в воде твердых частиц. Наименьшей аккумулярующей возможностью обладают подстилки подтаежно-лесостепных сосняков — 32–37%. Но даже такой, относительно низкий по сравнению с максимальным, перехват взвешенных наносов обеспечивает достаточно высокую чистоту речных вод. Зависимость между величиной аккумуляции твердых частиц подстилкой и ее запасом приведена на рис. 2.

Полученные данные согласуются с данными Харитоновой [31], по материалам которой лесная подстилка на склоне 20° при дождевании воды с мутностью 8.13 г/л перехватила 7.64 г/л, то есть 94% взвешенных частиц. В горных лесах Западного Саяна и Кузнецкого Алатау подстилки в кустарничково-зеленомощных кедровниках и листовничниках задерживают от 75 до 98% взвешенных в жидком стоке твердых частиц [25].

Пирогенная трансформация подстилки. Низовые пожары в зависимости от интенсивности воздействия огня в разной степени трансформируют

органогенные горизонты почв. Так, на горях кедровников шестилетней давности, на участках с воздействием огня слабой интенсивности мощность и запас поверхностного гор. OL/Oriг обычно изменяются незначительно, по сравнению с негорелыми кедровниками, и составляет соответственно 2–3 см и 16.3–17.6 т/га. Во фракционном составе, по сравнению с лесом, наблюдается относительное уменьшение фракции хвои, листьев, мхов и трухи, в результате их выгорания, и возрастание доли грубой фракции. Фракция древесных углей составляет 2%.

В кедровниках, пройденных огнем средней интенсивности мощность гор. OL/Oriг 1–2 см, запас 10.4–12.9 т/га. По сравнению с контролем подстилки на гаревом участке имеют иное соотношение фракций: мхи и лишайники – 4–9%, грубая фракция – 34.8–42.0%. Следует отметить, что крупные сучья, а также шишки и кора несут на себе следы пожара. Фракция листьев и хвои составляет соответственно 3.5 и 4.6%. На долю фракции древесных углей приходится 2–4, трухи – 37.5%, которая представляет смесь тонкодисперсных древесных углей, перемешанных с грубогумусовыми остатками разной степени разложения.

Шестилетний период, пройденный после пожара высокой интенсивности, значительно изменил состав и структуру поверхностных органогенных и органогенных пирогенных горизонтов. Если учесть, что древостой погиб полностью, то это значительно повлияло на поступление хвои и листьев на поверхность и их участие в формировании поверхностного органогенного горизонта почвы. За этот период на поверхности сформировался маломощный (1 см) гор. OL/Oriг запасом 3.0–5.3 т/га. Грубогумусовый гор. AOriг мощностью 3 см местами сильно поврежден огнем и обогащен древесными углями.

Во фракционном составе гор. OL/Oriг фракция мхов и лишайников составляет 2.0–3.6%, фракции хвои, листьев и травы соответственно 1.0–1.5, 0.2–0.4 и 6.0–11.7%, грубые фракции – 44.5–49.0%. На долю фракции древесных углей приходится 4–6%. Остальная часть (22–35%) принадлежит фракции трухи, представляющей собой смесь тонкодисперсных древесных углей, перемешанных с органическими остатками и мелкоземом.

На свежих горях таежных сосновых лесов, пройденных огнем высокой интенсивности, поверхностные органогенные пирогенные горизонты мощностью не более 1 см и запасом 2.0–4.8 т/га. Абсолютное господство во фракционном составе вновь образованного гор. Oriг принадлежит фракции древесных углей. Характерна также и большая доля (до 45%) фракции обугленной трухи, представляющей собой смесь тонкодисперсных древесных углей, перемешанных с мелкоземом и растительными остатками.

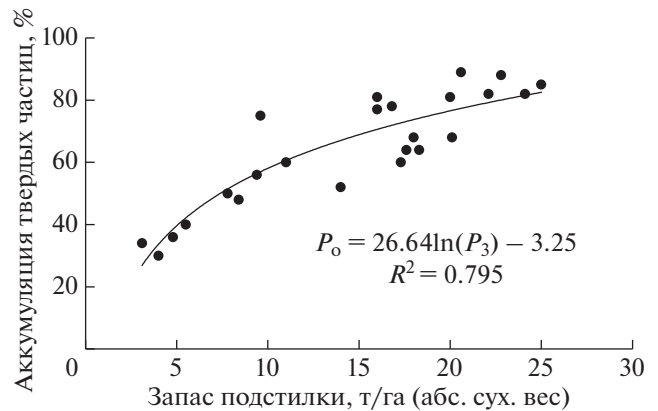


Рис. 2. Зависимость между величиной аккумуляции твердых частиц подстилкой (P_0) и ее запасом (P_3).

Пятилетний период, пройденный после воздействия пожара высокой интенсивности, значительно изменил состав и структуру поверхностных горизонтов. На поверхности сформировался гор. OL, мощностью 1 см с запасом 1.9–4.2 т/га. Во фракционном составе абсолютное господство принадлежит грубой фракции (сучья, кора, шишки) – 69–73%. На долю хвои и травы приходится соответственно 20–23 и 1–2%. Ниже залегают горизонты Oriг мощностью 2 см, запасом 11–14 т/га. Во фракционном составе на долю древесного угля приходится 38–40%. Остальная часть (60–62%) принадлежит фракции трухи, представляющей собой смесь тонкодисперсных древесных углей, перемешанных с мелкоземом.

В подтаежно-лесостепном сосновом ВПК, на горях пятилетней давности при воздействии огня средней интенсивности мощность гор. OL/Oriг не более 1 см, запас равен 7.0–10.4 т/га. По сравнению с лесом, гор. OL/Oriг имеет иное соотношение фракций: абсолютное господство принадлежит фракции хвои – 18–20% и грубой фракции – 40–42%. Фракция листьев и травы составляет соответственно 0.4–0.7 и 2.0–2.5%. На долю фракции древесных углей приходится 4.5–5.0%, трухи – 32.6–36.0%.

Зольный химический состав и физико-химические свойства подстилки. Известно, что подстилки представляют собой саморегулирующуюся систему, где состав и структура химических элементов отражают характер биологического круговорота веществ между почвой и растительностью [7, 16, 26, 40]. Различия в условиях формирования подстилок в пирогенно-преобразованных лесных биогеоценозах значительно отражаются на их зольности, содержании химических элементов и физико-химических свойствах. Так, в кедровниках кустарничково-зеленомошных средняя зольность подстилок равна $14.07 \pm 0.66\%$. В древостоях, пройденных пожаром слабой и средней ин-

тенсивностью зольность подстилок возрастает до 18.17 ± 0.73 – $24.75 \pm 1.51\%$. На участках кедрового леса, пройденных пожаром высокой интенсивности, средняя зольность подстилки достигает $34.86 \pm 2.71\%$ (табл. 2).

В сосняках рододендроновых бруснично-разнотравных средняя зольность подстилок равна $15.95 \pm 1.13\%$. На участке леса, пройденного пожаром слабой и средней интенсивностью, она увеличивается до 20.60 ± 1.83 – $22.34 \pm 2.00\%$, а на участке с высокой интенсивностью пожара – до $52.75 \pm 2.42\%$.

Подстилки, формирующиеся в подтаежно-лесостепных сосняках, имеют среднюю зольность $20.56 \pm 2.79\%$. Относительно высокая зольность подстилки связана, по-видимому, с интенсивностью ее минерализации, с видовым составом живого напочвенного покрова, участвующего в ее формировании, а также присутствие, наряду с органическими остатками разной степени разложения, примеси минеральных частиц.

На пятилетних гарях, пройденных пожаром средней интенсивности огня, зольность органо-генных пирогенных горизонтов составляет $40.32 \pm 7.52\%$.

В целом, подстилки в исследуемых лесах и на гарях отличаются низким содержанием зольных элементов. Однако наблюдаются различия в содержании элементов в зависимости от интенсивности пожаров и постпирогенной направленности сукцессионных процессов живого напочвенного покрова.

В пределах таежного кедрового ВПК подстилки кустарничково-зеленомошных типов леса имеют следующий ряд накопления химических элементов: $Ca > Si > Fe > Mg > Al > K > P$.

По сравнению с контролем в кедровниках, пройденных пожарами слабой интенсивности, в подстилках концентрация кремния, фосфора и кальция увеличивается, магния и калия остается на том же уровне, а железа и алюминия уменьшается.

Пожар средней интенсивности привел к более заметному увеличению концентрации зольных элементов в пирогенных горизонтах. По сравнению с контролем ряд увеличения концентрации элементов имеет вид: $K_{1.85} > Ca_{1.32} > P_{1.28} > Si_{1.24} > Al_{1.19} > Fe_{1.14} > Mg_{1.11}$.

В поверхностных органогенных пирогенных горизонтах, образовавшихся после воздействия огня высокой интенсивности, наблюдается более высокая концентрация по сравнению с контролем зольных элементов: $K_{2.21} > Al_{2.07} > Fe_{1.89} > Ca_{1.68} > Si_{1.52} > P_{1.43} > Mg_{1.26}$. Относительно высокое содержание зольных элементов в органогенных пирогенных горизонтах на 6 год является уже остаточным результатом воздействия пожаров.

Изменение в соотношении накопления зольных элементов связано также с их выщелачиванием поверхностным жидким стоком и хорошо развитым травяно-кустарничковым ярусом, влияющим на запас, фракционный и химический состав вновь образующейся подстилки.

По содержанию элементов в подстилках таежных сосняков рододендроновых бруснично-разнотравных можно составить следующий ряд накопления: $Ca > Si > Fe = Mg > Al > K > P$.

По сравнению с контролем ряды увеличения концентрации химических элементов в органогенных пирогенных горизонтах в сосняках, прошедших огнем разной интенсивности, имеют вид:

слабая интенсивность – $P_{1.20} > Mg_{1.18} > Ca_{1.14} > Fe_{1.12} > Al_{1.07} > Si_{1.03} > K_{0.7}$;

средняя интенсивность – $Fe_{1.45} > P_{1.32} > Mg_{1.27} = Ca_{1.27} > Al_{1.15} > Si_{1.14} > K_{1.04}$;

высокая интенсивность – $P_{1.75} > Ca_{1.74} > Fe_{1.73} > K_{1.50} > Mg_{1.45} > Al_{1.44} = Si_{1.44}$.

Ряд накопления химических элементов в подстилках исследуемых подтаежно-лесостепных сосновых лесов следующий: $Ca > Si > Fe > Mg > Al > P > K$.

Пожары средней интенсивности в подтаежно-лесостепных сосновых лесах приводят к заметному возрастанию концентрации химических элементов в гор. OL/Orig. Даже спустя 5 лет после пожара в органогенных пирогенных горизонтах почв отмечается увеличение содержания практически всех исследуемых химических элементов: K – в 3.00, Al – в 2.70, Fe – в 2.22, Si – в 1.80, Ca – в 1.71, Mg – в 1.62, P – в 1.57 раза по сравнению с их концентрацией в подстилке сосняка до пожара. Такое резкое изменение в соотношении концентрации зольных элементов в органогенных пирогенных горизонтах связано в первую очередь с изменением их зольности, фракционного состава, направленностью сукцессий живого напочвенного покрова.

Изменение кислотности подстилки наиболее заметно в год пожара. Пиролиз органического вещества сопровождается сдвигом реакции среды в сторону нейтральной или подщелачивания растворов. Шестилетний период после пожаров в кедровнике значительно нивелировал разницу в кислотности органогенных и органогенных пирогенных горизонтов. Они на всех исследованных объектах характеризуются кислой реакцией pH. Однако, если под пологом кедровых древостоев в подстилках pHвод равен 4.6–4.8, то на пожарищах поверхностные гор. OL/Orig даже спустя 6 лет после пожара имеют pHвод 5.0–5.4. Кислая реакция среды отмечена также в гор. AOrig на участке кедрового леса, пройденного пожаром высокой интенсивности (рис. 3).

Таблица 2. Изменчивость зольного химического состава органогенных и органогенных пирогенных горизонтов почв (% на сухое вещество)

Статистические параметры	Зольность, %	Si	Fe	Al	Ca	Mg	K	P
Тажный кедровый ВПК типов леса								
Кедровники кустарничково-зеленомошные. Контроль ($n = 5$)								
lim	12.30–15.44	0.75–0.79	0.26–0.31	0.24–0.28	0.73–1.33	0.23–0.31	0.13–0.16	0.07–0.08
$M \pm m$	14.07 \pm 0.66	0.77 \pm 0.01	0.29 \pm 0.01	0.26 \pm 0.01	1.00 \pm 0.17	0.27 \pm 0.02	0.14 \pm 0.008	0.07 \pm 0.003
Kv	10.5	2.6	8.9	7.7	30.0	14.8	10.7	7.1
Кедровники, пройденные огнем слабой интенсивности 6-летней давности ($n = 5$)								
lim	16.72–19.03	0.87–0.91	0.27–0.29	0.22–0.29	0.98–1.24	0.21–0.32	0.13–0.16	0.07–0.09
$M \pm m$	18.17 \pm 0.73	0.89 \pm 0.01	0.28 \pm 0.01	0.25 \pm 0.02	1.09 \pm 0.07	0.27 \pm 0.03	0.14 \pm 0.008	0.08 \pm 0.005
Kv	6.9	2.2	4.3	14.4	12.2	20.3	10.7	12.5
Кедровники, пройденные огнем средней интенсивности 6-летней давности ($n = 5$)								
lim	21.91–27.09	0.94–0.98	0.32–0.35	0.30–0.33	1.19–1.49	0.26–0.37	0.19–0.36	0.08–1.00
$M \pm m$	24.75 \pm 1.51	0.96 \pm 0.01	0.33 \pm 0.09	0.31 \pm 0.01	1.32 \pm 0.09	0.30 \pm 0.033	0.26 \pm 0.05	0.09 \pm 0.005
Kv	10.6	2.1	4.5	3.5	11.5	19.3	33.5	11.1
Кедровники, пройденные огнем высокой интенсивности 6-летней давности ($n = 5$)								
lim	30.04–39.44	1.15–1.19	0.53–0.57	0.53–0.56	1.47–1.82	0.31–0.35	0.18–0.56	0.09–0.12
$M \pm m$	34.86 \pm 2.71	1.17 \pm 0.01	0.55 \pm 0.01	0.54 \pm 0.01	1.68 \pm 0.11	0.34 \pm 0.01	0.31 \pm 0.12	0.10 \pm 0.008
Kv	13.5	1.7	3.6	2.8	11.0	5.9	67.7	15.0
Тажный сосновый ВПК типов леса								
Сосняки рододендроновые бруснично-разнотравные. Контроль ($n = 5$)								
lim	13.71–17.37	0.65–0.97	0.31–0.36	0.23–0.30	0.94–1.56	0.30–0.38	0.05–0.10	0.07–0.10
$M \pm m$	15.95 \pm 1.13	0.86 \pm 0.10	0.33 \pm 0.01	0.27 \pm 0.02	1.29 \pm 0.18	0.33 \pm 0.02	0.10 \pm 0.014	0.08 \pm 0.01
Kv	12.3	20.9	9.1	12.9	24.0	12.1	20.0	25.0
Сосняки, пройденные огнем слабой интенсивности 5-летней давности ($n = 5$)								
lim	15.21–25.70	0.75–1.00	0.35–0.42	0.25–0.34	1.09–1.82	0.32–0.45	0.04–0.12	0.09–0.12
$M \pm m$	20.60 \pm 1.83	0.89 \pm 0.04	0.37 \pm 0.01	0.29 \pm 0.01	1.47 \pm 0.12	0.39 \pm 0.02	0.07 \pm 0.013	0.096 \pm 0.008
Kv	19.9	10.1	8.1	11.7	17.6	12.8	42.8	19.8
Сосняки, пройденные огнем средней интенсивности 5-летней давности ($n = 5$)								
lim	17.42–28.31	0.75–1.17	0.34–0.68	0.25–0.36	1.24–1.90	0.35–0.56	0.08–0.15	0.08–0.14
$M \pm m$	22.34 \pm 2.00	0.98 \pm 0.08	0.48 \pm 0.06	0.31 \pm 0.02	1.64 \pm 0.12	0.42 \pm 0.04	0.104 \pm 0.012	0.106 \pm 0.011
Kv	20.0	17.4	27.1	16.1	15.8	19.0	25.9	22.6
Сосняки, пройденные огнем высокой интенсивности пятилетней давности ($n = 5$)								
lim	46.40–59.11	0.96–1.38	0.42–0.70	0.30–0.48	1.98–2.72	0.40–0.62	0.09–0.22	0.08–0.18
$M \pm m$	52.75 \pm 2.42	1.24 \pm 0.07	0.57 \pm 0.04	0.39 \pm 0.03	2.25 \pm 0.13	0.48 \pm 0.04	0.15 \pm 0.02	0.14 \pm 0.018
Kv	10.3	12.9	17.5	17.9	13.4	16.6	33.9	28.6
Подтаежно-лесостепной сосновый ВПК типов леса								
Сосняки остепненные осочково-разнотравные и разнотравные. Контроль ($n = 5$)								
lim	16.25–25.81	0.29–1.09	0.17–0.52	0.19–0.41	1.12–1.68	0.26–0.32	0.02–0.09	0.01–0.09
$M \pm m$	20.56 \pm 2.79	0.77 \pm 0.2	0.35 \pm 0.10	0.27 \pm 0.07	1.38 \pm 0.16	0.29 \pm 0.02	0.06 \pm 0.02	0.07 \pm 0.01
Kv	23.6	51.9	48.5	44.4	20.3	10.3	50.0	42.8
Сосняки, пройденные огнем средней интенсивности пятилетней давности ($n = 5$)								
lim	30.12–55.00	1.14–1.83	0.66–0.98	0.62–0.95	1.47–2.99	0.37–0.64	0.09–0.26	0.08–0.15
$M \pm m$	40.32 \pm 7.52	1.39 \pm 0.22	0.78 \pm 0.10	0.73 \pm 0.11	2.36 \pm 0.44	0.47 \pm 0.08	0.18 \pm 0.05	0.11 \pm 0.02
Kv	32.3	27.3	21.8	26.0	32.2	29.8	44.4	36.4

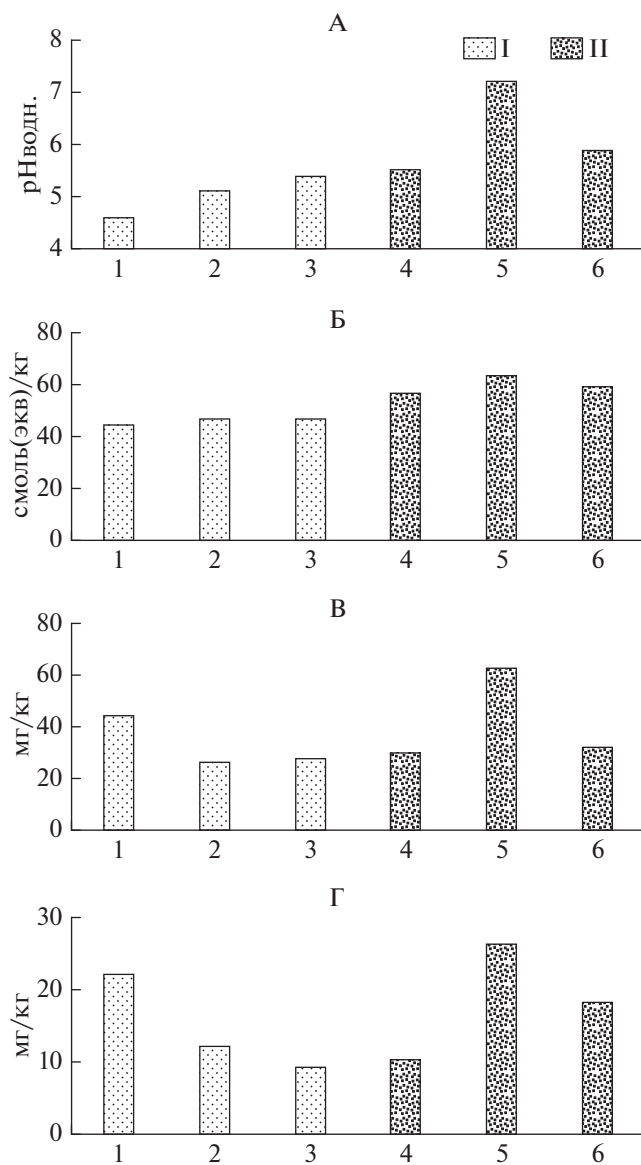


Рис. 3. Некоторые физико-химические и химические свойства подстилок. Обозначения: I – кедровник кустарниково-зеленомошный: 1 – контроль; 2 – пройденный огнем средней интенсивности шестилетней давности; 3 – пройденный огнем высокой интенсивности шестилетней давности; II – сосняк рододендроновый бруснично-разнотравный: 4 – контроль; 5 – пройденный огнем высокой интенсивности (свежая гарь); 6 – пройденный огнем высокой интенсивности пятилетней давности; А – актуальная кислотность; Б – обменные катионы Ca²⁺ + Mg²⁺; В – подвижные N-NH₄ и Г – подвижные N-NO₃.

Установлено, что под пологом сосновых насаждений в подстилках реакция среды кислая (рН_{водн.} 5.4–5.3), на пожарищах поверхностные горизонты OL/Or_{1g} даже через 5 лет после пожара слабокислые (рН_{водн.} 6.0–5.8). На свежей гари в поверхностном гор. Or_{1g} реакция среды слабоще-

лочная (рН 7.4). Разница в кислотности отмечается только в органогенном слое, нижние горизонты имеют реакцию, близкую соответствующим горизонтам лесной почвы. Подобная закономерность отмечена и другими исследователями [7, 9, 23, 33]. Повышение рН после воздействия огня в поверхностных горизонтах связано с образованием карбонатов и (гидр)оксидов К и Са при пиролизе органического вещества [29, 32].

В качестве положительного влияния пожара на почвы большинство исследователей отмечают увеличение в почвенном поглощающем комплексе кальция, а также подвижных минеральных соединений азота – N-NH₄ и N-NO₃ в поверхностных горизонтах.

Как и следовало ожидать, на пожарищах как в сосновых, так и в кедровых лесах поверхностные органогенные пирогенные горизонты почв характеризуются повышенным содержанием обменных катионов (Ca²⁺ + Mg²⁺). Сопоставление подвижных минеральных форм азота – N-NH₄ и N-NO₃ показало, что на свежей гари сосняков в гор. Or_{1g} наблюдается максимальное их количество. На гарях, даже спустя 5 лет после пожара, наблюдается повышенное их содержание по сравнению с контрольными негорелыми участками. Появление таких азотофилов, как кипрей (*Chamerion angustifolium*), свидетельствует об удовлетворительной обеспеченности почв гарей азотом в этот период.

Отмеченная тенденция к увеличению подвижных минеральных форм азота в органогенном пирогенном горизонте на пожарищах, свойственная сосновым насаждениям, не выражена в кедровых лесах. Здесь после пожара высокой интенсивности почти полностью выгорают органогенные горизонты, а вновь образованный маломощный гор. Or_{1g} относительно обеднен этими соединениями.

Содержание подвижных форм микроэлементов.

Известно, что поведение подвижных форм микроэлементов в почвах контролируется многими факторами: это гранулометрический и минералогический составы твердой фазы, направление и глубина процесса почвообразования, окислительно-восстановительные условия и др. [5, 8, 17, 39, 40].

Учитывая значение гранулометрического и минералогического состава, необходимо отметить также и большую роль органического вещества (поступающего с опадом и корневыми системами растений) в концентрации микроэлементов в поверхностных органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтах почв. По данным ряда авторов [12, 35], в гумусовом веществе почв может сорбироваться от 1 до 100% валового количества меди и кадмия, до 40–60% молибдена, свинца, никеля. Причем более 50% от их общего содержа-

Таблица 3. Содержание подвижных форм микроэлементов в органогенных, органогенных пирогенных горизонтах почв и в почвообразующих породах (мг/кг)

Интенсивность пожара	Горизонт	Zn	Cu	Cd	Pb	Ni	Co	Mn
Тажный кедровый ВПК типов леса								
Кедровник кустарничково-зеленомошный (состав 10КедС,Б, 120 лет)								
Контроль	О	17.20	0.42	0.05	1.13	0.53	0.49	213.96
	С – легкий суглинок	0.83	0.15	0.002	0.44	0.25	0.24	4.32
Слабая	OL/Opig	18.48	0.59	0.06	1.40	0.56	0.29	283.41
	С – легкий суглинок	0.80	0.18	0.001	0.59	0.30	0.32	3.06
Средняя	OL/Opig	18.36	0.50	0.04	1.57	0.52	0.20	400.38
	С – легкий суглинок	0.81	0.21	0.001	0.42	0.24	0.28	3.74
Высокая	Opig	22.61	0.64	0.07	2.23	0.25	0.35	478.87
	С – легкий суглинок	0.99	0.17	0.002	0.44	0.26	0.30	4.32
Тажный сосновый ВПК типов леса								
Сосняк рододендроновый бруснично-разнотравный (состав 8С2Л+Б, 95 лет)								
Контроль	О	5.37	0.22	0.045	0.53	0.34	0.13	409.62
	С – средний суглинок	0.24	0.21	0.002	0.37	0.43	0.04	47.22
Слабая	OL/Opig	3.54	0.55	0.095	0.87	0.49	0.23	512.00
	С – средний суглинок	0.61	0.25	0.004	0.28	0.39	0.05	50.53
Средняя	OL/Opig	4.06	0.59	0.05	1.56	0.21	0.25	535.00
	С – средний суглинок	0.51	0.20	0.002	0.29	0.40	0.05	46.80
Высокая	Opig	6.30	0.31	0.09	2.92	0.45	0.10	572.80
	С – средний суглинок	0.26	0.20	0.006	0.40	0.42	0.05	47.14
Подтаежно-лесостепной сосновый ВПК типов леса								
Сосняк остепненный разнотравный (состав 10С, 90 лет)								
Контроль	О	19.53	0.27	0.03	0.91	0.36	0.05	119.85
	С – средний суглинок	1.07	0.24	0.06	2.02	0.53	0.25	50.51
Средняя	OL/Opig	19.42	0.31	0.04	1.29	0.30	0.24	235.96
	С – средний суглинок	1.12	0.29	0.05	1.52	0.26	0.32	92.12
Сосняк остепненный осочково-разнотравный (состав 8С2ЛедБ, 70 лет)								
Контроль	О	3.46	0.36	0.075	0.69	0.23	0.02	77.50
	С – супесь	0.15	0.22	0.02	1.30	0.95	0.04	24.73
Средняя	OL/Opig	3.13	0.16	0.07	1.22	0.36	0.16	115.62
	С – супесь	0.28	0.20	0.02	1.40	1.17	0.03	26.82

ния связано с фульвокислотами, обладающих большой дисперсностью, гидрофильностью и способностью к комплексообразованию с ионами поливалентных металлов [44, 45].

Содержание подвижных форм микроэлементов в поверхностных органогенных и органогенных пирогенных горизонтах приведено в табл. 3.

Рассчитанные коэффициенты концентрации подвижных элементов (Ккп) свидетельствуют, что содержание большинства микроэлементов в почвообразующей породе кедрового насаждения не превышает 1% от общего их содержания в литосфере. Количество Pb, Co и Cd в подвижной форме составляет 1.3–2.7%.

В органогенном горизонте в лесу содержание подвижных форм микроэлементов выше. Очень подвижны Cd, Mn и Zn доля их подвижных форм составляет соответственно 38.5; 21.4 и 21.0% от общего содержания в литосфере (рис. 4).

На гаревых участках в зависимости от интенсивности пожара резко возрастает доля подвижных форм Zn, Mn, Pb и особенно Cd.

Обогащение подстилок целым рядом элементов находится в соответствии с коэффициентами биологического поглощения (Кбп). Коэффициенты биологического поглощения свидетельствуют о первостепенной роли растительности в обогащении органогенного горизонта микроэлементов, участвующими в малом биологическом круговороте.

Ряд накопления подвижных элементов в подстилке кедровника кустарничково-зеленомошного следующий: $Mn_{49.53} > Cd_{25.00} > Zn_{20.72} > Cu_{2.80} > Pb_{2.57} > Ni_{2.12} > Co_{2.04}$. Относительно почвообразующей породы в поверхностном органогенном горизонте резко возрастает концентрация Mn, Zn и Cd. В меньшем количестве накапливается Cu, Pb, Ni и Co. Усиление аккумуляции некоторых подвижных элементов в исследуемом кедровом насаждении может быть связано и с дополнитель-

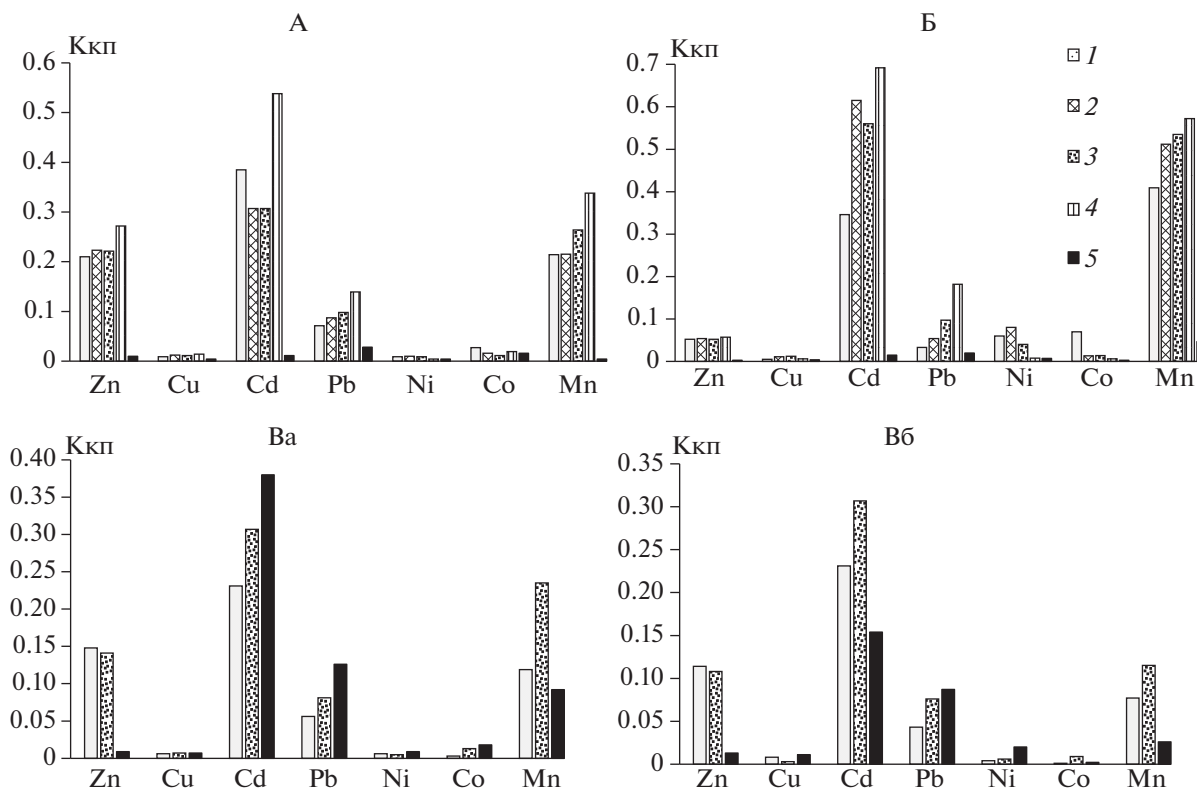


Рис. 4. Коэффициенты концентрации подвижных форм микроэлементов. Обозначения: А – кедровник кустарничково-зеленомошный, Б – сосняк рододендроновый бруснично-разнотравный, Ва – сосняк остепненный разнотравный, Вб – сосняк остепненный осочково-разнотравный: 1 – в органогенных горизонтах (контроль); в органогенных пирогенных горизонтах, при пожарах: 2 – слабой, 3 – средней, 4 – высокой интенсивности; 5 – в почвообразующей породе.

ным их поступлением в подстилку за счет минеральных примесей и в результате деятельности почвенной фауны.

По сравнению с контролем после пожара слабой интенсивности органогенные пирогенные горизонты, судя по коэффициентам биологического поглощения, характеризуются увеличением концентрации Mn, Zn и Cd. Для остальных элементов характерна относительно меньшая концентрация. Ряд накопления подвижных микроэлементов в органогенных пирогенных горизонтах после пожаров слабой интенсивности имеет вид: $Mn_{70.39} > Cd_{40.00} > Zn_{23.10} > Cu_{3.27} > Pb_{2.37} > Ni_{1.87} > Co_{0.90}$.

На горях со средней и высокой интенсивности воздействия огня, спустя 6 лет после пожара, поверхностные органогенные пирогенные горизонты характеризуются накоплением Mn, Cd, Zn и Pb. Концентрация остальных элементов значительно меньше. Повышенное содержание этих элементов в пирогенно-трансформированных горизонтах почв даже спустя 6 лет после пожара связано, по-видимому, с изменением окислительно-восстановительных условий. Слабокислая, нейтральная и щелочная среда резко изменяет подвижность многих химических элементов. Щелочная среда меняет валентность марганца с

Mn^{2+} на Mn^{3+} и Mn^{4+} , и в этом состоянии он становится мало подвижен, миграция Cu, Pb и Co также значительно ослабевает [22].

В почвообразующей породе сосняка рододендрового бруснично-разнотравного содержание подвижных форм микроэлементов не превышает 1% от общего их содержания в литосфере. Исключение составляет Pb (2.3%) и Mn (4.7%).

Концентрация подвижных форм в органогенном горизонте в лесу возрастает, особенно Cd (34.6%) и Mn (40.9%). Относительно меньше Pb (3.3%) и Zn (5.2%). В незначительном количестве накапливается Cu и Ni.

В органогенных пирогенных горизонтах на гаревых участках, в зависимости от интенсивности пожара, концентрация подвижных форм микроэлементов увеличивается. Особенно активно накапливаются Mn и Cd.

По сравнению с кедровым, в подстилках рододендрового бруснично-разнотравного сосняка отмечается относительно более низкое содержание подвижных форм большинства микроэлементов. В подстилке сосняка только подвижного Co несколько больше, чем в подстилке кедровника, а количество Ni значительно меньше, чем в почво-

образующей породе. Ряд накопления подвижных микроэлементов в подстилке сосняка рододендрового бруснично-разнотравного имеет вид: $Cd_{22.50} > Zn_{15.60} > Mn_{8.67} > Co_{3.25} > Pb_{1.43} > Cu_{1.05} > Ni_{0.79}$.

Органогенные пирогенные горизонты почв сосновых насаждений, образовавшиеся после пожаров средней и высокой интенсивности имеют соответственно следующие ряды накопления подвижных микроэлементов: $Cd_{25.00} > Zn_{16.22} > Mn_{11.43} > Pb_{5.37} > Co_{5.00} > Cu_{2.95} > Ni_{0.52}$ и $Cd_{45.00} > Zn_{17.14} > Mn_{12.15} > Pb_{7.30} > Co_{2.00} > Cu_{1.90} > Ni_{1.07}$.

В подтаежно-лесостепном сосновом ВПК почвообразующие породы в зависимости от их гранулометрического состава сильно различаются по содержанию подвижных форм микроэлементов. Следует отметить, что в почвенном покрове рассматриваемых типов леса распространены карболитоземы темногумусовые, развитые на остаточной коре выветривания доломитов. Так, в средне-суглинистой разновидности количество Cd, Pb и Mn в подвижной форме соответственно равно 46.2, 12.6 и 5%. Доля подвижных форм остальных исследуемых элементов изменяется в пределах 1% от общего их содержания в литосфере. Для супесчаной разновидности концентрация практически всех исследуемых микроэлементов понижена (рис. 4).

Подстилки в подтаежно-лесостепных сосновых лесах характеризуются еще более низким содержанием подвижных микроэлементов по сравнению с подстилками таежных сосновых и кедровых насаждений. Наиболее интенсивно в подстилках аккумуляруются лишь Zn и Mn, реже Cd, а содержание остальных элементов значительно меньше, чем в почвообразующей породе. Ряды накопления следующие: в подстилке сосняка степненного разнотравного — $Zn_{11.50} > Mn_{2.37} > Cu_{0.79} > Ni_{0.68} > Cd_{0.50} > Pb_{0.45} > Co_{0.20}$; в подстилке сосняка степненного осочково-разнотравного — $Zn_{11.80} > Mn_{3.13} > Cu_{1.63} > Cd_{1.50} > Pb_{0.53} > Co_{0.50} > Ni_{0.24}$.

Резкое уменьшение некоторых подвижных микроэлементов в поверхностных органогенных горизонтах почв, и их концентрация в почвообразующих породах, объясняется наличием здесь карбонатного геохимического барьера.

По сравнению с контролем органогенные пирогенные горизонты почв, образовавшиеся после пожара пятилетней давности, судя по коэффициентам биологического поглощения, имеют следующие ряды накопления элементов: в сосняке степненном разнотравном $Zn_{10.50} > Mn_{2.56} > Ni_{1.15} > Cu_{1.07} > Pb_{0.85} > Cd_{0.80} > Co_{0.75}$; в сосняке степненном осочково-разнотравном $Zn_{11.00} > Co_{5.33} > Mn_{4.31} > Cd_{1.25} > Pb_{0.87} > Cu_{0.80} > Ni_{0.30}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В горных лесах Прибайкалья, широкое варьирование мощности и запасов подстилки обусловлено как разными гидротермическими условиями лесорастительных поясов, так и типологическими и таксационными показателями насаждений.

В пределах изученных ВПК типов леса подстилки формируются по типу грубогумусовых и слабогрубогумусовых. Дальнейшая классификационная дифференциация подстилок осуществляется по мощности, степени разложения и по компонентному составу.

Скорость разложения и освобождения из подстилки химических элементов зависит от типа леса, структуры насаждения, его возраста и особенностей условий местообитания. Под пологом леса подстилки отличаются низкой зольностью. Относительно высокая зольность подстилки в таежно-лесостепном ВПК связана, по-видимому, с интенсивностью ее минерализации, с видовым составом живого напочвенного покрова, участвующего в ее формировании, а также присутствие в компонентном составе, наряду с органическими остатками разной степени разложения, примеси минеральных частиц. Одновременно в золе увеличивается концентрация кальция, кремния и железа, наблюдается интенсивный вынос калия и фосфора. Выявлена высокая пространственная вариабельность подвижных форм микроэлементов для органогенных горизонтов почв изученных ВПК типов леса. Характерна высокая аккумуляция Mn, Cd и Zn.

Низовые пожары резко изменяют морфологический облик верхней части почвенного профиля. Формируются новые поверхностные органогенные пирогенные горизонты (O_{rig}; OL/O_{rig}; AO_{rig}), которые по химическим, физико-химическим свойствам и биологическому круговороту зольных элементов резко отличаются от природных аналогов. Под влиянием огня возникают изменения в пространственной организации достаточно лабильных их свойств (рН, состав обменных катионов, валовых и подвижных форм азота и др.). При сгорании подстилки и живого напочвенного покрова происходит высвобождение большого количества зольных элементов. Содержание зольных элементов в подстилках старых гарей зависит, главным образом, от направленности сукцессий живого напочвенного покрова, продукты разложения которых существенно изменяют их химический состав. Лесные пожары существенно изменяют подвижность микроэлементов. Повышенное их содержание в органогенных пирогенных горизонтах почв, даже на пожарах 5–6-летнего возраста, связано, по-видимому, с резким изменением, при воздействии высоких температур, окислительно-восстанови-

тельных условий (Eh и рН), влияющих на подвижность химических элементов.

При низовых пожарах высокой, реже средней интенсивности, огнем уничтожается почти полностью поверхностный органогенный горизонт, тем самым уничтожается на долгое время органосорбционный геохимический барьер, играющий важную роль в лесных биогеоценозах.

Нарушенные пожарами поверхностные органогенные горизонты почв имеют длительный период восстановления. Появляющийся с течением времени под пологом лиственных пород подрост служит надежной основой для восстановления насаждений из коренных пород и формированию органогенных горизонтов почв, характерных для лесных биогеоценозов Южного Прибайкалья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахмет О.Н., Шоба С.А. Морфологические и биохимические особенности органофильных лесных почв Карелии // Лесоведение. 2006. № 3. С. 74–79.
2. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
3. Богатырев Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
4. Богатырев Л.Г., Телеснина В.М. Словарь терминов и показателей, используемых при изучении биологического круговорота. М.: МАКС Пресс, 2010. 184 с.
5. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
6. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
7. Гынинова А.Б., Дыржинов Ж.Д., Гончиков Б.-М.Н., Бешенцев А.Н. Антропогенная трансформация подтаежных почв дельты реки Селенги // География и природные ресурсы. 2016. № 5. С. 83–91. doi 10.21782/GIPR0206-1619-2016-5(83-91)
8. Добровольский В.В. Геохимия микроэлементов. Глобальное рассеивание. М.: Мысль, 1983. 272 с.
9. Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, республика Коми) // Почвоведение. 2014. № 2. С. 144–154. doi 10.7868/50032180X14020051
10. Дылис Н.В. Лесная подстилка в биогеоценологическом освещении // Лесоведение. 1985. № 5. С. 3–8.
11. Зонн С.В. Почвы как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 372–457.
12. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 436 с.
13. Карпачевский Л.О. Подстилка – особый биогоризонт лесного биогеоценоза // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 88–89.
14. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
15. Краснощекоев Ю.Н. Влияние пирогенного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Сибирский лесной журнал. 2014. № 2. С. 43–52.
16. Краснощекоев Ю.Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 224 с.
17. Кузьмин В.А. Геохимия почв юга Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Соचाва СО РАН, 2005. 137 с.
18. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР. 1970. С. 5–58.
19. Курбатский Н.П. О классификации лесных пожаров // Лесное хозяйство. 1970. № 3. С. 68–73.
20. Молчанов А.А. Гидрологическая роль лесов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 484 с.
21. Миньковский Г.М., Шоба С.А. Морфоструктурные подходы к типизации органофильных почв // Почвоведение. 1995. № 10. С. 1271–1283.
22. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астория-2000, 1999. 768 с.
23. Попова Э.П. Состав и физические свойства подстилок на разновозрастных гарях в Приангарских сосняках // Агрофизические исследования почв Средней Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1975. С. 83–88.
24. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. 403 с.
25. Протопопов В.В., Куклин В.В. Выделение запретных (защитных) лесных полос по берегам рек Средней Сибири // Принципы выделения защитных лесных полос. М.: Наука, 1977. С. 92–104.
26. Решетникова Т.В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // Вестник КрасГАУ. 2011. № 12. С. 74–81.
27. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилович Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
28. Сапожников А.П. Лесная подстилка – номенклатура, классификация, индексация // Почвоведение. 1984. № 5. С. 96–105.
29. Старцев В.В., Дымов А.А., Прокушкин А.С. Почвы постпирогенных лиственничников Средней Сибири: морфология, физико-химические свойства и особенности почвенного органического вещества // Почвоведение. 2017. № 8. С. 912–925. doi 10.7868/S0032180X17080111
30. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.
31. Харитонов Г.И. Водопоглощающая и кольматирующая способность луга и леса в связи с влиянием подстилки и подлеска // Тр. Воронежской оп. ст. 1940. Вып. 3. С. 31–51.
32. Чевычелов А.П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–278.

33. *Чевычелов А.П., Шахматова Е.Ю.* Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 243–252. doi 10.7868/S0032180X18020120
34. *Чертов О.Г.* Экология лесных земель. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1981. 192 с.
35. *Чимитдоржиева Г.Д., Нимбуева А.З., Бодеева Е.А.* Тяжелые металлы (медь, свинец, кадмий) в органической части серых лесных почв Бурятии // Почвоведение. 2012. № 2. С.166–172.
36. *Шумаков В.С.* Место лесных подстилок в мире растительных войлоков // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 222–223.
37. *Hartmann F.* Forstokologie. Vienna: Verlag Georg Fromme & Co. 1952. 461 p.
38. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports №106. FAO, Rome. 2014. 181 p.
39. *Kaiser K., Guggenberger G.* Mineral surface and soil organic matter // Europ. J. Soil Sci. 2003. V. 54. P. 219–236.
40. *Krasnoshchekov Yu.N., Cherednikova Yu.S.* Postpyrogenic transformation of soils under *Pinus sibirica* forests in the southern lake Baikal basin // Eurasian Soil Science. 2012. V. 45. № 10. P. 929–939. doi 10.1134/S1064229312100055
41. *Kubiens W.L.* Soils of Europe. London: Thomas Murby and Co. 1953. 392 p.
42. *Mraz K.* Die ursachen der differenzierten Bildung von Mull- und Morhumusformen aus mikromorphologischer Sicht // Докл. X Междунар. конгресса почвоведов. Доп. мат-лы. М.: Наука, 1975. Т. 12. С. 319–328.
43. *Muller P.E.* Recherches sur les formes naturelles de l'humus // Ann. de la Sci. Agron. Franc. Et Etrangere. 1879. P. 85–423.
44. *Tyler G.* Rare earth elements in soil and plant systems – A review // Plant and Soil. 2004. V. 267. P. 191–206.
45. *Wong J.W.C., Li K.L., Zhou L.X., Selvam A.* The sorption of Cd and Zn by different soils in the presence of dissolved organic matter from sludge // Geoderma. 2007. V. 137. P. 310–317.

Post-Pyrogenic Variability of Litter in Mountain Forests of the Pribaikalie Region

Yu. N. Krasnoshchekov*

*Sukachev Institute of Forest SB RAS – Separate subdivision of FRC KSC SB RAS,
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28, Russia*

**e-mail: kyn47@mail.ru*

The data of experimental studying the post-pyrogenic dynamics of litter in mountain- taiga cedar (*Pinus sibirica*), pine (*Pinus sylvestris*) and subtaiga- forest-steppe pine (*Pinus sylvestris*) forests in the Pribaikalie region are analyzed in the paper. Ground fires prevailing in this region transform the type-diagnostic surface organogenic horizons of soils, result also in the formation of new pyrogenic horizons (Opir; OLpir; OL/Opir; OАpir). The negative impact of ground fires on the change in power, reserves, moisture capacity and qualitative fractional composition of forest litters has been shown here as well. The data of ash chemical composition of litters as well as the content of mobile forms of microelements is given too. The tendency of reducing concentration of mobile elements in organogenic horizons from the taiga cedar altitudinal-belt complex (ABC) to the subtaiga – forest steppe pine ABC of forest types has been clearly revealed. It was established that forest fires result in large quantitative and qualitative changes of the chemical composition of surface organogenic pyrogenic horizons, and especially it shows itself in transformation of their labile properties (pH, composition of exchange cations, gross and mobile forms of nitrogen etc.).

Keywords: forest litter, ground fires, reserves, moisture capacity and fractional litter composition, ash elements, mobile microelements