

МИНЕРАЛОГИЯ
И МИКРОМОРФОЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 631.48:632.187(571.5)

ПОСЛЕПОЖАРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ
ПОД СОСНОВЫМИ ЛЕСАМИ В ПРИБАЙКАЛЬЕ

© 2019 г. А. Б. Гынинова^{1, 4, *}, Ж. Д. Дыржинов³, А. И. Куликов¹,
Б. Д. Гынинова⁴, Б. Н. Гончиков¹

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

²Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова,
Россия, 670024, Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8

³Министерство науки и образования Республики Бурятия, Россия, 670001, Улан-Удэ, ул. Коммунистическая, 49

⁴Филиал ФБУ “Рослесозащита” – “ЦЗЛ Республики Бурятия”, Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Северная, 133
*e-mail: ayur.gyninova@mail.ru

Поступила в редакцию 11.01.2017 г.

После доработки 19.07.2018 г.

Принята к публикации 24.10.2018 г.

Исследованы специфика формирования песчаных почв под сосновыми лесами в юго-восточном Прибайкалье и в послепожарных сукцессиях. Показано, что для фоновых почв характерен профиль, включающий подстилку и маломощный гумусово-аккумулятивный горизонт с признаками осветления в нижней части (Eutric Arenosols (Ochric)). Почвы имеют кислую реакцию среды, фульватный состав гумуса, слабовыраженные признаки альфегумусового процесса. Постпирогенное развитие почвенных сукцессий зависит от типа пожара. Через 15 лет после низового пожара образовалась почва с пирогенными горизонтами в верхней части профиля, характеризующимися высоким содержанием углистых веществ и гумуса, слабокислой реакцией среды, относительно повышенным содержанием обменного и валового кальция. Гумус приобрел фульватно-гуматный состав. Запасы гумуса в профиле по сравнению с фоновыми почвами, значительно больше. Причиной указанных изменений являются обнаруженные микроморфологическими методами микрочастицы угля, сорбирующие на поверхности дисперсные вещества. В почве после верхового пожара, в связи с уничтожением древесной и активизацией дефляции, признаки пирогенеза выражены слабо. Почва отличается слаборазвитым профилем, кислой реакцией, низкими запасами гумуса гуматно-фульватного состава. Свойства фоновых почв позволили отнести их к псаммоземам гумусовым оподзоленным; для почв постпирогенных сукцессий после низового пожара предлагается название псаммозем гумусовый постпирогенный, после верхового пожара – псаммозем гумусовый.

Ключевые слова: постпирогенные сукцессии, микроморфологическое строение

DOI: 10.1134/S0032180X19040087

ВВЕДЕНИЕ

В Прибайкалье леса в основном относятся к высокому классу природной пожарной опасности [11, 15, 27]. За последние 20 лет пожары в Байкальском регионе участились и стали возникать даже осенью, что связано с потеплением, которое происходит здесь активнее, чем в западных регионах России и на планете в целом [17]. Причиной высокого уровня горимости лесов является снижение количества осадков, аномальная жара, низкие запасы влаги в почве и, особенно, в лесной подстилке [25].

С одной стороны, пожары можно рассматривать как явление природы, обуславливающее разнообразие лесов, которое в основном формируется из различных стадий послепожарных сукцес-

сий [14, 18, 22, 28]. При этом направленность развития лесных экосистем, эволюция или деградация, в значительной степени зависят от типа пожаров, трансформаций растительного и почвенного покровов [1, 3, 30, 36]. В процессе горения происходит залповый выброс оксидов углерода и сажи в атмосферу [12, 35], а также образование золы и обугливание растительных остатков [2, 16, 29]. Зольные вещества, в зависимости от климата, могут постепенно использоваться растениями, вымываться из почвы или улетучиваться с воздушными потоками, оказывая различное влияние на дальнейшее развитие почвы и леса.

К наиболее пожароопасным на устьевых и прибрежных озерных и озерно-речных песчаных отложениях Прибайкалья относятся сосновые леса, под которыми часто формируются почвы,

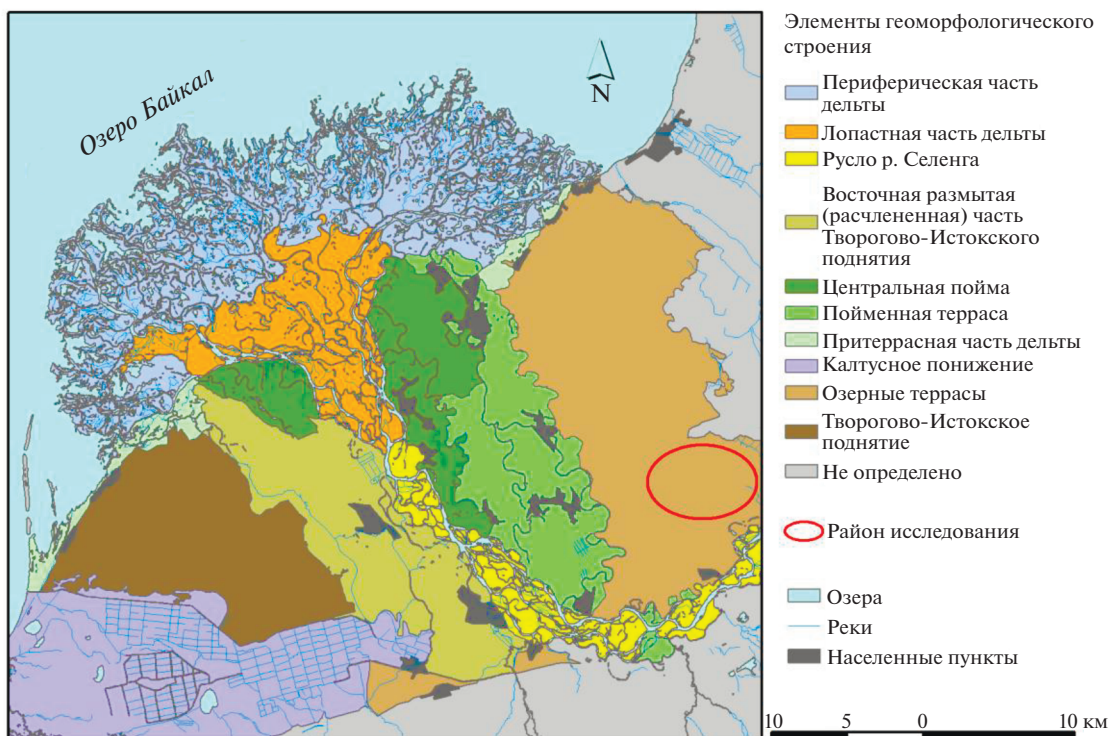


Рис. 1. Схема геоморфологического строения территории исследования.

которые можно отнести к отделу слабо развитых – псаммоземы гумусовые [7].

Цель работы – исследование физико-химических свойств и микроморфологического строения почв сосновых лесов на песчаных озерно-речных террасах в юго-западном Прибайкалье и их изменений после низовых и верховых пожаров.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили почвы восточной части дельты р. Селенга, формирующиеся на плейстоценовых песчаных озерно-речных террасах (рис. 1), переработанных преобладающими на Байкале юго-западными ветрами [13] и покрытых сосновыми лесами. Рельеф представлен пологими буграми и холмами высотой 10–15 м. За 15 лет до выполненных исследований территория была пройдена пожарами. При пожаре часть леса осталась нетронутой, часть была повреждена низовыми, а часть – уничтожена верховыми пожарами. Исследование почв проводили во всех трех вариантах. Разрезы закладывали в верхней части пологих холмов, покрытых, согласно данным таксации 1990 г., лишайниковыми сосновыми лесами IV класса бонитета.

При исследовании морфологического строения почв особое внимание уделяли признакам, обусловленным пожарами: цветовой гамме поч-

венной массы поверхностных горизонтов, наличию углистых частиц и степени их сохранности. Индексы горизонтов и названия почв приведены по [21]. На микро- и субмикроморфологическом уровнях исследовали форму и поверхность разлагающихся остатков растений, углистых частиц и зерен минералов. Микроморфологическое строение почвы исследовали на поляризационном микроскопе в тонких шлифах [5, 6, 19, 33]. На сканирующем электронном микроскопе ТМ-1000 фирмы Hitachi с разрешением 30 нм изучали строение и химический состав поверхности углистых и минеральных частиц в конкретных микрочастицах [8, 39, 40]. Гранулометрический состав определяли методом Качинского [23], формы соединений железа – методами Мера–Джексона и Тамма, химический состав и физико-химические свойства общепринятыми методами [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологическое строение почв. Почвообразующей породой исследованных почв служат перевенные песчаные отложения озерно-речных террас, характеризующиеся плотноватым сложением и желтовато-светло-бурым цветом (10YR 6/4).

Разр. 15Д-11 (52°07'47.1" N; 106°54'35.4" E) расположен в типичном для данной территории бруснично-лишайниковом сосновом лесу (10С)

IV класса бонитета и представляет фоновую почву. Высота древостоя составляет 25–30 м, возраст взрослых деревьев ~50 лет, сомкнутость крон – 0.7–0.8, подрост обильный. Проективное покрытие напочвенного покрова ~20%. Согласно данным лесоустройства Кабанского лесхоза, в лесных массивах восточной части Селенгинского дельтового района, как минимум 100 лет, пожаров не было.

Профиль почвы включает горизонты: O(0–4)–We(4–9)–C^f(9–33)–C¹f(33–70)–C²”(70–110). Лесная подстилка состоит в основном из остатков хвои, степень разложения которой в верхней части слабая и увеличивается к нижней.

Гор. We песчаный, буровато-светло-серый (10YR 5/2), в нижней части – прерывистая осветленная полоса (10YR 6/2). Структура непрочно-комковатая, корней очень мало. Подгумусовый гор. C^f представляет собой рассыпчатый хорошо сортированный песок желтовато-бурого с охристым оттенком цвета (7.5YR 6/4) с включением древесных корней. Горизонт пересекают вертикальные, извилистые светлые полосы шириной ~1 см, проникающие из осветленных участков гор. We и образовавшиеся, по всей вероятности, по ходам корней. Ниже выделяется гор. C¹f, в котором охристый оттенок становится несколько интенсивней (7.5YR 5/4). Гор. C²” имеет признаки почвообразующей породы, общие для всех исследуемых разрезов: плотноватое сложение и устойчивую светло-бурю (10YR 6/4) окраску. По строению профиля почвы близки к псаммоземам. Учитывая наличие, наряду с мощной подстилкой, слаборазвитого гумусового горизонта, почву следует отнести к типу псаммоземы гумусовые по [21], Eutric Arenosols (Ochric) по [42]. Вопрос заключается в роли лесной подстилки в формировании свойств почвы, что предполагает выделение соответствующего подтипа. Принимая во внимание осветленные пятна в нижней части гумусового горизонта и вертикальные полосы в гор. C^f, возможно, следует почвы отнести к подтипу оподзоленных.

Разр. 13Д-11 (52°07'50.5" N; 106°55'52.3" E) заложен в 2011 г. под сосновым (10С) лесом IV класса бонитета, поврежденным низовым пожаром. По данным Кабанского лесхоза, лесной массив был пройден пожарами в 1996 г., за 15 лет до проведенных нами исследований. Напочвенный покров неоднородный: чередуются мертвопокровные парцеллы и травянистые (прострел Турчанинова, осока стоповидная, вейник наземный, полынь монгольская) с брусничной обыкновенной, политрихумом волосаносным и кладуной оленьей. Проективное покрытие варьирует от 0 до 15%. Высота древостоя ~25–30 м, сомкнутость крон 0.4–0.5, подрост отсутствует, кора стволов в нижней части повреждена огнем.

Почвенный профиль представлен горизонтами: O(0–1)–O_{pir}(1–2)–A_{Ypir}(2–8)–C^f(8–37)–C¹”(37–60)–C²”(60–112). Лесная подстилка двухслойная: сверху – негорелый слой, состоит из слаборазложившейся хвои сосны, обломков коры и мелких веточек, цвет которых варьирует от желтого (10YR 7/6) до буровато-темно-серого (10YR 4/2), ниже – слой обугленной подстилки, состоящей также из хвои сосны, кусочков коры и веточек, цвет которых варьирует от темно-серого (10YR 4/1 и 10YR 3/1) до черного (10YR 2/1). На контакте между обугленной подстилкой и минеральной частью – грибной мицелий. Гумусовый гор. A_{Ypir} серовато-бурого цвета (7.5YR 5/2) рыхлый, песчаный, структура комковатая непрочная, скреплена корнями и грибным мицелием, включение большого количества обугленных остатков растений размером 0.5–3 мм.

Подгумусовый гор. C^f песчаный, плотноватый, мощностью ~20 см с тусклой буроватой окраской (7.5YR 6/3), включениями древесных корней.

Исследование строения почвенного профиля показало, что образовавшиеся во время пожара углистый слой O_{rig} и включения углистых частиц в почвенной массе гор. A_{Ypir} хорошо сохранились. Формирование гумусового горизонта мощностью 6 см серовато-бурого цвета позволяет предполагать активизацию процесса гумусообразования в результате заселения травянистой растительностью почвы, обогащенной золой, а также вклад в цветовую характеристику обуглившихся частиц органического вещества. За послепожарный период отмечается образование поверх углистого слоя свежей лесной подстилки мощностью 1 см. Влияние пожара и послепожарного почвообразования на гор. C^f заключается в прокрашенности почвенной массы в тусклый буроватый цвет. Очевидно указанный эффект связан с изменением форм соединений железа под влиянием высоких температур во время пожара. Учитывая отличительные признаки и свойства почвенных сукцессий, обусловленные пожаром: отсутствие признаков оподзоливания и высокую сохранность углистых веществ в органогенных горизонтах, предлагается ввести в название почвы соответствующий термин “псаммозем гумусовый постпирогенный”.

В дальнейшем будет происходить увеличение мощности лесной подстилки, препятствующей развитию травянистого покрова и создающей условия для поселения лишайника, образования агрессивных форм гумуса, подкислению. Это, при одновременном разрушении углистого компонента, со временем приведет к уменьшению содержания органического вещества.

Разр. 14Д-11 (52°07'51" N; 106°55'4.2" E) заложен в 100 м от разр. 13Д-11, на участке, где 15 лет

Таблица 1. Гранулометрический состав почв

Горизонт, глубина, см	Содержание фракций, %; размер частиц, мм						
	1.0–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01
Разр. 15-11Д							
We (4–9)	7.94	71.90	10.95	2.18	3.72	3.31	9.21
C ^т f (9–33)	10.10	68.63	11.66	2.46	3.45	3.70	9.61
C1 ^т f (33–70)	8.48	77.02	5.19	2.79	1.31	5.21	9.31
C2 ^т (70–110)	11.49	80.86	4.08	0.42	0.48	2.67	3.57
Разр. 13-11Д							
AУрiг (2–8)	11.63	63.70	15.76	2.24	4.55	2.12	8.91
C ^т f (8–37)	13.81	67.77	8.84	1.82	4.88	2.88	9.58
C1 ^т (37–60)	26.53	65.27	2.92	0.98	0.40	3.90	5.28
C2 ^т (60–112)	25.32	69.40	2.26	0.08	0.22	2.72	3.02
Разр. 14-11Д							
W (0–1)	12.64	67.85	11.29	2.34	3.78	2.10	8.22
C ^т f (1–8)	11.99	76.67	1.35	3.46	3.36	3.17	9.99
C1 ^т (8–41)	15.15	71.81	6.58	1.38	1.92	3.16	6.46
C2 ^т (41–102)	17.37	71.61	3.48	0.04	1.02	2.48	3.54

назад относительно времени закладки разреза в результате верхового пожара растительный покров и лесная подстилка полностью выгорели. Возобновление древесной растительности слабое, представлено редким подростом сосны высотой до 2 м и единично осины. В напочвенном покрове: брусника обыкновенная куртинами, прострел Турчанинова, вейник наземный, полынь пижмолистная, мох (*Polytrichum piliferum*) и лишайники рода (*Cladonia*) с проективным покрытием ~5%. Почвенный профиль представлен горизонтами: W(0–1)–C^тf(1–8)–C1^т(8–41)–C2^т(41–102). Гор. W – маломощная песчаная корочка буровато-темно-серой окраски (7.5YR 4/1), с хрупкой непрочнокомковатой, скрепленной корешками структурой. Ниже, до глубины 8 см, наблюдается прокрашенность почвенной массы в тусклый буроватый цвет (7.5YR 6/3), аналогичный цвету гор. C^тf постпирогенной почвы разр. 13-11Д.

Морфологическое строение профиля позволяет предполагать, что после уничтожения лесной растительности и органического вещества почвы верховым пожаром углистого слоя не образуется, или он выдувается, и почвообразование начинается с 0-момента. Возобновление лесной растительности слабое. В этих условиях за 15 лет отмечается образование прерывистого маломощного (1 см) гор. W и буроватого подгумусового гор. C^тf, что позволяет предполагать принадлежность почвы к отделу слаборазвитых и соответствует профилю псаммозема гумусового.

Исследование морфологического строения почв песчаных террас под сосновыми лесами Прибайкалья и их пирогенных аналогов обнару-

жило сложности в определении их классификационного положения. Обоснование предлагаемых названий: псаммозем гумусовый оподзоленный, псаммозем гумусовый постпирогенный, псаммозем гумусовый, требует исследований физико-химических и химических свойств, микро- и субмикроморфологического строения.

Физические и физико-химические свойства почв. Исследованные почвы имеют рыхлое сложение, связнопесчаный состав, формируются на рыхлых песчаных отложениях (табл. 1) и, согласно ранее опубликованным данным [10], характеризуются провальной фильтрацией и низкими водоудерживающими свойствами. Содержание тонкодисперсных частиц очень низкое. В почвенных профилях под лесом разр. 15-11Д и 13-11Д до глубины 60–70 см содержание фракций физической глины более высокое (8–9%) по сравнению с гор. C2 (3–4%). После верхового пожара, уничтожившего древесной, большее содержание физической глины отмечается только до глубины 41 см, очевидно, в связи с эоловой транспортировкой верхнего слоя 0–20 см почвы.

Важным показателем для диагностики почвообразования является содержание фракции крупной пыли, которая практически не связывается в агрегаты и является наиболее дефлируемой. Ее крайне низкое содержание под тонкой прерывистой корочкой в псаммоземе пирогенном деградированном, скорее всего, обусловлено выдуванием после уничтожения растительного покрова пожаром. Указанные особенности распределения фракций гранулометрического состава позволя-

Таблица 2. Физико-химические свойства почв

Горизонт (глубина, см)	рН		Гумус, %	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$	Запасы гумуса, т/га		Обменные катионы		Гидро- литическая Н ⁺	ЕКО	S, %
	H ₂ O	KCl			а	б	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
	смоль(экв)/кг почвы										
Разр. 15-11Д											
O (0–4)	5.0	4.8	15.0*	–	–	–	6.2	3.1	48.1	57.4	16
We (4–9)	5.3	4.8	1.70	0.52	10.4		3.1	1.2	3.5	7.8	55
C ^f (9–33)	5.9	4.9	0.03	–	1.0		2.2	0.2	1.8	4.2	56
C1 ^f (33–70)	6.1	5.1	0.09	–	4.6	16.8	2.1	0.8	1.2	4.1	70
C2 ^f (70–110)	6.3	5.1	0.02	–	0.8**		1.7	1.0	1.0	3.7	73
Разр. 13-11Д											
O (0–1)	5.2	4.6	64.2*	–	–	–	6.0	1.2	44.9	52.1	13
O _{pir} (1–2)	6.1	5.0	62.4*	–	–	–	6.0	0.5	19.1	25.6	25
A _Y pir (2–8)	6.4	5.1	3.40	1.16	21.8		5.0	0.6	4.4	10.02	55
C ^f (8–37)	5.7	4.7	0.41	0.63	19.1		1.6	0.3	2.7	4.6	40
C1 ^f (37–60)	5.6	4.9	0.55	0.26	19.9	66.4	1.6	0.3	1.2	3.1	61
C2 ^f (60–120)	6.2	5.3	0.09	–	5.7**		1.2	1.0	1.0	3.2	69
Разр. 14-11Д											
W (0–1)	5.8	4.4	4.4	0.63	5.3		2.0	1.0	6.7	9.7	30
C ^f (1–8)	5.7	4.8	0.6	0.58	5.5		1.6	0.8	2.5	4.9	48
C1 ^f (8–41)	6.0	4.9	0.2	–	8.9	28.5	1.6	0.6	1.3	3.5	62
C2 ^f (41–102)	6.2	5.1	0.1	–	8.9**		1.7	1.0	0.9	3.6	74

* C_{орг}

** До 1 м.

Примечание. S – степень насыщенности основаниями. Запасы гумуса: а – по горизонтам; б – в слое 1 м.

ют предполагать последовательную деградацию почв под воздействием огня и ветра.

Реакция среды в почве под негорелым лесом и после верхового пожара кислая (табл. 2), что объясняется спецификой разложения и гумификации лесной подстилки, состоящей в основном из хвои сосны и остатков лишайника. После низового пожара в пирогенных горизонтах реакция среды слабокислая. Причина снижения кислотности заключается, очевидно, в образовании углестого прослоя на поверхности почвы при низовом пожаре. Благодаря высокой адсорбционной способности угля [38] происходит закрепление зольных веществ в почве [37], оказывая пролонгированное влияние последних на почвообразование. С этим связаны и различия в содержании обменных оснований и особенно кальция, степени насыщенности основаниями, которые имеют низкие показатели в исследованных кислых песчаных почвах, но в почве после низового пожара, даже через 15 лет, они заметно больше.

Содержание гумуса в аккумулятивном горизонте фоновой почвы невысокое (1.7%), состав

гумуса фульватный. Небольшой максимум в содержании гумуса на глубине 33–70 см обусловлен, скорее всего, развитием альфегумусового процесса. В аккумулятивных горизонтах пирогенных почв содержание гумуса значительно больше (3.4–4.4%). В постпирогенной почве после низового пожара содержание гумуса имеет повышенные значения до глубины 60 см, что может быть обусловлено нисходящей миграцией подвижных форм гумуса в условиях активизации гумусообразования и кислой реакции среды. Подтверждением этому служит отношение $C_{ГК}/C_{ФК}$, которое в гор. A_Ypir составляет 1.16, в подгумусовом горизонте – 0.63 и на глубине 37–60 см – 0.26. Возможно, в гумусовом горизонте в состав гуминовых кислот попадает пирогенный углерод. В почве после верхового пожара содержание гумуса относительно высокое только в корочке, в подгумусовом горизонте до глубины 8 см этот показатель значительно ниже – 0.6%. Состав гумуса в гор. W и C^f гуматно-фульватный. Запасы гумуса в метровом слое пирогенных почв по сравнению с фоновыми возрастают: после низового пожара в

Таблица 3. Валовой химический состав почв, %

Горизонт (глубина, см)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Потеря при про- каливании	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$
Разр. 15-11Д													
We (4–9)	71.30	0.41	14.00	2.24	0.07	0.61	1.91	3.51	3.00	0.15	3.28	8.67	7.86
C ^{ff} (9–33)	71.40	0.39	13.90	2.21	0.05	0.62	1.91	3.63	3.00	0.15	1.90	8.74	7.93
C1 ^{ff} (33–70)	72.20	0.34	14.40	2.15	0.04	0.59	1.91	3.67	3.00	0.16	1.78	8.53	7.81
C2 ^{ff} (70–110)	72.30	0.31	14.00	2.03	0.04	0.56	2.02	3.75	3.19	0.15	1.32	8.79	8.03
Разр. 13-11Д													
AУpir (2–8)	70.00	0.31	12.80	1.81	0.08	0.54	1.91	3.28	2.97	0.15	6.56	9.25	8.51
C ^{ff} (8–37)	73.10	0.33	13.60	1.94	0.05	0.55	1.73	3.48	3.09	0.17	2.22	9.15	8.39
C1 ^{ff} (37–60)	74.20	0.22	13.70	1.56	0.04	0.47	1.71	3.68	3.28	0.21	1.36	9.22	8.58
C2 ^{ff} (60–112)	75.00	0.23	13.30	1.50	0.04	0.43	1.73	3.76	3.28	0.17	0.98	9.61	8.98
Разр. 14-11Д													
W (0–1)	68.30	0.32	12.60	1.94	0.08	0.54	1.73	3.16	2.88	0.17	8.46	9.17	8.27
C ^{ff} (1–8)	73.00	0.32	13.80	1.94	0.05	0.52	1.77	3.47	3.07	0.18	2.34	9.00	8.47
C1 ^{ff} (8–41)	73.80	0.29	13.70	1.78	0.04	0.51	1.80	3.60	3.19	0.14	1.54	9.17	8.63
C2 ^{ff} (41–102)	74.10	0.28	13.60	1.66	0.04	0.48	1.82	3.78	3.23	0.15	1.14	9.28	8.52

4 раза, а после верхового – в 1.7 раз, что может быть обусловлено как активизацией гумусообразования, так и присутствием пирогенного углерода. Увеличение содержания гумуса в почвах после низовых пожаров в Байкальском регионе показаны Платоновой и Ивановой [20]. Авторы считают это одной из причин активного возобновления сосновых лесов. Некоторые исследователи отмечают улучшение свойств почв после низовых пожаров и рекомендуют проводить профилактические выжигания [26, 34].

Валовой химический состав почв и формы соединений железа. Данные валового химического анализа показывают, что для исследованных почв характерна слабовыраженная аккумуляция в поверхностных горизонтах Ti, Mn и Mg (табл. 3). В псаммоземе постпирогенном отмечается повышенное содержание Ca в гумусовом горизонте, что, скорее всего, объясняется образованием золы и угля при пожаре и закреплением этого элемента в гумусовом горизонте.

Для фоновой почвы характерно некоторое уменьшение содержания свободных форм соединений железа в осветленных пятнах на фоне большего содержания в гумусовом горизонте и в почвообразующей породе (C^{ff}) до глубины 70 см, что является свидетельством слабовыраженного альфегумусового процесса (табл. 4) [4]. В пирогенных почвах распределение валового железа по профилю обнаруживает аккумуляцию в поверхностных горизонтах: в почве после верхового пожара до глубины 8 см и после низового – до 37 см. Увеличение оксалаторастворимой его части охва-

тывает еще большую толщу до глубины 60 см в почве после низового пожара. Увеличение подвижности железа коррелирует с содержанием гумуса и его составом, что является признаком альфегумусового процесса. Отмечается накопление Al в подгумусовых горизонтах пирогенных почв. Судя по отношениям SiO₂/Al₂O₃ и SiO₂/R₂O₃, небольшое уменьшение этих показателей по сравнению с выше- и нижележащими горизонтами отмечено в гор. C^{ff} псаммозема гумусового постпирогенного.

В целом, физико-химические и химические свойства всех исследованных почв имеют общие черты, обусловленные развитием слабовыраженных процессов гумусонакопления и альфегумусового. Отличия фоновых и постпирогенных почв заключаются в следующем. Для фоновых почв характерно образование лесной подстилки, фульватного гумуса и признаков оподзоливания. В почвах после низового пожара отмечается уменьшение кислотности, увеличение содержания обменного кальция, возрастание доли гуминовых кислот в аккумулятивном горизонте и начало образования лесной подстилки без признаков пирогенеза. В почве после верхового пожара – это образование гумусированной тонкой прерывистой корочки с гумусом гуматно-фульватного состава, кислой реакцией среды и очень низким содержанием обменных оснований. Исследование микро- и субмикроморфологического строения почв позволит уточнить отличительные признаки постпирогенных почвенных сукцессий псаммоземов Прибайкалья.

Таблица 4. Формы соединений железа песчаных почв Прибайкалья

Горизонт (глубина, см)	Формы соединений железа, %				
	Fe _{вал}	Fe _d	Fe _{вал} -Fe _d	Fe _O *	Fe _d -Fe _O *
Разр. 15Д-11					
We (4–9)	2.24	0.47	1.77	0.18	0.29
We (светлое пятно)	2.05	0.32	1.73	0.1	0.22
C [~] f (9–33)	2.21	0.48	1.74	0.15	0.33
C1 [~] f (33–70)	2.15	0.42	1.73	0.1	0.32
C2 [~] (70–110)	2.03	0.30	1.73	0.08	0.22
Разр. 13Д-11					
AУpir (2–8)	1.81	0.45	1.36	0.2	0.25
C [~] f (8–37)	1.94	0.48	1.46	0.14	0.34
C1 [~] (37–60)	1.56	0.21	1.35	0.16	0.05
C2 [~] (60–112)	1.50	0.23	1.27	0.08	0.15
Разр. 14Д-11					
W (0–1)	1.94	0.47	1.47	0.16	0.31
C [~] f (1–8)	1.94	0.45	1.49	0.20	0.25
C1 [~] (8–41)	1.78	0.30	1.48	0.10	0.2
C2 [~] (41–102)	1.66	0.22	1.44	0.10	0.12

Примечание. Fe_{вал} – валовое. Fe_d – свободное. (Fe_{вал}-Fe_d) – силикатное. Fe_O – аморфное. (Fe_d-Fe_O) – окристаллизованное.

Микроморфологическое строение. В нетрунтовой пожаром лесной подстилке псаммозема гумусового оподзоленного (разр. 15-11Д) наблюдается разложение остатков хвои с участием грибной микрофлоры, измельчение микро- и мезофауны и преобразование в плазму мягких тканей растительных остатков (рис. 2, Ia–Iв). В гумусово-слаборазвитом гор. We гумус представлен фрагментарными пленками на поверхности минералов и редкими аморфными сгустками (рис. 2, Ig), подтверждая представления о том, что продукты глубокой гумификации накапливаются в горизонте в небольшом количестве. Зерна минералов частично, а в некоторых микроразонах полностью, отмыты от кутан, что объясняет образование осветленных участков в горизонте. Присутствие единичных углистых частиц, как известно, отличающихся устойчивостью и способностью сохраняться в почве на протяжении сотен и тысяч лет [9, 31, 32, 41], обнаруживает былую пирогенность (рис. 2, Id) почвы. В гор. C[~]f и C1[~]f поверхности частиц песка покрыты охристой железисто-гумусовой пленкой толщиной 5–15 мкм (рис. 2, Ie), что коррелирует с повышенным относительно осветленных пятен и нижележащей толщи содержанием свободных форм соединений железа и подтверждает развитие альфегумусового процесса [6].

В микростроении верхней части подстилки псаммозема гумусового постпирогенного (разр. 13Д-11) преобладают слаборазложившиеся остатки хвои и встречаются редкие аморфные

остатки мягких тканей растений (рис. 2, IIa), а также фрагменты слаборазложившегося древесного материала. В нижней части подстилки фон создают углистые частицы, как потерявшие, так и сохранившие структуру тканей растений (рис. 2, IIб–IIг). В гумусовом гор. AУpir органическое вещество представлено черными, неправильной формы образованиями размером ~50 мкм; охристо-бурыми железисто-гумусовыми сгустками; тонкодисперсными частицами, размером 1–2 мкм, образующими светло-серые сгустки (10–20 мкм) (рис. 2, IIд). Черные частицы, скорее всего, микрочастицы угля, часто образуют комбинации с буро-охристыми аморфными образованиями. Возможно, что они инициируют образование железисто-гумусовых сгустков.

В гор. C[~]f поверхности зерен минералов песчаной фракции покрыты фрагментарной охристо-бурой глинисто-пылевой и буро-охристой тонкодисперсной как автохтонной, так и аллохтонной кутаной толщиной 5–30 мкм, иногда склеивающей отдельные песчаные зерна (рис. 2, IIе). Встречаются обуглившиеся корешки.

Органическое вещество маломощного (1 см), но наиболее интенсивно гумусированного гор. W, образовавшегося за 15 лет после верхового пожара, представлено в основном черными овальными сгустками гумуса размером ~50 мкм, дисперсными формами, заполняющими поры (рис. 2, IIIa, в), грубыми остатками растений, продуктами метаболизма микро- и мезофауны. Присутствуют также углистые частицы (рис. 2, IIIв).

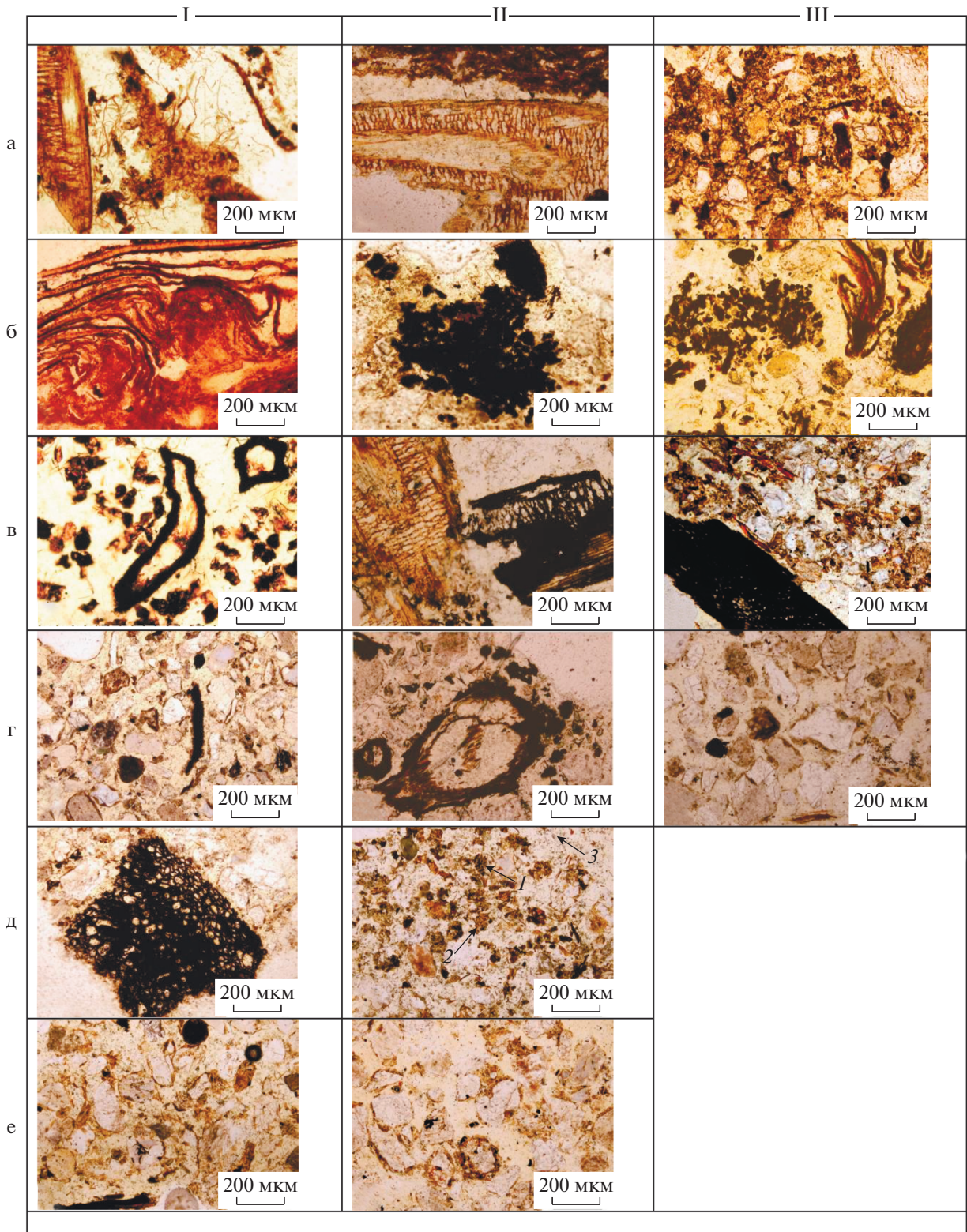


Рис. 2. Микроморфологическое строение почв: I – разр. 15Д-11: гор. О – разложение хвои грибными гифами (а), преобразование мягких тканей в плазму (б); продукты метаболизма микро- и мезофауны (в); гор. We – гумусовые кутаны и сгустки на поверхности зерен минералов (г); обугленная частица (д); гор. C[·]f – охристые плазменные и пылевато-плазменные кутаны на поверхности минералов (е). II – разр. 13Д-11: гор. О – разлагающиеся хвоя и мягкие ткани (а); гор. Orig – частично и полностью обугленные остатки растений (в, г, д), гор. AUpir: 1 – черный, возможно обуглившийся, гумус; 2 – охристо-бурые сгустки, 3 – серые сгустки (д); гор. C[·]f: бурая глинисто-пылеватая и плазменная охристая кутаны на поверхности зерен минералов (е). III – разр. 14Д-11: гор. W – черные сгустки гумуса (а), разлагающиеся остатки мха (б), углистая частица и гумус, заполняющий поры (в); гор. C[·]f – бурая глинисто-тонкопылеватая и охристо-бурая плазменная кутаны на поверхности зерен минералов (е).

Возможно, что формирование черного дисперсного гумуса обусловлено особенностями гумификации остатков мхов (рис. 2, IIIб) и лишайников, заселивших открытые после пожара дефлированные поверхности. Для зерен минералов песчаной фракции гор. C[·]f характерны фрагментарные бурые слабоанизотропные глинисто-тонкопылеватые и аморфные охристо-бурые кутаны (рис. 2, IIIд) толщиной 5–15 мкм.

Субмикроморфологическое строение. В подстилке псаммозема гумусового оподзоленного (разр. 15-11Д) поверхность потемневшей хвои частично покрыта гифами грибов (рис. 3, Ia, Ib). Поверхность обуглившейся хвои из слоя Orig псаммозема постпирогенного (разр. 13Д-11) (рис. 3, IIa, IIб) и углистых частиц из гор. AUpir (рис. 3, Iv) покрыты дисперсными (1–10 мкм) частицами. Очевидно, это связано с повышенной сорбционной способностью пирогенного углерода [38]. Сорбция зольных веществ углем способствует долгосрочному участию золы в почвообразовании [37], что особенно важно для формирования песчаных почв с низкой погложительной способностью. Поверхность разлагающегося лишайника из корочки псаммозема гумусового (разр. 14Д-11) (рис. 3, IIIa, IIIб) также покрывается дисперсными частицами, состав и механизм закрепления которых остается не ясным.

Микроагрегаты гумусовых горизонтов в фоновой почве относительно мелкие (10–50 мкм), в пирогенных – более крупные (50–100 мкм) (рис. 3, Iv, IIг, IIIв) и нередко пронизаны или связаны гифами грибов. В составе микроагрегатов отмечается присутствие первичных минералов размером 1–10 мкм, аморфных веществ и пластинок гидрослюды. Присутствуют зерна минералов, поверхности которых отмыты от пленок.

В подгумусовых горизонтах обнаруживаются слабые микропризнаки выветривания песчаных зерен, кутаны из тонкопылеватого материала, пластинки глинистых минералов и фрагментарные кутаны на них (рис. 3, Ig, IIд, IIIг). Кутаны более отчетливы в оподзоленной почве. Песчаные зерна почвообразующей породы имеют окатанную форму в связи с речным генезисом и/или эоловой переработкой. Поверхность их практически не изменена выветриванием (рис. 3, Id).

В целом данные микро- и субмикроморфологического строения обнаруживают три разных

типа органического вещества. В фоновой почве – фрагменты лесной подстилки и слабое накопление видимых форм гумуса; в почве после низового пожара – углистые вещества и охристо-бурые железисто-гумусовые сгустки; в почве после верхового пожара – темноокрашенные дисперсные продукты гумификации мхов и лишайников. На поверхности углистых веществ и лишайников сорбируются дисперсные частицы. Признаки развития альфегумусового процесса в виде кутан на поверхности минералов подгумусового горизонта и признаки оподзоливания – чистые зерна минералов, отмечаются во всех почвах, но несколько лучше выражены в фоновой почве.

В определении классификационного положения исследованных почв возникает затруднение в связи с наличием в профиле фоновых почв – псаммоземов гумусовых оподзоленных, горизонта лесной подстилки. В Международной системе классификации (WRB) [42] эти почвы соответствуют реферативной почвенной группе Arenosols с квалификаторами Eutric и Ochric. После низового пожара длительно сохраняющиеся пирогенные горизонты отмечены индексом rig, обозначающим по [21] наличие остаточных продуктов горения торфа. Использование индекса rig для постпирогенных лесных почв и выделение на уровне подтипов актуально в связи с длительным периодом послепожарного восстановления почв. В WRB выделение подобных постпирогенных квалификаторов не предусмотрено. Специфика развития почвы после верхового пожара позволяет предполагать, что период возврата к фоновой почве может растянуться на долгое время, особенно в условиях аридизации климата. Профиль почвы соответствует типу псаммоземов гумусовых, которые имеют признаки эоловой переработки и аридизации. В WRB эти признаки обозначены дополнительным квалификатором Aridic, который, возможно, следует использовать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На песчаных, переработанных ветром озерно-речных террасах юго-восточного Прибайкалья под лишайниковыми сосновыми лесами высокого класса природной пожарной опасности, формируются почвы, профиль которых представлен лесной подстилкой и слаборазвитым гумусовым

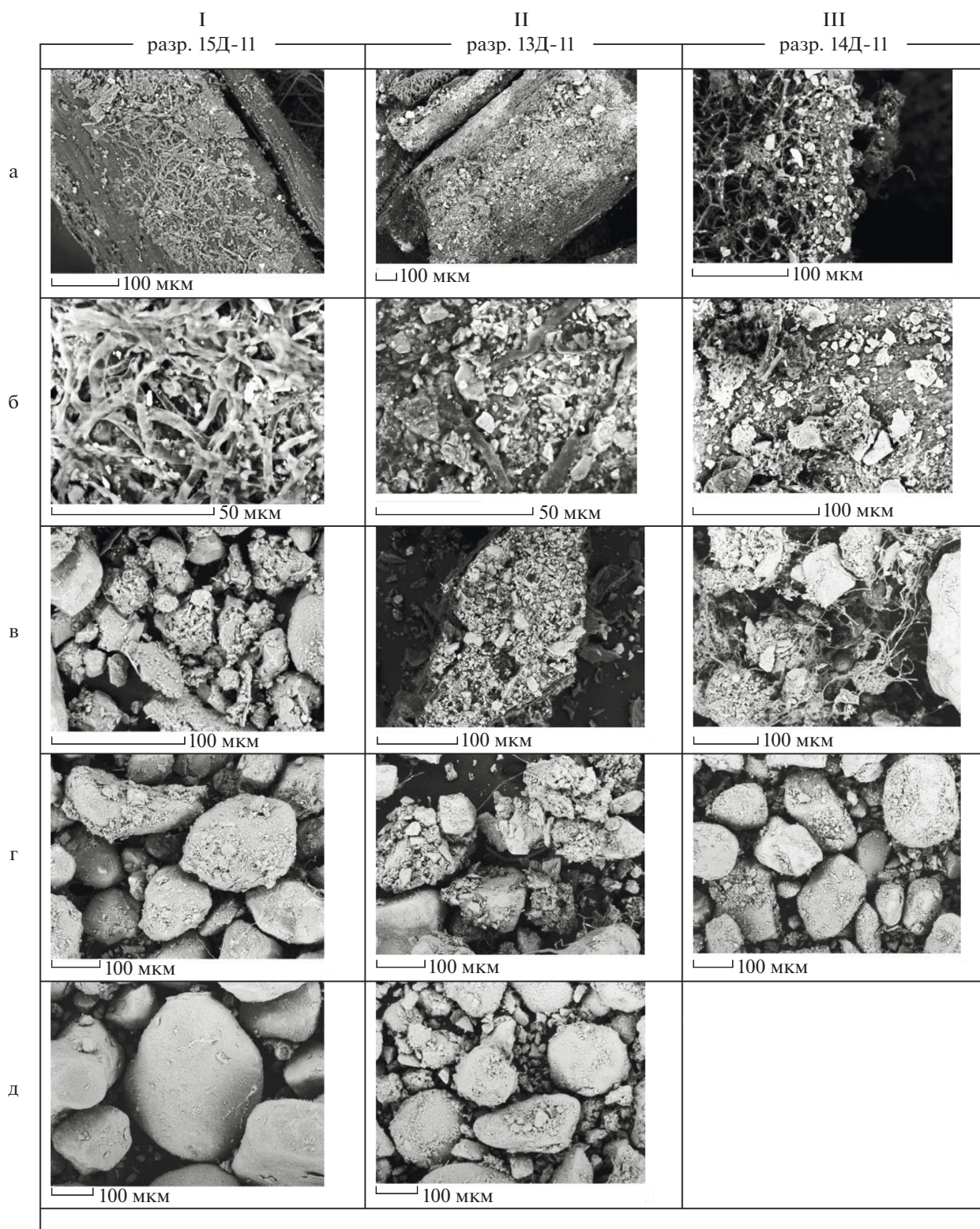


Рис. 3. Субмикроморфологическое строение почв: I – разр. 15Д-11: гор. О (а, б) – поверхность потемневшей разлагающейся хвои; гор. We (в) – микроагрегаты; (г) – плазменные и пылевато-плазменные кутаны на поверхности песчаных зерен; гор. С2⁺ (д) – зерна песка без признаков выветривания. II – разр. 13Д-11: гор. Оріг (а, б) – поверхность обуглившейся хвои; гор. АУріг (в) – углистая частица покрыта зернами пылевой фракции; (г) – микроагрегаты; гор. С⁺f (д) – продукты выветривания на поверхности песчаных зерен. III – разр. 14Д-11 – гор. W (а) – лишайник, (б) – поверхность лишайника; (в) – микроагрегаты; гор. С⁺f (г) – плазменные и пылевато-плазменные кутаны на поверхности минералов.

горизонтом. Значительные территории занимают гари с постпирогенными сукцессиями. Для почв фоновых лесов характерно довольно активное разложение лесной подстилки под влиянием грибной микрофлоры. Почва характеризуется кислой реакцией, низкой поглотительной способностью, насыщенностью основаниями и малым содержанием гумуса фульватного состава. Аналитические, макро- и микроморфологические признаки миграции гумуса и железа в профиле свидетельствуют о слабовыраженном развитии гумусово-аккумулятивного и альфегумусового процессов, что позволяет отнести их к подтипу псаммоземы гумусовые оподзоленные.

Через 15 лет после низового пожара хорошо сохранилось обуглившееся органическое вещество подстилки и гумусового горизонта: остатки хвои и древесины, микрочастицы пирогенного углерода, сорбирующие на поверхности дисперсные и аморфные вещества. Почва характеризуется слабокислой реакцией, повышенным содержанием обменного и валового кальция, значительными запасами гумуса. Проникновение гумуса и оксалоторастворимых форм соединений железа вниз по профилю до глубины 60 см и смена состава гумуса: фульватно-гуматного в гумусовом горизонте, гуматно-фульватным в подгумусовом горизонте и глубже — фульватным, обнаруживает слабовыраженный альфегумусовый процесс. Учитывая особенности строения и свойств почвы предлагается название псаммозем гумусовый постпирогенный.

После верхового пожара сосредоточенность признаков почвообразования в маломощном прерывистом (1 см) гор. W, уменьшение мощности толщи, обогащенной физической глиной, очень низкое содержание фракции крупной пыли в подгумусовом горизонте свидетельствуют о послепожарном развитии почвы в условиях активизации процессов дефляции. Почва характеризуется кислой реакцией и высокой гидролитической кислотностью, наиболее низкими показателями содержания обменного кальция и степени насыщенности основаниями. Роль сорбента в горизонте играют остатки лишайника, аккумулирующие на поверхности дисперсные частицы. Отмечается относительно высокое содержание гумуса гуматно-фульватного состава в поверхностной корочке. В подгумусовом горизонте содержание гумуса невысокое, но доля фульвокислот в его составе возрастает, что коррелирует с распределением подвижных форм соединений железа и свидетельствует об альфегумусовом процессе. Строение и признаки почвы соответствуют типу псаммозем гумусовый.

Общий для всех почв альфегумусовый процесс проявляется слабо в связи с континентальностью климата, жестким ветровым режимом, быстрой прогреваемостью песчаных почв и низкой водо-

удерживающей способностью; развитие почв задерживается на стадии слаборазвитых.

Полученные материалы свидетельствуют о необходимости исследования трансформации углеродных веществ и их сорбционной способности в процессе послепожарного развития почв, а также трансформации форм соединений железа при пожаре и дальнейшем поведении и их роли в развитии почв.

Благодарность. Работа выполнена в рамках госзадания по теме: Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами (АААА-А1-117011810038-7); при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-030022 р_а “Разработка радиометрических методов раннего обнаружения очагов торфяных пожаров в Байкальском регионе” и № 18-45-030033 “Количественное исследование динамики изменения климата почв на южной границе ареала многолетней мерзлоты под влиянием процесса глобального потепления в Западном Забайкалье”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безкорвайная И.Н., Иванова Г.А., Тарасов П.А., Сорокин Н.Д., Богородская А.В., Иванов В.А., Конард С.Г., Макрае Д.Дж.* Пирогенная трансформация сосняков средней тайги Красноярского края // Сиб. экол. журн. 2005. № 1. С. 143–152.
2. *Богданов В.В., Прокушкин А.С., Прокушкин С.Г.* Влияние низовых пожаров на подвижность органического вещества почвы в листовничниках криолитозоны Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2009. № 2. С. 88–93.
3. *Васенев И.И.* Почвенные сукцессии. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 400 с.
4. *Водяницкий Ю.Н.* Химия и минералогия почвенного железа. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2003. 236 с.
5. *Герасимова М.И., Ковда И.В., Лебедева М.П., Туркина Т.В.* Микроморфологические термины как отражение современного состояния исследований микростроения почв // Почвоведение. 2011. № 7. С. 804–817.
6. *Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А.* Микроморфология почв природных зон СССР. Пушкино, 1992. 215 с.
7. *Гынинова А.Б., Корсунов В.М.* Почвы Селенгинского дельтового района // Почвоведение. 2006. № 3. С. 273–281.
8. *Добровольский Г.В., Шоба С.А.* Растровая электронная микроскопия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 143 с.
9. *Дымов А.А.* Почвы послерубочных, постпирогенных и постагрогенных лесных экосистем северо-востока Европейской части России. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2018. 46 с.

10. Дыржинов Ж.Д., Гынинова А.Б., Гончиков Б.-М.Н. Разнообразие почв сосновых боров Селенгинского дельтового района // Вестн. Бурят. с.-х. акад. Улан-Удэ, 2014. № 1. С. 33–39.
11. Евдокименко М.Д. Факторы горимости Байкальских лесов // ГиПР. 2011. № 3. С. 51–57.
12. Жила С.В., Иванова Г.А., Кукавская Е.А. Трансформация биомассы напочвенного покрова под воздействием пожаров в светлохвойных насаждениях Нижнего Приангарья // Вестник КрасГАУ. 2011. № 3. С. 33–38.
13. Иметхенов А.Б. Позднекайнозойские отложения побережья оз. Байкал. Новосибирск: Наука, 1987. 148 с.
14. Коломыцев В.М. О состоянии охраны лесов от пожаров в Хабаровском крае // Охрана лесов от пожаров в современных условиях. Мат-лы научн.-пр. конф. Хабаровск: Изд-во КПБ, 2002. С. 6–10.
15. Краснощекоев Ю.Н. Влияние пирогенного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Сибирский лесной журн. 2014. № 2. С. 43–52.
16. Краснощекоев Ю.Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2004. 224 с.
17. Куликов А.И., Убугунов Л.Л., Мангатаев А.Ц. О глобальном изменении климата и его экосистемных следствиях // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 3(60). С. 5–13.
18. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 224 с.
19. Парфенова Е.И., Ярилова Е.А. Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении. М.: Наука, 1977. 198 с.
20. Платонова И.А., Иванова Г.А. Оценка естественного возобновления после низовых пожаров в сосняках Селенгинского среднегорья // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 168–175.
21. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
22. Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу. Мат-лы сов. Красноярск: Изд-во ИЛиД СО АН СССР, 1973. С. 236–277.
23. Теории и методы физики почв. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
24. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
25. Тулохонов А.К., Пунцукова С.Д. Лесные пожары в РБ в условиях изменения климата // Общество: политика, экономика, право. 2016. № 3. С. 72–78.
26. Федоров П.В., Тарасов П.А. О пирогенном влиянии на физико-химические характеристики почвы // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Красноярск, 2013. Т. 1. С. 3–5.
27. Фуряев В.В., Заблоцкий В.И., Черных В.А. Пожароустойчивость сосновых лесов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2005. 160 с.
28. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Гринь Д.С., 2011. 470 с.
29. Borchard N., Ladd B., Eschemann S., Hegenberg D., Mösele B.M., Amelung W. Black carbon and soil properties at historical charcoal production sites in Germany // Geoderma. 2014. V. 232–234. P. 236–242.
30. Caon L., Ramón V.V., Ritsema C.J., Geissen V. Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems // Earth-Science Reviews. 2014. V. 139. P. 47–58.
31. González-Pérez J.A., González-Vila F.J., Almendros G., Knicker H. The effect of fire on soil organic matter – a review // Environ. Int. 2004. V. 30. № 6. P. 855–870.
32. Hart S., Luckai N. Review: Charcoal function and management in boreal ecosystems // J. Appl. Ecol. 2013. V. 50. P. 1197–1206.
33. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths / Eds.: G. Stoops, V. Marcelino, F. Mees. Elsevier, 2010. Ch. 11, 17. P. 227–259, 375–404.
34. Kumar M., Sheikh M.A., Bhat J.A., Bussmann R.W. Effect of fire on soil nutrients and understorey vegetation in Chir pine forest in Garhwal Himalaya, India // Acta. Ecologica. Sinica. 2013. V. 33. № 1. P. 59–63.
35. McRae D.J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W. Variability of Fire Behavior Fire Effects and Emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. № 1. V. 11. P. 45–74.
36. Michalzik B., Martin S. Effects of experimental duff fires on C, N and P fluxes into the mineral soil at a coniferous and broadleaf forest site // Geoderma. 2013. V. 197–198. P. 169–176.
37. Omil B., Piñeiro V., Merino A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties // Forest Ecology and Management. 2013. V. 295. P. 199–212.
38. Pingree M.R.A., DeLuca E.E., Schwartz D.T., DeLuca T.H. Adsorption capacity of wildfire-produced charcoal from Pacific Northwest forests // Geoderma. 2016. V. 283. P. 68–77.
39. Smart P., Tovey N.K. Electron Microscopy of Soil and Sediments: Techniques. Oxford University Press. Oxford, 1982. 264 p.
40. Stoffyn-Egli P., Potter J.D.T.M., Pocklington Leonard R. The identification of black carbon particles with the analytical scanning electron microscope: methods and initial results // Sci. Total Environ. 1997. V. 198. № 3. P. 211–223.
41. Tan Z., Han Y., Cao J., Huang C.C., An Z. Holocene wildfire history and human activity from high-resolution charcoal and elemental black carbon records in the Guanzhong Basin of the Loess Plateau, China // Quaternary Sci. Rev. 2015. V. 109. P. 76–87.
42. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. FAO. Rome, 2014. P. 181

Post-Fire Evolution of Sandy Soils under Pine Forests in the Baikal Region

A. B. Gyninova^{a, d, *}, Zh. D. Dyrzhinov^c, A. I. Kulikov^a, B. D. Gyninova^d, and B. N. Gonchikov^a

^a*Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
ul. Sakh'yanovoi 6, Ufa, Buryat Republic, 670047 Russia*

^b*Burayt Branch of the Federal Center of Forest Protection and Pest and Disease Control,
ul. Severnaya 133, Ulan-Ude, Buryat Republic, 670047 Russia*

^c*Filippov Buryat State Agricultural Academy, ul. Pushkina 8, Ulan-Ude, Buryat Republic, 670024 Russia*

^d*Ministry of Science and Education of the Buryat Republic,
ul. Kommunisticheskaya 49, Ulan-Ude, Buryat Republic, 670001 Russia*

*e-mail: ayur.gyninova@mail.ru

The specificity of the formation of sandy soils under pine forests in the southeastern Baikal region has been studied. It is shown that the profile of background soils has a litter horizon and a thin humus-accumulative horizon with features of grain bleaching in the part. In the WRB system, such soils are classified as Eutric Arenosols (Ochric). These soils have an acid reaction, fulvate humus, and slightly developed features of the Al–Fe-humus process. Post-pyrogenic soil successions depend on the type of fire. In fifteen years after the ground fire, a soil with specific pyrogenic horizons in the upper part of the profile was formed. It had a high content of carbonaceous matter and humus, a slightly acid reaction, and a relatively high content of exchangeable and total calcium. The soil humus was of the fulvate–humate composition, and the humus pool considerably increased. These changes were related to the presence of charcoal microparticles adsorbing dispersed substances on their surface and detected in thin sections. After the crown fire with the destruction of the tree stand and activation of wind erosion, the features of pyrogenesis are poorly expressed in the soils. In this case, post-pyrogenic soils have a weakly developed immature profile, acid reaction, and low content of humus of the humate–fulvate composition. The properties of the background soils allow us to classify them as podzolized humic psammozems (Eutric Arenosols (Ochric)); the soils of post-pyrogenic successions after the ground fire can be classified as post-pyrogenic humic psammozems; after the crown fire, as humic psammozems.

Keywords: pine forests, forest fires, post-pyrogenic successions, soils, micromorphological features