
ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 631.445.2:631.417:630*231 (470.1)

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРА В СЕВЕРОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ НА ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ*

© 2015 г. А. А. Дымов, Ю. А. Дубровский, Д. Н. Габов,
Е. В. Жангуров, Н. А. Низовцев

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
167982 Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28
E-mail: aadymov@gmail.com*

Поступила в редакцию 14.03.2014 г.

Приведены результаты изучения морфологических свойств почвы и растительности 9-летнего постпирогенного листовенного молодняка, сформировавшегося после верхового пожара в северо-таежном ельнике. Показано, что в почве постпирогенного фитоценоза морфологические пирогенные признаки проявляются до глубины 20–30 см, подстилки менее кислые, характеризуются высоким содержанием обменного кальция. Существенных пирогенных изменений в запасах углерода и азота в почвах не выявлено, однако происходит возрастание запасов углерода и азота в минеральных горизонтах при уменьшении вклада подстилок. Показано, что пожары являются одним из основных факторов, приводящих к увеличению концентраций полициклических углеводородов в почвах. Возрастание происходит преимущественно за счет двух- и трехъядерных полиаренов, наибольший вклад в увеличение вносит нафталин. В почве, формирующейся в геохимически подчиненном положении по отношению к участку, пройденному пожаром, наблюдается возрастание концентрации легких полиароматических углеводородов в срединных минеральных горизонтах профиля, вероятно, это определяется латеральной миграцией соединений. Лабильное органическое вещество изучаемых почв имеет близкое соотношение амфифильных фракций.

Лесные почвы, пожары, почвенное органическое вещество, ПАУ, амфифильные свойства ПОВ, Печоро-Илычский заповедник.

ВВЕДЕНИЕ

Пожары являются одним из основных естественно циклических факторов, способствующих изменению и современной эволюции таежных ландшафтов [31]. Они могут оказывать различное влияние на экологическое состояние таежных биогеоценозов – от стимулирующего эффекта, влияющего на продуктивность отдельных древесных пород, до полного уничтожения современных фитоценозов и существенной деградации ландшафтов. Для регионов России, расположенных в таежной зоне, в том числе и Республики Коми, включающей около 50% лесопокрытых земель Европейского северо-востока России, пожары яв-

ляются одним из основных факторов, определяющих экологическое состояние экосистем. Общее число пожаров в течение пожароопасного сезона и площади, пройденные пожаром, в существенной степени зависят от ряда факторов, важнейшими из которых являются климатические условия летнего периода. В отдельные годы лесные площади, подвергающиеся воздействию пожаров, сравнимы с территориями проведения промышленных рубок [17].

Общепризнанной является значительная роль бореальных лесов в поддержании баланса углерода на Земле. При этом пул углерода почв существенно возрастает в бореальных ландшафтах и в среднем составляет от 40 до 60% запасов органического углерода, накапливаемого в биогеоценозах [15, 38]. Необходимо отметить, что большинство исследований, направленных на изучение изменений фитоценозов и почв под воздействи-

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук (МК-1027.2013.4), РФФИ (проект № 13-04-00570а) и программы Президиума РАН (№ 12-П-4-1018).

ем пожаров, проведены для территории Сибири [1, 2, 27, 28]. На европейском севере России изучению лесных пожаров посвящено значительно меньшее число работ, в основном преобладают исследования динамики растительности в ходе постпирогенных сукцессий [3, 6, 9]. Несмотря на большое число исследований, посвященных оценке влияния пирогенного фактора на таежные экосистемы, работы, посвященные влиянию пожаров на почвы и почвенное органическое вещество (ПОВ) в еловых сообществах, практически отсутствуют. Вероятно, это связано с тем, что еловые леса горят в меньшей степени по сравнению с сосновыми и лиственничными древостоями. Особую роль пожары играют на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) зоны тайги, которые служат эталонами современного состояния таежных экосистем и характеризуются высокой комплексностью почвенного [26] и растительного [18] покровов. Согласно исследованиям С.В. Дёгтевой [8] и В.В. Елсакова с соавт. [13], на крупнейших ООПТ западного макросклона Урала послепожарные мелколиственные леса занимают значительные площади. Учитывая современные прогнозы изменения климата [35], можно предположить существенные изменения водно-теплового баланса в темнохвойных лесах Севера России, и, как следствие, усиление в них пирогенного влияния.

В связи с этим цель работы заключалась в изучении изменений морфологических и физико-химических свойств почв темнохвойных фитоценозов, запасов и амфифильных свойств ПОВ, концентраций полиароматических углеводородов (ПАУ) в почвах фитоценозов, пройденных пожаром.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на ключевых участках, расположенных в северной тайге (Троицко-Печорский муниципальный район, Республики Коми, Печоро-Илычский биосферный заповедник). Полевые исследования и отбор образцов почв были произведены в августе 2009 г. Исследуемые участки расположены в верхнем течении р. Илыч. Согласно схеме почвенно-географического районирования ЕТР, территория исследований располагается в предгорном увалистом районе глееподзолистых и торфянисто-подзолисто-глееватых почв северной тайги [7]. В зоне влияния пожара было заложено два разреза – в центре участка, подвергнувшегося пожару (разрез 25-СУ), и на участке, не испытывавшем прямого воздействия огня, расположенном на окраине

пройденного пожаром древостоя в геохимически подчиненном ландшафте на склоне к р. Золотой ёль (разрез 24-СУ). В качестве условно-фоновый был подобран участок, формирующийся в схожих ландшафтных условиях с близким составом растительности и типом почв (разрез 22-СУ).

Описания растительности выполняли с применением стандартных для геоботаники и лесной типологии методик [14]. Классификацию сообществ проводили с использованием эколого-фитоценотического подхода [10, 24]. На участке, подвергнувшись пожару, произведен сплошной перебор деревьев на трех пробных площадях (400 м²). Классификационное положение почв и диагностику генетических горизонтов определяли согласно [22] с рекомендациями по выделению пирогенных признаков [16, 25]. Отбор образцов почв проводили из опорных разрезов. Для расчета запасов элементов измеряли мощность горизонтов в 10 прикопках, определение объемного веса подстилок и минеральных горизонтов проводили в 5-кратной повторности. Образцы почв готовили к качественному химическому анализу по стандартной методике [29]. Количественный химический анализ почв выполняли в экоаналитической лаборатории “Экоаналит” Института биологии Коми научного центра УрО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта России (аттестат РОСС RU.0001.511257 от 16 апреля 2009 г.). Общее содержание углерода и азота определяли на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba), обменные катионы – вытеснением NH₄Cl с последующим определением на ICP Spectro Ciros, pH – потенциометрически со стеклянным электродом, гранулометрический состав почв – по методу Качинского. Содержание ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе “Люмахром” (ООО “Люмэкс”) со спектрофлуориметрическим детектором “Флюорат-02-Панорама”. Для изучения амфифильных компонентов гумусовых веществ (ГВ) почв использовали жидкостную хроматографию гидрофобного взаимодействия. Хроматографическое фракционирование проводили на колонке размером 1 на 10 см с гидрофобизированным гелем агарозы (Octyl Sepharose CL-4B, Pharmacia) на хроматографе BioLogic LP (BioRad, USA) согласно методике Е.Ю. Милановского [21]. Относительное содержание фракций гумусовых веществ определяли по площади каждой хроматографической фракции, выраженной в процентах от общей площади пиков, с помощью программы обработки хроматографических данных “МультиХром” (Амперсэнд, Россия). Хро-

матографическое фракционирование позволяет разделить гумусовые вещества на 5 молекулярно-гомогенных фракций, которые в определенной доле встречаются во всех исследованных образцах. Степень гидрофильности (D_H) гумусовых веществ определяли как отношение суммы площадей гидрофильных компонентов (фракций 1 и 2) к сумме площадей гидрофобных компонентов (фракций 3–5).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Еловые леса являются одной из доминирующих лесных формаций европейской территории России. В Республике Коми они занимают более половины лесопокрытой площади. Основные массивы ельников сосредоточены в подзонах средней и северной тайги. В северной тайге преобладают спелые и перестойные леса при высокой доле ельников зеленомошной группы типов (около 35%). Они произрастают на ровных и слабовозвышенных участках водоразделов, занимая хорошо дренированные элементы рельефа и являясь в засушливые сезоны пожароопасными типами леса [15]. Пожары в ельниках по сравнению с пожарами в сосняках имеют более катастрофические последствия, что связано с развитием поверхностных корневых систем и физиологически слабой устойчивостью ели к высоким температурам.

В качестве условного фона использован ельник чернично-зеленомошный (Еф) (ассоциация *Piceetum myrtilloso-hylocomiosum*), формирующийся на пологом склоне (крутизной 2–3°), на левом берегу р. Илыч, в 200 метрах от русла. В составе древостоя преобладает ель (*Picea obovata* Ledeb.). Общая сомкнутость крон 0.5–0.7. Высота деревьев первого яруса 20–24 м, диаметр 28–32 см, сомкнутость крон 0.2–0.4. В составе данного яруса в равных долях представлены ель и кедр (*Pinus sibirica* Du Tour) с примесью березы (*Betula pubescens* Ehrh.). Второй ярус древостоя, в составе которого абсолютно доминирует ель, также достаточно сомкнут (0.2–0.4). Высота деревьев 14–18 м, диаметр 16–22 см. Наиболее активно возобновляется ель, регулярно встречаются молодые особи кедра. Подлесок представлен редкими деревьями рябины (*Sorbus sibirica* Hedl.). Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса достигает 50%. Основной доминант – черника (*Vaccinium myrtillus* L.). Заметна роль кислицы (*Oxalis acetosella* L.). Облик напочвенного покрова типичен для старовозрастных ельников зеленомошной группы типов северной тайги. ОПП 90%, преобладают зеленые мхи (плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*

(Brid.) Mitt.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G.) с примесью кукушкиного льна (*Polytrichum commune* Hedw.). Почвы формируются на моренных легких суглинистых отложениях, с четкой дифференциацией профиля по подзолистому типу. Строение профиля: О–ЕЛ–ВФ–БЕЛ–Вт. Отличия от текстурно-дифференцированных почв, развивающихся в равнинных условиях [30], заключаются в менее выраженной текстурной дифференциации, прослеживающейся в нижних горизонтах почвенного профиля, и большей выраженности иллювиально-железистого горизонта. Вероятно, слабая выраженность текстурной дифференциации нижних горизонтов определяется формированием в склоновых условиях. Физико-химические свойства почвы ельника чернично-зеленомошного являются типичными для текстурно-дифференцированных почв (табл. 1). Почвы сильнокислые с максимальной кислотностью в элювиальном горизонте (ЕЛ). Обменные катионы накапливаются в подстилке, в минеральных горизонтах их содержание очень низкое. Основное количество органического углерода и азота сосредоточено в грубогумусированных подстилках. В горизонте ВФ наблюдается возрастание иллювиального органического вещества и дитиониторастворимых форм железа.

Участок лиственного молодняка первого класса возраста (Мл), формирующийся на месте гари 9-летней давности, исследован вблизи р. Золотой ёль, на левом берегу р. Илыч (приблизительно в 200 м от русла), приблизительно в 100 м от участка Егх. Крутизна склона около 2°. Лиственный молодняк сформировался на месте ельника чернично-зеленомошного, полностью выгоревшего в июле 2000 г. Вид пожара – верховой, устойчивый, высокой интенсивности. Площадь, пройденная пожаром, составила 1900 га, из них 944 га пришлось на территорию заповедника. В составе исходного древостоя доминировала ель с примесью кедра, осины (*Populus tremula* L.) и березы. В результате действия огня растительный покров был полностью уничтожен и трансформирован. На момент проведения исследований сформировался сомкнутый молодняк с доминированием в составе березы порослевого происхождения. Помимо березы в составе древостоя отмечается примесь осины. Число стволов березы на различных пробных площадях варьирует от 36 до 76, осины – от 1 до 2 тыс. шт. га⁻¹. Высота деревьев достигает 3 м. Под пологом лиственных пород достаточно активно возобновляется ель. Число подроста и самосева ели составляет от 12 до 31 тыс. шт. га⁻¹, при высоте не более 0.5 м. Кустарниковый ярус разреженный, сформирован такими

Таблица 1. Физико-химические свойства исследуемых почв

Гори-зонт	Глубина, см	pH		Нг*	Обменные катионы		V**	C	N	C : N	Fe дит.***	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Содержание фракций, %	
		водн.	сол.		ммоль 100 ⁻¹ г почвы	Ca ²⁺									Mg ²⁺	<0.001
Почва ельника условно-фонового участка (Еф)																
O(L)	0-1	4.7	4.1	42.0	14.68	3.12	30	41.3	1.2	40	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
O(F)	1-4	4.5	3.5	51.4	15.4	1.65	25	45.7	1.6	33	0.037	то же	то же	то же	то же	то же
O(H)	4-5	4.1	3.1	73.7	13.34	0.31	16	42.9	1.43	35	0.088	то же	то же	то же	то же	то же
EL	5-10	3.7	2.8	12.2	0.29	0.00	2	1.06	0.07	18	0.079	81.1	11.4	2.9	14	24
BF	10-15	4.1	3.2	15.2	0.21	0.00	1	1.43	0.04	42	0.528	77.9	12.7	4.5	16	23
BEL	15-25	4.6	3.7	10.3	0.00	0.00	0	0.84	0.02	49	0.994	76.7	12.9	5.4	16	26
Bt1	25-55	4.9	3.7	9.2	0.00	0.02	0	0.3	0.018	19	0.471	76.3	13.0	4.8	15	25
Bt2	55-80	5.1	3.8	6.5	0.14	0.02	2	0.2	0.01	23	0.362	79.1	12.1	4.0	14	20
Почва ельника геохимически подчиненного участка (Егх)																
O(L+F)	0-4	4.9	3.9	53.8	22.8	3.7	33	28.60	1.10	30	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
O(H)	4-5	4.1	3.0	53.8	6.7	0.8	12	23.70	0.84	33	0.134	то же	то же	то же	то же	то же
EL	5-10(12)	3.9	3.0	8.3	0.3	0.2	6	1.35	0.10	16	0.322	79.7	11.4	3.9	15	28
BF1	10(12)-15	4.6	3.6	10.3	0.2	0.1	3	0.95	0.07	15	1.238	77.6	12.3	4.8	20	33
BF2	15-20(22)	4.6	3.7	12.5	0.2	0.1	2	0.71	0.06	14	1.068	77.5	12.0	5.4	18	30
BEL	20(22)-30	4.6	3.7	7.9	0.2	0.2	5	0.44	0.04	12	0.649	78.5	11.6	4.7	18	30
Bt1	30-50	4.8	3.7	8.3	0.3	0.3	7	0.33	0.04	10	0.792	78.1	12.9	3.7	22	34
Bt2	50-80	4.9	3.7	7.6	0.5	0.3	10	0.22	0.03	9	0.530	78.8	12.0	3.6	20	28
Почва листовенного постпирогенного молодняка (Мл)																
Opir	0-3	5.7	4.2	4.7	39.7	4.3	90	38.00	1.70	26	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
ELpir	3-5(8)	4.2	3.0	11.7	0.7	0.3	8	1.16	0.09	14	0.237	80.7	11.0	2.30	14	29
BF	5(8)-18(20)	4.8	3.7	14.2	0.4	0.2	4	1.15	0.07	18	1.366	73.9	12.6	5.52	22	36
BEL	18(20)-41	4.8	3.8	10.3	0.3	0.2	5	0.47	0.04	13	0.732	77.0	13.0	4.45	21	33
Bt1	41-60	5.0	3.7	10.8	0.6	0.5	9	0.25	0.03	10	0.526	76.4	13.0	4.07	19	35
Bt2	60-80	5.0	3.7	10.3	0.8	0.6	12	0.21	0.03	9	0.543	76.8	13.2	4.25	23	34

Примечание: * Нг – гидролитическая кислотность; ** – степень насыщенности основаниями, Fe дит. – дитиониторастворимое железо, Не опр. – не определяли.

видами, как шиповник (*Rosa acicularis* Lindl.), малина (*Rubus idaeus* L.), рябина. ОПП травяно-кустарничкового яруса составляет 40–80%, что свидетельствует об успешном восстановлении яруса и развитии демутационной сукцессии. На описанных площадках доминируют такие светолюбивые виды трав, как иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) и щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.) – типичные для нарушенных местообитаний таежной зоны [3, 32]. Также заметны, но менее обильны осока шаровидная (*Carex globularis* L.), осока буроватая (*C. brunescens* (Pers.) Poir.), луговик извилистый (*Avenella flexuosa* (L.) Drejer) и княженика обыкновенная (*Rubus arcticus* L.). Мохово-лишайниковый ярус покрывает до 80% поверхности почвы. Для постпирогенных сукцессий растительности в северной тайге характерно доминирование кукушкиного льна, который в дальнейшем будет замещаться зелеными мхами. Последствия пожаров хорошо прослеживаются в морфологическом строении почв. Строение профиля почвы: Opir–ELpir–BF–BEL–Bt1–Bt2. Пирогенное влияние наиболее четко проявляется в морфологическом строении подстилок и верхних минеральных горизонтов. Подстилки более плотные и представлены продуктами частичного горения растительных остатков, древесины, перемешанными со свежим растительным опадом и прослойками углей. Наибольшие изменения в физико-химических свойствах почв, происходившие при пожаре, выявлены для подстилок и верхних минеральных горизонтов. По сравнению с почвой условно-фоновой участка (Еф), в разрезе почвы постпирогенного молодняка (Мл) выявлена меньшая кислотность, большая концентрация обменного кальция, обогащение гумуса азотом, проявляющееся в сужении значений отношения C : N. В подстилках и горизонте EL происходит существенное возрастание степени насыщенности основаниями. Показано, что для исследуемой подзолистой (пирогенной) почвы характерно плавно убывающее распределение органического углерода по профилю, в то время как распределение форм железа имеет элювиально-иллювиальный характер. Полученные данные совпадают с результатами, опубликованными Н.В. Лукиной с соавт. [19], показавшими снижение кислотности в органогенных горизонтах, обогащение минеральных горизонтов азотом и углеродом в почвах северотаежных сосняков лишайниковых и зеленомошных, пройденных беглыми низовыми пожарами на территории Кольского полуострова.

Разрез 24-СУ заложен на слабопокатоном склоне (2–3°) на левом берегу р. Илыч, в 150 м

от русла. Разрез заложен в ельнике чернично-зеленомошном (Егх) (ассоциация *Piceetum myrtilloso-hylocomiosum*), расположенном в непосредственной близости от участка, пройденного пожаром. Древостой и напочвенный покров не подвергались прямому воздействию огня. Участок расположен ниже постпирогенного молодняка по склону, в геохимически подчиненном положении относительно участка, пройденного пожаром. В древостое преобладает ель (до 8 единиц по составу). Отмечено присутствие пихты (*Abies sibirica* Ledeb.), кедра, березы и осины. Общая сомкнутость крон 0.4–0.7. Высота деревьев первого яруса 18–23 м, диаметр – 28–32 см. Высота деревьев второго древесного яруса 14–18 м, диаметр стволов 16–22 см. В составе подроста доминирует ель, в подлеске редко встречается рябина и шиповник. В травяно-кустарничковом ярусе (ОПП 50–80%) доминирует черника. Заметно участие кислицы, линнеи северной (*Linnaea borealis* L.), майника двулистного (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt), княженики, костяники (*Rubus saxatilis* L.). Напочвенный покров сплошной, сформирован зелеными мхами (плевроциум Шребера, гилокомиум блестящий) с примесью кукушкиного льна. Строение профиля почвы: O(L+F)–O(H)–EL–BF–BEL–Bt1–Bt2. Почва участка с сохранившимся древостоем характеризуется близким морфологическим строением с почвой условно-фоновой участка. Отличия в морфологических признаках проявляются в срединной части профиля, на глубине 20–30 см, что, вероятно, определяется внутрпочвенными, склоновыми процессами и латеральным движением почвенных растворов. Физико-химические свойства близки к почве ельника (Еф). Некоторые отличия выявлены для горизонта BEL, для которого характерно несколько более низкое содержание дитиониторастворимых форм железа по сравнению как с иллювиальным горизонтом (BF), так и с горизонтами Bt.

Оценка изменения запасов углерода и азота, сосредоточенных в почвах (до 50 см), была проведена в постпирогенном 9-летнем молодняке (Мл) и на участке с сохранившимся древостоем (Егх) (рис. 1). Показано, что существенных различий в аккумуляции как углерода, так и азота в изучаемых почвах не обнаружено. Запасы углерода в верхних 50 см (с учетом подстилок) составляют около $6.8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$, что в целом совпадает с опубликованными ранее данными для почв еловых сообществ [12, 15]. При этом наблюдается некоторое уменьшение вклада подстилок в общие запасы углерода: от 25% в почве участка Егх, до 17% в почве постпирогенного молодняка. Полученные

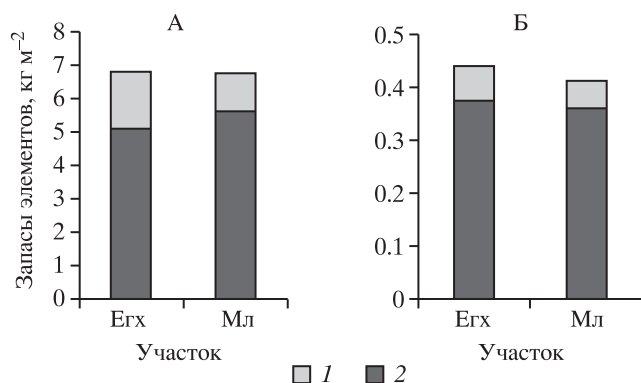


Рис. 1. Запасы углерода (А) и азота (Б) в исследуемых почвах (до глубины 50 см). Обозначения: 1 – сосредоточенные в подстилках, 2 – сосредоточенные в минеральных горизонтах, Егх – ельник геохимически подчиненного участка, Мл – лиственный постпирогенный молодняк.

результаты совпадают с закономерностями, выявленными нами ранее [11], свидетельствующими об увеличении вклада запасов углерода и азота в минеральных горизонтах почв, подвергшихся влиянию пожара, и уменьшению запасов элементов, сосредоточенных в подстилках. Вероятно, возрастание запасов углерода в минеральных горизонтах связано с неполным сгоранием растительных остатков и высоким содержанием углерода в сохранившихся продуктах горения [34].

Анализ суммарного содержания ПАУ в почве 9-летнего постпирогенного молодняка показал, что по сравнению с почвой условно-фоновового участка (Еф) сохраняются высокие содержания ПАУ (рис. 2). Наибольшие различия выявлены в подстилке: суммарное содержание ПАУ в подстилке почвы фитоценоза, подвергнувшегося влиянию пожара, в 1.5 раза выше по сравнению с подстилкой сохранившегося участка леса (Егх), в 2 раза выше по сравнению с подстилкой условно-фоновового участка (Еф), а также значениями, описанными для автоморфных фоновых почв северной тайги [4]. Суммарное содержание ПАУ в минеральных горизонтах условно-фоновового ельника (Еф) и почвы фитоценоза, пройденного пожаром (Мл), имеет близкий характер распределения, но при этом содержание ПАУ в почве постпирогенного участка несколько выше, что совпадает с данными [39], показавшими, что высокая ароматичность ПОВ на участках, подвергающихся влиянию пожара, сохраняется более 16 лет. Вероятно, увеличение содержания ПАУ преимущественно связано с изменением химической структуры соединений, входящих в состав биополимеров растений до пожара [33]. Выявлено возрастание суммарного содержания ПАУ в средних горизонтах почвы сохранившегося леса

(Егх), формирующегося в геохимически подчиненном ландшафте. В горизонтах BEL суммарное содержание ПАУ в 2.6 и 3.8 раза выше, чем в соответствующих горизонтах почвы постпирогенного молодняка (Мл) и почвы условно-фоновового ельника (Еф). Сравнение суммарного содержания ПАУ в исследуемых почвах показало, что их общее содержание несколько ниже по сравнению с результатами, опубликованными для почв средне-таежных сосняков [11], но при этом существенно выше по сравнению с почвами степных островных боров, пройденных пожаром [20].

Профильное распределение и концентрации индивидуальных полиаренов в существенной степени определяются качественным составом растительных остатков, условиями горения и видом пожара [5]. Содержание индивидуальных ПАУ в исследуемых почвах приведены в табл. 2. Существенное увеличение суммарного содержания ПАУ в подстилках почвы 9-летнего молодняка связано с возрастанием концентраций двух- и трехъядерных ПАУ (нафталина и флуорена). Увеличение концентрации нафталина в нижней части подстилки ельника, геохимически подчиненного ландшафта (Егх), вероятно, определяется влиянием пожара. Учитывая, что прямого

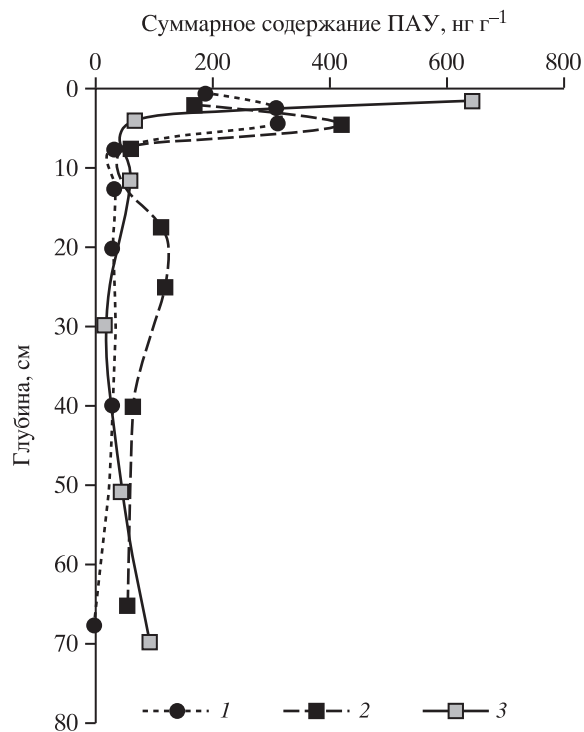


Рис. 2. Массовая доля суммарного содержания ПАУ в исследуемых почвах. Обозначения: 1 – почва ельника условно-фоновового участка (Еф); 2 – почва ельника геохимически подчиненного участка (Егх); 3 – почва постпирогенного молодняка (Мл).

Таблица 2. Содержание ПАУ в исследуемых почвах (нг г⁻¹ почвы)

Горизонт	Глубина, см	2-ядерные			3-ядерные			4-ядерные				5-ядерные				6-ядерные	
		НАФТ	АЦЕ	ФЛУ	ФЕН	АНТ	ФЛА	ПИР	БаАНТ	ХРИ	БьФЛА	БкФЛА	БаПИР	ДБаhАНТ	BghiПЕР	ИПИР	
Почва ельника, условно-фонового участка (Еф)																	
O(L)	0-1	13.9	5.2	17.9	121.3	10.1	6	5.8	1.3	5.3	—	0.8	0.85	—	2.3	—	
O(F)	1-4	60.5	29.6	52.2	79.4	5.8	12.9	11.4	3.6	12.4	13.4	3.9	5.3	1.7	10.1	8.8	
O(H)	4-5	22	32.6	51.2	64.3	4.4	22.3	17.8	6.1	19.4	30.1	6.7	9.8	1.4	14	13	
EL	5-10	—	—	13.3	14	0.15	4.5	3.7	—	1.2	—	0.15	0.4	—	—	—	
BF	10-15	—	—	12.7	11.3	0.3	4	2.8	—	1.3	—	0.19	—	—	—	—	
BEL	15-25	—	—	11.5	11	0.4	3.7	2.9	0.6	0.9	—	0.2	—	—	—	—	
Bt1	25-55	—	—	12.5	10.7	0.2	3	3	0.65	0.8	—	0.18	—	—	—	—	
Bt2	55-80	—	—	8.8	8.3	0.16	3.2	1.3	0.25	1	—	0.1	—	—	—	—	
Почва ельника, располагающего в геохимически подчиненном участке (Егх)																	
O(L+F)	0-4	61.7	—	39.8	34.3	1.0	13.7	3.8	1.5	4.1	3.7	1.4	2.4	—	3.4	—	
O(H)	4-5	248.8	3.3	67.6	44.8	1.3	13.7	10.1	2.8	8.0	8.6	2.4	3.6	1.2	5.5	—	
EL	5-10(12)	13.8	—	29.1	12.5	—	3.4	—	—	1.3	—	—	—	—	—	—	
BF1	10(12)-15	11.4	—	23.9	15.6	—	—	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—	
BF2	15-20(22)	26.2	—	58.8	28.8	0.5	—	—	—	—	—	0.4	—	—	—	—	
BEL	20(22)-30	0.0	—	76.4	14.8	—	14.8	—	—	13.3	—	—	—	—	—	—	
Bt1	30-50	12.4	—	35.1	18.9	0.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Bt2	50-80	43.4	—	—	13.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Почва листовного постпирогенного молодняка (Мл)																	
Opir	0-3	325.0	2.7	94.2	48.4	3.2	8.9	10.5	2.6	48.6	47.1	2.1	3.7	6.2	31.2	14.3	
ELpir	3-5(8)	22.6	—	22.9	10.4	0.0	7.0	—	—	—	6.0	—	—	—	—	—	
BF	5(8)-18(20)	16.2	—	27.2	13.4	0.3	4.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
BEL	18(20)-41	12.2	—	—	8.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Bt1	41-60	30.8	—	—	14.0	0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Bt2	60-80	27.9	—	33.8	26.9	1.1	—	2.7	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примечание: НАФТ – нафталин, АЦЕ – аценафтен, ФЛУ – флуорен, ФЕН – фенантрен, АНТ – антрацен, ФЛА – флуорантен, ПИР – пирен, БаАНТ – бенз[а]антрацен, ХРИ – хризен, БьФЛА – бенз[б]флуорантен, БкФЛА – бенз[к]флуорантен, БаПИР – бенз[а]пирен, ДБаhАНТ – дибенз[а, h]антрацен, БghiПЕР – бенз[ghi]перилен, ИПИР – индено[1,2,3-cd]пирен; “—” – не обнаружено.

Таблица 3. Относительная доля амфифильных фракций и степень гидрофильности (D_H) в составе ПОВ

Горизонт	Глубина, см	Номер фракции					D_H
		1	2	3	4	5	
Ельник условно-фонового участка (Еф)							
O(L)	0–1	36.6	6.5	17.5	30.4	8.9	0.8
O(F)	1–4	28.0	14.0	24.3	32.5	1.1	0.7
O(H)	4–5	27.7	13.9	24.8	32.5	1.1	0.7
EL	5–10	49.6	25.3	6.5	16.8	1.9	3.0
BF	10–15	44.1	21.0	21.2	12.9	0.9	1.9
BEL	15–25	52.3	1.2	35.4	4.9	6.3	1.2
Bt1	25–55	16.2	2.9	15.2	6.5	59.3	0.2
Bt2	55–80	16.5	2.6	6.1	10.9	63.9	0.2
Ельник геохимически подчиненного участка (Егх)							
O(L+F)	0–4	42.3	8.3	19.3	28.7	1.4	1.0
O(H)	4–5	56.6	8.1	14.2	20.1	1.0	1.8
EL	5–10(12)	39.7	8.8	44.3	6.2	0.9	0.9
BF1	10(12)–15	30.2	6.9	3.2	41.8	17.9	0.6
BF2	15–20(22)	30.1	4.9	6.0	3.2	55.9	0.5
BEL	20(22)–30	18.7	0.8	12.6	4.7	63.2	0.2
Bt1	30–50	14.2	1.4	11.8	4.2	68.3	0.2
Bt2	50–80	2.6	2.0	1.1	4.2	90.0	0.0
Лиственный постпирогенный молодняк (Мл)							
Opir	0–3	46.3	9.0	19.2	23.3	2.0	1.2
ELpir	3–5(8)	47.8	9.6	33.1	8.6	0.9	1.4
BF	5(8)–18	52.0	1.2	17.1	6.3	23.4	1.1
BEL	18–41	22.6	3.3	15.8	6.9	51.4	0.3
Bt1	41–60	4.6	0.3	2.8	3.9	88.4	0.1
Bt2	60–80	3.8	8.8	4.0	5.8	77.7	0.1

воздействия огня на рассматриваемой территории не было, можно предположить, что возрастание содержания нафталина обусловлено аэральным переносом в составе пылеватых частиц и сажи во время пожара. Увеличение суммарного содержания ПАУ в срединных минеральных горизонтах разреза почвы ельника (Егх) на глубине 15–30 см преимущественно связано с двух- и трехъядерными полиаренами (нафталином и флуореном). При этом необходимо отметить, что нафталин отсутствовал в минеральных горизонтах почвы условно-фоновой участка, и вероятно, его присутствие в минеральных горизонтах является свидетельством действия пожара. С учетом высокой ароматичности молекулы нафталина, очевидно, его концентрация будет возрастать преимущественно при пожарах с высокой интенсивностью (высокой температурой).

Одной из важных характеристик гумуса является его гидрофобные и гидрофильные свойства [21]. В ходе выполнения исследований было

проведено фракционирование лабильной (щелочерастворимой) составляющей почвенного органического вещества. На основании ранее опубликованных работ можно предположить, что гидрофильные органические соединения (относимые к первой и второй фракциям) преимущественно представлены миграционно-способными соединениями, обладающими высокой растворимостью в водных растворах и включающими основной запас легкодоступных питательных веществ. Гидрофобные фракции (3–5 фракции) состоят из более высокомолекулярных соединений, представленных биополимерами различной степени разложения и обладающих возможностями закрепления на минеральной матрице почв.

Анализ результатов, полученных методом хроматографии гидрофобного взаимодействия, позволил выявить, что рассматриваемые почвы имеют некоторые различия в профиле распределения амфифильных фракций и их относительном вкладе в состав ПОВ (табл. 3). Для почв

всех рассматриваемых растительных сообществ наблюдается близкое распределение большинства фракций. Максимальное содержание амфифильных фракций выявлено в подстилках. Для почвы условно-фоновой участка наблюдается элювиально-иллювиальное распределение всех амфифильных фракций, за исключением наиболее гидрофобной фракции, содержание которой возрастает с глубиной и достигает максимума в нижнем текстурном горизонте. В минеральных горизонтах хорошо выражен иллювиальный максимум накопления наиболее гидрофильных соединений в горизонте BF, что характерно для подзолистых почв. Влияние пожара на особенности лабильного органического вещества сглаживается в ходе развития послепожарной сукцессии, обуславливающей изменение состава растительного опада, поступающего на поверхность почв, что вероятно, связано с быстрым восстановлением микробиологических свойств почв [36]. Последствия пожара проявляются в снижении концентрации всех амфифильных фракций в подстилке почвы постпирогенного молодняка (Мл), что согласуется с содержанием общего углерода (табл. 1), а также изменением содержания водорастворимых органических соединений при пожарах [23]. Органическое вещество элювиальных горизонтов почвы постпирогенного фитоценоза и ельника, сохранившегося вблизи пожара, отличается высокой относительной долей третьей гидрофобной фракции, вероятно, связанной с деструкцией природных биополимеров и формированием левиглюкосанов [37]. Распределения амфифильных фракций по профилю почвы постпирогенного молодняка носят близкий к почве условно-фоновой участка характер, но иллювиирование гидрофильных соединений в горизонт BF выражено слабее. В горизонте BF существенно выше концентрация гидрофобных фракций, связанных с железом и алюминием. Распределение амфифильных фракций по профилю разреза ельника (Егх) имеет близкие с почвой условно-фоновой участка (Еф) закономерности. Отличия заключаются в возрастании доли гидрофобной фракции связанной с железом и алюминием в нижних минеральных горизонтах.

Заключение. Показано, что пожары в еловых лесах Северного Урала приводят к изменению свойств подзолистых почв. Через 9 лет после верхового пожара пирогенные изменения диагностируются в подстилках и верхних минеральных горизонтах до глубины 20–30 см. Выявлено уплотнение подстилки и верхних минеральных горизонтов, сохранение прослоек углистых включений, морфологически видимое потемнение

подзолистого горизонта. Подстилка постпирогенного фитоценоза менее кислая, более насыщена основаниями, органическое вещество обогащено азотом (по C : N отношению) по сравнению с почвой условно-фоновой участка. Существенных различий в запасах как углерода, так и азота не выявлено, но в почве фитоценоза, пройденного пожаром, уменьшается вклад подстилки в общие запасы углерода.

Пожары являются одним из основных факторов, приводящих к увеличению концентраций полициклических углеводородов в почвах лесных экосистем. Наибольшее возрастание концентраций ПАУ происходит за счет нафталина и флуорена. При этом наиболее водорастворимые двух- и трехядерные полиарены передвигаются с латеральными внутрипочвенными водными потоками, и, вероятно, могут способствовать возрастанию их концентраций в водах и донных отложениях. Влияние пожара на амфифильные свойства лабильного органического вещества существенно сглаживаются в ходе постпирогенной сукцессии растительности в течении 9 лет после пожара. Но при этом сохраняется значительная доля наиболее гидрофильных соединений в элювиальном горизонте и уменьшение иллювиального накопления в горизонте BF.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бескорвайная И.Н., Тарасов П.А., Иванова Г.А., Богородская А.В., Краснощекова Е.Н. Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков Средней Сибири // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.
2. Ведрова Э.Ф., Евдокименко М.Д., Бескорвайная И.Н., Мухортова Л.В., Чередникова Ю.С. Запасы углерода в органическом веществе послепожарных сосняков Юго-Западного Прибайкалья // Лесоведение. 2012. № 1. С. 3–13.
3. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. М.: Наука, 2004. Кн. 1. 479 с.
4. Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Яковлева Е.В. Закономерности формирования полициклических ароматических углеводородов в почвах северной и средней тайги // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1334–1343.
5. Геннадиев А.Н., Цибарт А.С. Факторы и особенности накопления пирогенных полициклических ароматических углеводородов в почвах заповедных и антропогенно измененных территорий // Почвоведение. 2013. № 1. С. 32–40.
6. Горшков В.В., Баккал И.Ю. Особенности послепожарной восстановительной динамики сообществ с

- доминированием лишайников // Изв. Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1–5. С. 1223–1227.
7. Государственная почвенная карта России. Масштаб 1:1 000 000. Объяснительная записка к листу Р-40 (Красновишерск). Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2005. 56 с.
8. Дёгтева С.В. Мелколиственные леса среднего течения р. Илыч // Флора и растительность южной части бассейна р. Печора. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1992. С. 21–33. – (Тр. Коми НЦ УрО РАН, № 126).
9. Дёгтева С.В., Дубровский Ю.А. Динамика растительного покрова при восстановительных сукцессиях на горях темнохвойных лесов Печоро-Илычского заповедника // Тр. Печоро-Илычского заповедника. 2010. № 16. С. 35–41.
10. Дубровский Ю.А. Лесная растительность бассейна р. Илыч в верхнем и среднем течении (в границах Печоро-Илычского заповедника). Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. 19 с.
11. Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2014. № 2. С. 144–154.
12. Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. № 5. С. 507–516.
13. Елсаков В.В., Марущак И.О., Щанов В.М. Картирование растительного покрова бассейна р. Кожим (Приполярный Урал) с использованием материалов дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2000. Т. 2. № 6. С. 360–364.
14. Ипатов В.С. Описание фитоценоза. Методические рекомендации. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. 93 с.
15. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
16. Краснощекоев Ю.Н. Трансформация серогумусовых почв сосновых лесов под влиянием пожаров в Юго-Западном Прибайкалье // Лесоведение. 2011. № 2. С. 3–12.
17. Лесное хозяйство Республики Коми. 2012. Статистический Сб. Сыктывкар: Комистат, 2012. 114 с.
18. Луговая Д.Л., Смирнова О.В., Запрудина М.В., Алейников А.А., Смирнов В.Э. Микромозаичная организация и фитомасса напочвенного покрова в основных типах темнохвойных лесов Печоро-Илычского заповедника // Экология. 2013. № 1. С. 3–10.
19. Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
20. Максимова Е.Ю., Цибарт А.С., Абакумов Е.В. Полициклические ароматические углеводороды в почвах пройденных верховым и низовым пожаром // Изв. Самарского НЦ РАН. 2013. Т. 15. № 3. С. 63–68.
21. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
22. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
23. Прокушкин С.Г., Богданов В.В., Прокушкин А.С., Токарева И.В. Послепожарное восстановление органического вещества в напочвенном покрове лиственничников криолитозоны Центральной Эвенкии // Изв. РАН. Серия биол. 2011. № 2. С. 227–234.
24. Рысин Л.П., Савельева Л.И. Еловые леса России. М.: Наука, 2002. 335 с.
25. Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2001. № 1. С. 132–164.
26. Семиколенных А.А., Бовкунов А.Д., Алейников А.А. Почвы и почвенный покров таежного пояса Северного Урала // Почвоведение. 2013. № 8. С. 911–923.
27. Сорокин Н.Д., Афанасова Е.Н. Микробиологическая диагностика состояния почв и филосферы лесных экосистем Сибири // Изв. РАН. Серия биол. 2012. № 1. С. 100–108.
28. Тарасов П.А., Иванов В.А., Иванова Г.А., Краснощекоев Е.Н. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795–803.
29. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
30. Тонконозов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
31. Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
32. Ценолитическая и флористическая структура лиственных лесов европейского Севера / Под ред. С.В. Дёгтевой. СПб.: Наука, 2001. 269 с.
33. Alexis M.A., Rumpel C., Knicker H., Leifeld J., Rasse D., Pechot N., Bardoux G., Mariotti A. Thermal alteration of organic matter during a shrubland fire: A field study // Organic Geochemistry. 2010. V. 41. P. 690–697.
34. Bodi M.B., Martin D.A., Balfour V.N., Santin C., Doerr S.H., Pereira P., Cerda A., Mataix-Solera J. Wildland fire ash-production, composition and eco-

- hydro-geomorphic effects // *Earth-Science Reviews*. 2014. V. 130. P. 103–127.
35. IPCC WGI contribution to the Fifth Assessment Report. The Physical science basis. 2013. 2216 p.
 36. Knicker H. Pyrogenic organic matter in soil: Its origin and occurrence, its chemistry and survival in soil environments // *Quaternary International*. 2011. V. 243. P. 251–263.
 37. Knicker H., Hilscher A., Rosa J.M., Gonzalez-Perez J.A., Gonzalez-Vila F.J. Modification of biomarkers in pyrogenic organic matter during the initial phase of charcoal biodegradation in soils // *Geoderma*. 2013. V. 197–198. P. 43–50.
 38. Lal R. Forest soils and carbon sequestration // *Forest ecology and Management*. 2005. V. 220. P. 242–258.
 39. Vergnoux A., Di Rocco R., Domeizel M., Guiliano M., Doumenq P., Theraulaz F. Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV-vis and fluorescence spectroscopy approaches // *Geoderma*. 2011. V. 160. P. 434–443.

Fire Impact on Soil Organic Matter in Spruce Stand in Northern Taiga

A. A. Dymov, Yu. A. Dubrovskii, D. N. Gabov, E. V. Zhangurov, N. A. Nizovtsev

Soil morphology and vegetation cover are studied in pyrogenic softwood young growth 9 years old, which evolved after crown fire in spruce stand of northern taiga. Pyrogenic traits of the soil morphology are found above 20–30 cm depth. There litters are less acid and higher content of exchangeable Calcium is found. Pyrogenic alterations of total carbon and nitrogen contents in the soils are insignificant. However they have increased in mineral horizons at the extent of litter. The fires are shown to be a main factor of polycyclic hydrocarbons concentrations rise in the soils. The rise is mainly due to bi and trinuclear polyarenes with the dominant share of naphthalene. There is a rise in concentration of light polyarenes in the middle mineral horizons of soils evolving affluent to the fire site geochemically, which possibly the consequences of lateral migration of the compounds. Labile organic matter of the soils has similar amphiphile fractions ratio.

Forest soil, fire, soil organic matter, SOM, polynuclear aromatic hydrocarbon, PAH, amphiphile properties of SOM, Pechora-Ilych Nature Reserve.