

УДК 631.481

В.М. Пискарева¹, Т.С. Кошовский², Е.А. Бисикалова³, А.Н. Геннадиев⁴, А.Д. Белик⁵**ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА СВОЙСТВА ПОЧВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЗЕМЛЯ ЛЕОПАРДА» (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

Изучены почвы юга Приморья, испытывающие воздействие весенних палов с различной частотой. На основе сравнения с фоновыми почвами выявлены отличия морфологического строения пирогенных почв, их физических, химических и физико-химических свойств. Благодаря пирогенно обусловленной смене растительности с лесной на луговую, в постпирогенных почвах повышено содержание органического вещества в среднем с 5 до 7%, увеличены мощности гумусовых горизонтов в среднем с 8 до 14 см. В постпирогенных почвах запасы органического углерода относительно фоновых возрастают в 3–4 раза для слоя 0–20 см. После прохождения пожара изменяется распределение величин магнитной восприимчивости по профилю с увеличением их в приповерхностной части. На гаях возрастают величины рН на 1–2 единицы, что отмечается во всех приповерхностных горизонтах почв, в результате чего верхние горизонты становятся наименее кислыми во всем профиле. Пирогенные горизонты характеризуются меньшим содержанием оксалаторастворимого железа по сравнению с нижележащими горизонтами. Пирогенные почвы обладают повышенными концентрациями полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), но при этом качественный состав ПАУ изменяется слабо. Во всех исследованных почвах преобладают легкие структуры полиаренов и доминируют фенантроново-дифенилово-нафталиновая ассоциация, что является показателем природного, а не техногенного происхождения ПАУ.

Ключевые слова: постпирогенные почвы, органическое вещество, рН, магнитная восприимчивость, оксалаторастворимое железо, полициклические ароматические углеводороды

Введение. В последние десятилетия на территории России все чаще фиксируются случаи возникновения природных пожаров, которые приносят значительный экономический и экологический ущерб. Причиной этих явлений в основном является деятельность человека. Для предотвращения возгораний и борьбы с пожарами необходимо осуществление целого комплекса мероприятий, в том числе научный анализ последствий прохождения огня в природной среде, изучение его влияния на различные компоненты ландшафта, и в частности, почвы.

После прохождения пожара под воздействием высоких температур, а также последующей смены растительных ассоциаций и изменения уровня микробиологической активности, трансформируются практически все физические, физико-химические и химические свойства почв. Почвы долгое время сохраняют следы как прямого, так и косвенного воздействия огня, поэтому изучение свойств постпирогенных почв важно для формирования адекватного представления о состоянии экосистем.

Особенности влияния пожаров на почвы активно исследуются с начала XX века. Наиболее обоснованы и не вызывают противоречий оценки изменения основных физических свойств почв [Крас-

нощевых 1994; Сапожников, Карпачевский, Ильина, 2001; Certini, 2005; Тарасов, Иванов, Иванова, 2008; Коган, Панина, 2010; Максимова, Быкова, Абакумов, 2014; Шахматова, 2015]. В то же время такая физическая характеристика послепожарных почв как их магнитная восприимчивость нуждается в дополнительных исследованиях. В условиях высоких температур при прохождении природных пожаров, гематит, лепидопротит, гетит (парамагнетики) могут переходить в сильномагнитные соединения (ферромагнетики) [Цибарт, Геннадиев, 2008]. По данным А.Ф. Вадюниной и В.Ф. Бабанина [1972], в большинстве постпирогенных почв горизонты, подвергшиеся обжигу, имеют более высокие значения магнитной восприимчивости. При ухудшении аэрации магнитная восприимчивость (МВ) заметно снижается ввиду гидратации железистых соединений.

При термическом воздействии на почвы может происходить повышение рН почвенной среды. Это обусловлено попаданием золы на поверхность почв после полного сгорания органического вещества [Certini, 2005]. Также возможно подкисление почв на гаях, в случае их активного эрозионного смыва на горных склонах.

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафта и географии почв, техник; *e-mail:* v.m.piskareva@yandex.ru

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафта и географии почв, науч. с.; *e-mail:* tkzv@ya.ru

³ ФГБУ «Объединенная дирекция государственного природного биосферного заповедника «Кедровая падь» и национального парка «Земля леопарда»; заместитель директора по науке; канд. биол. н.; *e-mail:* bisikalova@leopard-land.ru

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафта и географии почв, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail:* alexagenna@mail.ru

⁵ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафта и географии почв, техник; *e-mail:* ms.anna.belik@gmail.com

Результаты исследований химических свойств пирогенных почв также не столь однозначны [Khanna and Raison 1986; Ulery et al., 1993; Сапожников, Карпачевский, Ильина, 2001; Макарычев, Трофимов, Беховых, 2003; Тарасов, Михно, Сизина, 2011; Горбунова с соавт., 2013; Максимова, Абакумов, 2014]. В частности, имеет место противоречивость оценок постпирогенной динамики содержания органического вещества в почвах [Certini, 2005]; влияния пирогенеза на качественный состав полициклических ароматических углеводородов [Цибарт, Геннадиев, 2009, 2013; Максимова с соавт., 2014; Геннадиев с соавт., 2015; Дымов с соавт., 2015]. Во время пожара большое количество органического вещества почв сгорает, однако в дальнейшем происходит его заметное увеличение в результате восстановления растительности и увеличения скорости гумификации в условиях возрастающей микробиологической активности [Цибарт, Геннадиев, 2008]. Наибольшее содержание органического углерода в почвах отмечалось на горяч, пройденных наиболее интенсивными пожарами. В целом, послепожарный уровень содержания органического вещества значительно превышает фоновые значения [Certini, 2005]. Однако при частом воздействии высоких температур содержание органического углерода может значительно уменьшаться. Особенно данная тенденция заметна в почвах склоновых участков, где активно идет эрозионный смыв.

Согласно результатам исследования постпирогенных почв Е.Ю. Максимовой с соавт. [2014], в почвах происходит большее накопление ПАУ после прохождения низовых пожаров по сравнению с верховыми. При наиболее сильных лесных пожарах возможен вынос ПАУ из зоны горения с восходящими токами воздуха и последующее их рассеяние по прилегающим территориям [Цибарт, Геннадиев, 2009; Максимова с соавт., 2014]. В большей степени это характерно для легких ПАУ, таких как дифенил, флуорен, гомологи нафталина и фенантрен. Количество более тяжелых соединений в почвах, напротив, с увеличением интенсивности пожара возрастает [Цибарт, Геннадиев, 2009]. Однако в исследованиях А.А. Дымова с соавт. [2015] выявлено увеличение количества и 2–3-ядерных ПАУ в постпирогенных почвах.

После прохождения пожаров ПАУ сорбируются преимущественно на тонких частицах, богатых органическим веществом, или высокоуглеродистых веществах, таких как уголь, сажа и т. п. Условия окружающей среды также влияют на активность сорбции ПАУ. Некоторыми авторами описывается возможность латеральной миграции ПАУ, в том числе из постпирогенных почв в почвы подчиненных геохимических позиций [Дымов с соавт., 2015].

Целью данного исследования было установление постпирогенных изменений почв юга Приморского края. Поставленная цель определила следующие задачи: а) выявление особенностей морфологических, физических, физико-химических и химических свойств постпирогенных почв; б) ха-

рактеристику свойств постпирогенных почв в зависимости от давности и интенсивности прохождения пожаров; в) установление связи концентраций и состава ПАУ в почвах с характером воздействия пирогенного фактора.

Материалы и методы исследований. Территория исследования расположена в Хасанском районе Приморского края (43°06' с. ш., 131°32' в. д.), к юго-востоку от пос. Барабаш, в национальном парке «Земля леопарда», в заповеднике «Кедровая падь» и на прилегающих к нему территориях (рис. 1). Климат муссонный умеренный, переходный к субтропическому, с выраженными сезонами – сухой и холодной зимой, очень влажным и теплым летом [<https://www.meteoblue.com>]. Рельеф участка исследования сильно расчлененный низкогорный, с узкими водоразделами и крутыми вогнутыми и прямыми склонами; относительные превышения составляют около 300 м.

Почвообразующие породы представлены элювиальными, элювиально-делювиальными и делювиальными отложениями. Территория сложена преимущественно плотными породами мезозойского возраста – кварцевыми порфирами, порфиритами, туфами, с выходами магматических пород (порфиритовых гранитов, гранодиоритов и др.) [Карта ..., 1959].

Пожары на исследуемой территории возникают в весеннее время, и преимущественно являются низовыми – то есть захватывают травянистый и кустарниковый ярусы. Происходят они практически ежегодно, но с разной территорией охвата. Основной причиной возникновения пожаров в национальном парке являются травяные палы в сухую весеннюю погоду. Они распространяются от полосы населенных пунктов, расположенных недалеко от побережья, и границы особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Дневное направление ветра с моря на сушу приводит к активному распространению огня вглубь территории национального парка, реже – заповедника. Наблюдается обратная зависимость между удаленностью участков от границ ООПТ и частотой проходящих на них пожаров [Микелл с соавт., 2004]. В зависимости от расположения по отношению к населенным пунктам, наблюдается различная частота горения: очень высокая (более 10 раз за 20 лет), высокая (5–10 раз за 20 лет), средняя (2–5 раз за 20 лет) и низкая (менее 2 раз за 20 лет).

В районе исследований растительный покров представлен вторичными послепожарными порослевыми дубняками. Плотность лесной растительности зависит от частоты и давности прохождения пожаров. В заповеднике «Кедровая падь» на опытных участках, где производилось опробование почв, лес сомкнутый с подлеском и травостоем. Древостой представлен неморальными видами с преобладанием дуба монгольского. В кустарниковом ярусе преобладает лещина разнолистная и леспедеца двуцветная. На участках вне заповедника растительность значительно деградирована пожарами и представлена редколесьями и пустолями. Древостой

сильно разреженный, преобладает дуб монгольский. Кустарники представлены леспедецей. В травяном ярусе преобладают полынь и таволга.

Наши исследования проходили в дубовых лесах разной степени нарушенности пожарами. В рамках эколого-флористического подхода к классификации растительности П.В. Крестов с соавт. [2006] выделили данную обособленную формацию дубняков в порядок *Lespedezo bicoloris* – *Quercetalia mongolicae*. Положение лесов с участием *Quercus mongolica* в районе исследований определено до уровня порядка [Krestov et al., 2006]. Обозначение высших единиц растительности (I – класс; I-A – порядок): I. *Quercus mongolicae* – *Betuletea davuricae* Ermakov et Petelin 1997; I-A. *Lespedezo bicoloris* – *Quercetalia mongolicae* [Krestov et al., 2006].

В почвенном покрове преобладают буроземы темногумусовые (AU-au/bm-bm/au-ВМ-ВС-С) и

темногумусовые метаморфизованные почвы (AU-au/bm-bm/au-ВС-С). Вершины сопок и крутые склоны могут быть заняты литоземами темногумусовыми (AU-au/bm-M) и литоземами серогумусовыми (AY-Cau-M). На подножьях сопок и выположенных участках склонов, способствующих заставиванию влаги, формируются оподзоленные буроземы и темно-серые метаморфические почвы с профилем AUw-AUay-AEL-el,m-ВМel-ВМ-ВС. Почвы склонов сопок отличаются высоким содержанием каменистого материала, унаследованного от почвообразующих пород. Из-за высокого содержания оксидов железа для буроземов каменисто-щебнистых характерна бурая окраска всего профиля [Бояркин, Костенков, 2009; Костенков с соавт., 2013; Костенков, Жарикова, 2018].

Исследование проведено на шести ключевых участках (рис. 1), которые выбирались с учетом давности и частоты прохождения пожаров (табл. 1).

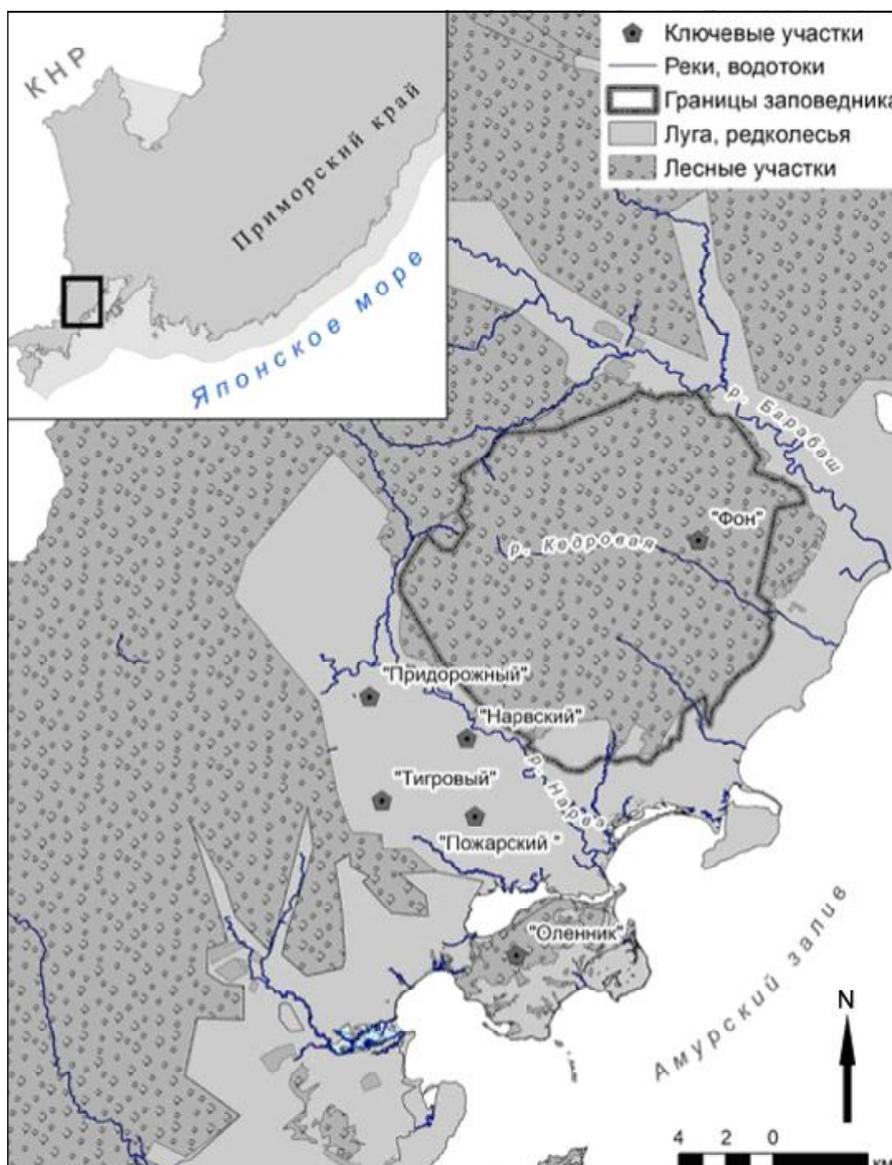


Рис. 1. Картограмма фактического материала

Fig. 1. Schematic map of actual data

Таблица 1

Характеристика ключевых участков

Участок, номер разреза	Годы пожаров	Возраст гари*	Количество пожаров**	Растительность (по позициям в кате-не)***	Количество разрезов
Фон, ЗЛ-15 – 19	начало XX в.	~100 лет	0	Ю, С, П: кленово-дубовый лиановый разнотравно-осоково-папоротниковый лес	5
Оленник, ЗЛ-23 – 25	до 1990-х гг.	~20 лет	0	Ю, П: осоково-разнотравный луг С: дубовый папоротниково-осоковый лес	3
Придорожный, ЗЛ-26 – 28, 43	1998, 2008, 2014	3 года	3	С, П: дубово-ясеневый-липовый малиновый хлоранто-ариземо-осоковый лес	4
Нарвский, ЗЛ-33 – 36	1996, 1998, 2003, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014	3 года	9	С, П: дубовое лещиново-леспедециевое папоротниково-осоковое редколесье	3
Тигровый, ЗЛ-37 – 41	1996, 1998, 2001, 2005, 2009, 2012, 2014, 2016	1 год 3 месяца	8	С, П: бархатно-дубовый рабдозиево-леспедецевый лес	5
Пожарский, ЗЛ-13, 14, 30, 31, 32	1996, 1997, 1998, 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2014, 2017	3 месяца	15	Ю, П: полынно-землянично-осоковый луг С: дубовое леспедециевое папоротниково-осоковое редколесье	5

*Время с момента прохождения последнего пожара.

**Количество пожаров с 1995 по 2017 гг.

***П – вершинные плакорные позиции, Ю – склоны южной экспозиции, С – склоны северной экспозиции.

На каждом участке были изучены катенарные сопряжения, включающие 3–4 точки опробования: на вершине сопки, в верхней части склона, в средней части склона и в пределах подножия. Катены закладывались на склонах северной экспозиции, на трех участках («Фон», «Оленник», «Пожарский») они дополнялись разрезами на склонах южной экспозиции. Ключевые участки отличаются по степени пирогенной нагрузки.

Полевые исследования проводились в июле 2017 г. В точках опробования характеризовались рельеф, растительность, проводилось подробное морфологическое описание профиля почвы, включающее выделение генетических горизонтов в соответствии с субстантивно-генетической классификацией [Полевой ..., 2008]. Особое внимание уделялось признакам пирогенной трансформации. Образцы почв отбирались по генетическим горизонтам. Кроме того, в почвах на участках «Фон», «Пожарский» и «Оленник» была определена доля мелкоземистого и каменистого материала в почвах с целью последующего пересчета количественных показателей на мелкоземную часть почвы и расчета запасов органического углерода, ПАУ, ряда других веществ. Для этого материал почвенного горизонта вырезали из передней стенки разреза с площади 20×20 см по всей его мощ-

ности, определяли массу вещества всего горизонта и массу крупных каменистых включений (более 5 см). Почвенный материал со включениями менее 5 см гомогенизировали и отбирали пробу, в которой в лабораторных условиях определяли долю мелко-го щебня (от 1 мм до 5 см).

В отобранных образцах почв в лабораторных условиях были определены: удельная магнитная восприимчивость почвы на приборе Magnetic Susceptibility Balance, содержание оксалаторастворимого железа в вытяжке Тамма методом пламенной атомизации на приборе атомно-абсорбционный спектрометр novAA-400 (Analytik-Jena AG), величину рН водной суспензии потенциометрическим методом на приборе «Иономер И-500», содержание органического углерода по методу И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина, Д.С. Орлова и Н.М. Гриндель с использованием двухлучевого спектрофотометра «Specord M40» (двухлучевая спектрофотометрия), содержание ПАУ методом спектрофлуориметрии (эффект Э.В. Шпольского) на спектрофлуориметре «Флюорат Панорама». Статистическая обработка результатов проведена с использованием пакетов «R», «Statistica», картографические и графические работы – в пакетах «ArcGIS 9.3» и «GGrapher».

Результаты и обсуждение. Морфологические свойства почв. В морфологическом строении исследованных почв выявлено 3 типа пирогенных изменений. Среди них к прямым последствиям пожаров относятся: изменение состава и количества опадоподстилочных образований; формирование пирогенного углесодержащего приповерхностного горизонта AU_{pr}. К косвенным последствиям причисляются изменения мощностей гумусовых горизонтов (AU, au/bm) (рис. 2).

На фоновой территории почвы имеют наиболее мощный слой опада (более 4 см), состоящий из четырех подгоризонтов с различной степенью разложившимся органического материала: неразложившийся опад прошлого года (Op), неразложившаяся слабоизмельченная подстилка (O), слаборазложившаяся сильноизмельченная подстилка (OL), среднеразложившаяся слабооторфованная подстилка (OT). Средние запасы подстилки составляют 1220 г/м². На территориях, подвергшихся воздействию пожаров, запасы и мощность подстилки и количество ее подгоризонтов уменьшены. Минимальные запасы подстилки, вплоть до ее отсутствия, наблюдаются на участке гари 2017 г. «Пожарский», с очень высоким уровнем пирогенной нагрузки (15 пожаров за 20 лет) и малым временем – 3 месяца – с момента последнего пожара. Тенденция изменения запасов подстилки в остальных участках неоднозначна. Так, низкими запасами подстилки (370 г/м²) – характеризуется участок минимального пирогенного воздействия – «Придорожный» (только 3 пожара за 20 лет,

3 года с момента последнего пожара). Напротив, высокие величины запасов подстилки (680 г/м²) – обнаружены на участке «Тигровый» с высоким уровнем пирогенной нагрузки (8 пожаров за 20 лет, один год с момента последнего пожара). Средние величины запасов (555 г/м²) – выявлены для участка «Нарвский», характеризующегося высоким уровнем пирогенной нагрузки (7 пожаров за последние 20 лет, 3 года с момента последнего пожара). Выявленная тенденция может быть обусловлена особенностями формирования опада в постпирогенных биогеоценозах: при пожарах невысокой частоты (раз в 3–4 года) в промежутке между ними успевает сформироваться кустарниковый покров (*Lespedeza bicolor*) и подрост древесных растений (*Fraxinus rhynchophylla*, *Quercus mongolica*), который при следующем пожаре отмирает и его опад участвует в формировании подстилок. Менее частые пожары сокращают поступление органического вещества в подстилку указанным путем. Таким образом, среди гарей максимальное количество опада выявляется на участках со средним уровнем частоты пожаров: более редкие пожары не приводят к дополнительному поступлению органических веществ при высушивании кустарников, а более частые не допускают формирования кустарникового покрова.

Пирогенный приповерхностный органо-минеральный горизонт AU_{pr} выделяется в почвенном профиле за счет более темного цвета: цвет по шкале Манселла образца почвы в сухом состоянии 10YR 4/2, в сравнении с 10YR 4/3 для нижележаще-

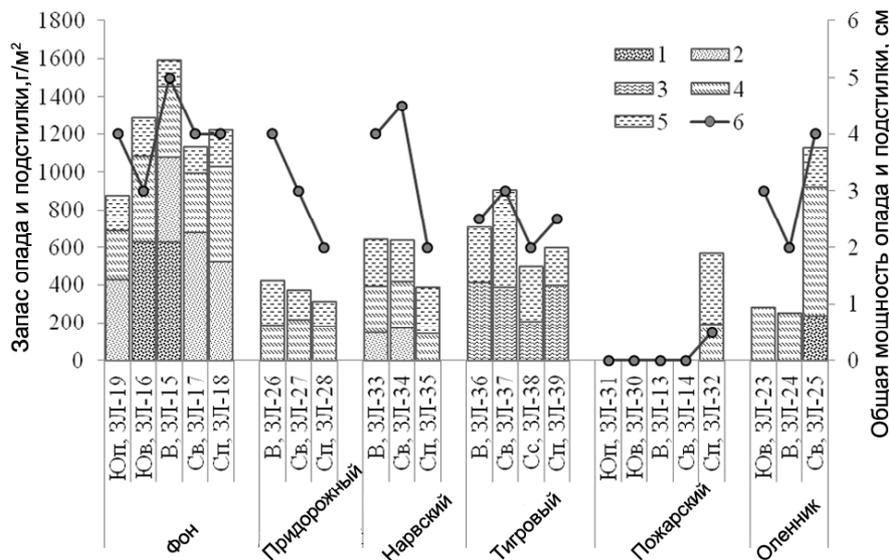


Рис. 2. Распределение опада и подстилки в исследуемых почвах. В – вершинные позиции, Св – склон северной экспозиции, верхняя часть, Сс – склон северной экспозиции, средняя часть, Сп – склон северной экспозиции, подножие, Юв – склон южной экспозиции, верхняя часть, Юп – склон южной экспозиции, подножие. Запас органических горизонтов в г/м²: 1 – оторфованная подстилка Ot, 2 – ферментированная подстилка Ol, 3 – обугленная подстилка O_{pr}, 4 – слаборазложившаяся лесная подстилка O, 5 – опад неразложившийся текущего года, 6 – общая мощность горизонтов опада и подстилки, см

Fig. 2. Distribution of leaf litter and debris layer in investigated soils. В – summit positions, Св – slopes of northern exposition, upper parts, Сс – slopes of northern exposition, middle parts, Сп – footslopes of northern exposition, Юв – slopes of southern exposition, upper parts, Юп – footslopes of southern exposition. Organic horizons yields, g/m²: 1 – peat-like debris, 2 – fermented debris Ol, 3 – charred debris O_{pr}, 4 – semi-decomposed debris O, 5 – undecomposed debris, 6 – total thickness of leaf litter and debris, cm

го горизонта AU. В горизонте присутствуют обильные включения угольков. За счет приповерхностного расположения горизонт насыщен корнями травянистых растений. Средняя мощность горизонта составляет 3 см, на участках с повышенной частотой горимостью она возрастает до 6 см. Данный горизонт обнаружен на большинстве ключевых участков, испытавших воздействие пожаров (рис. 3). Исключением является участок «Придорожный» (гарь 2014 г. с низкой частотой горения), в почвах которого данный горизонт не сформировался.

Соответственно, для формирования морфологически выделяемого горизонта необходима частота горения большая, чем 2 пожара за 10 лет. Причиной формирования пирогенного темногогумусового горизонта является включение в материал горизонта выпавших на поверхность почвы частиц углей и сажи за счет партлювации, вноса с дождями, зоо- и фитотурбаций. Замечено, что постпирогенный горизонт выражен лучше в почвах под луговой растительностью, в сравнении с лесной, вероятно за счет уменьшения интенсивности плоскостного смыва при повышенной задернованности верхнего слоя почвы.

Косвенное влияние пирогенного фактора на почвы проявляется в мощностях гумусовых горизонтов (рис. 3). В сравнении с фоновыми почвами, в большинстве послепожарных почв выявлено значимое возрастание их мощности: для фона среднее значение составило 8 см с варьированием от 6,5 до 10 см, а для участка гари Пожарский среднее составило 14 см с варьированием от 10 до 18 см. Отметим, что для участка Оленник, не испытывающего влияние пожаров с 1990-х гг., также выявлено возрастание глубин прогумусированности почв. Таким образом, увеличение мощности связано не столько с непосредственным воздействием огня, сколько с пирогенно обусловленной сменой растительности с лесной на луговую или лугово-лесную с соответствующим возрастанием количества корневого опада.

Органическое вещество почв. Выявлено существенное влияние пожаров на содержание и распределение органического углерода (ОУ) почв. В большинстве исследованных постпирогенных почв наблюдается увеличение содержания ОУ в сравнении с фоновыми почвами (табл. 2): так, средняя концентрация ОУ в гумусовых горизонтах пирогенных почв

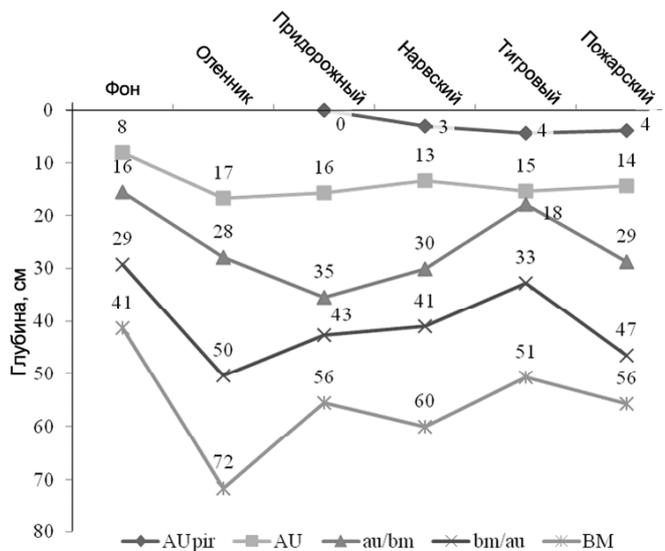


Рис. 3. Средние значения глубин генетических горизонтов для почв ключевых участков

Fig. 3. Mean depths of soil horizons for key areas

составила 5,4% ($N=15$, $\sigma=1,6\%$), а фоновых почв – 4,4% ($N=5$, $\sigma=0,8\%$). Добавим, что в почвах гарей в верхней части гумусового горизонта сформирован пирогенный подгоризонт AUpir, в котором содержание ОУ существенно повышено: среднее равно 10,4% при $N=15$ и $\sigma=2,8\%$.

Среди пирогенных почв наименьшее содержание органического углерода в гумусовых горизонтах выявлено для почв участка Пожарский, характеризующегося максимальной частотой пожаров. Частое или ежегодное выгорание приводит к формированию низкорослой разреженной травянистой растительности или редколесья без яруса подлеска с соответствующим сниженным количеством опада. Дополнительные потери органического углерода могут быть обусловлены сгоранием гумусового вещества и корневого материала почв. Возможно и подавление микробиологической деятельности, обуславливающей гумификацию растительных остатков [Prieto-Fernandezetal, 1998].

Самое большое содержание органического углерода гумусовых веществ выявлено в верхних го-

Таблица 2

Среднее содержание органического углерода (%) в буроземных почвах ключевых участков

Горизонт	Ключевой участок (количество разрезов)					
	Фон (4)	Придорожный (4)	Нарвский (3)	Тигровый (4)	Пожарский (5)	Оленник (3)
W, AUpir	—	13,6	9,6	11,0	7,9	9,9
AU	4,8	6,9	4,5	4,6	5,1	6,3
au/bm	3,3	4,4	2,7	1,9	3,4	4,3
bm/au	2,2	2,4	1,6	0,6	1,9	3,0
BM	1,6	—	1,1	—	1,4	2,1

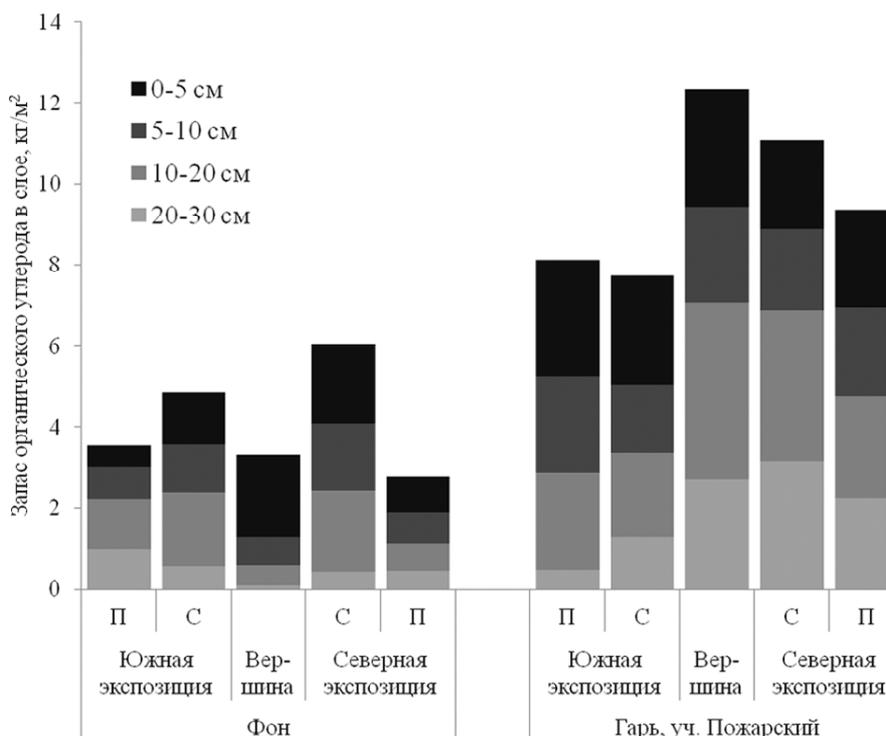


Рис. 4. Запасы органического углерода по слоям почв

Fig. 4. Organic carbon yields in soil layers

ризонтах почв участка Придорожный. Согласно литературным данным [Сапожников, Карпачевский, Ильина, 2001], через несколько лет после прохождения последнего пожара происходит усиление микробиологической активности, что приводит к усилению гумификации растительных остатков и накоплению гумуса в почвах.

В почвах гарей за счет возрастания концентраций ОУ и мощностей гумусовых горизонтов происходит существенное увеличение общих запасов органического углерода. Оценка запасов была проведена с учетом объема каменистости почв, сравнивались участки Фон и Пожарский (рис. 4).

Выявлено, что на участках гари запасы ОУ увеличиваются и в приповерхностном слое (0–5 см) и, в большей степени, в нижележащих слоях почвы (5–20 см). В постпирогенных почвах запасы органического углерода составляют в слое 0–30 см 4,1 кг/м² для фоновых почв и 9,7 кг/м² для почв гари. При этом разница в запасах органического углерода между фоновыми и пирогенными почвами возрастает с глубиной: в слое 0–5 см и 5–10 различия достигают двух раз, в слое 10–20 – 2,5 раз, в слое 20–30 см – четырех раз. Более значительное увеличение запасов ОУ на глубинах 10–30 см скорее всего обусловлено сменной растительной ассоциацией на травянистую и соответствующим увеличением корневой массы и корневого опада.

Магнитная восприимчивость почв и содержание оксалаторастворимого железа. В постпирогенных почвах содержание оксалаторастворимого железа несколько меньше, чем в фоновых почвах – среднее содержание в почвах исследуемой территории

составляет 1 г/100 г для фоновых почв и 0,8 г/100 г для постпирогенных почв (табл. 3). Уменьшение содержания оксалаторастворимого железа в почвах гарей можно объяснить тем, что в постпирогенных почвах, в условиях увеличивающегося по сравнению с фоном рН среды, металлы становятся более подвижными и легче поддаются выносу за пределы профиля, а также могут поглощаться растениями [Несговорова, Савельев, Иванцова, 2014].

Преимущественно распределение оксалаторастворимого железа по профилям почв иллювиальное или поверхностно-аккумулятивное. Исключением является почва на вершинной позиции фоновой катены (рис. 5), где обнаружено ясно выраженное глубинно-аккумулятивное распределение по профилю (максимум составляет 1,8 г/100 г в горизонте au/bm). Пирогенные горизонты во всех почвах гарей обеднены оксалаторастворимым железом по сравнению с нижележащими гумусовыми горизонтами (среднее содержание железа в горизонте AU_{rig} – 0,9 г/100 г, в горизонтах AU постпирогенных почв – 1,1 г/100 г).

После прохождения пожаров меняется характер распределения величин магнитной восприимчивости по профилю почв. Фоновые почвы характеризуются ее возрастанием с глубиной, что связано с богатством почвообразующих пород сильномагнитными минералами. В то же время, в ряде постпирогенных почв, особенно на участке гари 2017 г. с максимальной частотой пожаров, имеет место приповерхностная приуроченность наибольших значений магнитной восприимчивости. По мере увеличения возраста гари распределение магнитной восприимчивости в постпирогенных почвах приближается

Таблица 3

Содержание оксалаторастворимого железа в вытяжке Тамма, %

Горизонт	Ключевой участок					
	Фон		Пожарский		Нарвский	
	вершина	склон	вершина	склон	вершина	склон
W, AU _{pir}	–	–	1,1	0,8	0,7	1,0
AU	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2
au/bm	1,3	0,6	0,7	1,1	1,1	1,2
bm/au	1,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,6
BM	–	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3

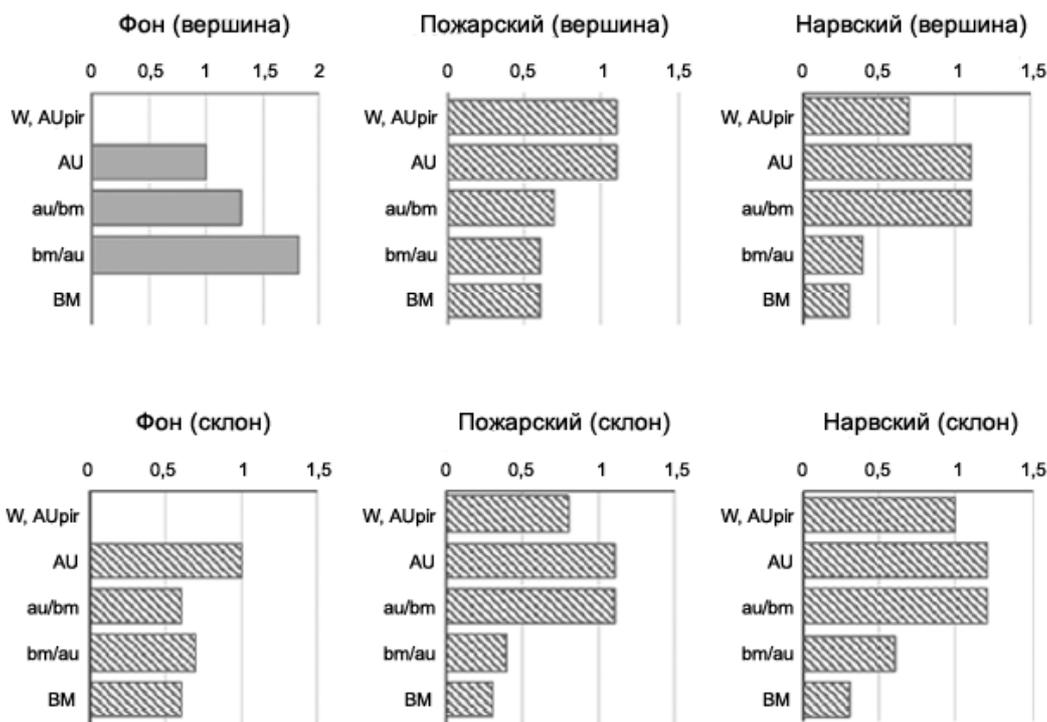


Рис. 5. Содержание оксалаторастворимого железа в фоновых и постпирогенных почвах, %

Fig. 5. Oxalate-soluble iron concentrations in background and post-fire soils, %

к фоновому. Так, уже на второй-третий годы после пожара явного поверхностного максимума не наблюдается. По абсолютным величинам магнитная восприимчивость оказывается близкой в фоновых и в постпирогенных почвах.

Значения pH. Прохождение низовых пожаров на юге Приморья влияет на значения pH. Их увеличение после прохождения пожара обусловлено единовременным поступлением большого количества зольных элементов в почвы.

Не горевшие почвы (Фон; Оленник) исследуемой территории характеризуются слабокислой реакцией среды, с равномерным распределением величин pH по профилю почв или небольшой тенденцией к увеличению в его нижней части (табл. 4). После прохождения пожара происходит увеличение значений pH на 0,5–2 единицы в верхних горизонтах и возникновения здесь максимумов значений pH. Послепожарные максимумы pH в приповерхност-

ных горизонтах характерны для всех почв гарей старше одного года (участки Придорожный, Нарвский, Тигровый). Распределение величин pH по профилям почв самой молодой гари (Пожарский) сходно с распределением в фоновых почвах (Фон; Оленник), где выявлено равномерное распределение, с небольшим увеличением в нижних горизонтах.

На участке Пожарский выявлена экспозиционная неоднородность значений pH. Для почв южных склонов характерной оказалась реакция среды 4,9–5,2, в то время как почвы вершинной позиции и северных склонов отличались самыми низкими (4,3–4,9) значениями pH среди постпирогенных почв. Согласно полученным данным, постпирогенные изменения величин pH в почвах сохраняются не менее 3 лет и не более 20 лет.

Полициклические ароматические углеводороды. Суммарное содержание ПАУ во всех почвах национального парка «Земля леопарда» и заповед-

Таблица 4

Величины рН водной суспензии исследуемых почв

Участок	Горизонт	Позиция в катене				
		Юп	Юв	В	Св	Сп
Фон	AU	4,5	4,3	3,6	5,0	4,9
	au/bm	4,7	4,6	4,0	4,5	4,8
	bm/au		4,5	4,0	5,6	4,7
	BM; BC		4,5		4,9	4,8
Придорожный	W, AU _{pir}			4,6	6,1	5,2
	AU			4,3	4,9	4,7
	au/bm			4,4	4,8	4,3
	bm/au; BM				4,9	4,8
Нарвский	AU _{pir}			5,1		5,5
	AU			4,6		4,7
	au/bm			4,9	4,7	4,8
	bm/au			4,9	4,5	4,9
	BM			4,9	4,5	5,1
Тигровый	O _{pir}				5,8	
	AU _{pir}			5,4	5,2	5,1
	au/bm			4,8	4,7	4,7
	bm/au			4,9	5,0	4,7
	BM			4,9	5,5	5,0
Пожарский	W, AU _{pir}	5,0	5,2	4,6	4,6	4,5
	AU	4,9	5,2	4,5	4,5	4,3
	au/bm	5,1	5,1	4,7	4,9	4,6
	bm/au	5,0	5,2	4,6	4,4	4,7
	BM		5,2	4,8		4,7
	BC					4,9
Оленник	W		5,2	4,7	5,0	
	AU		5,1	4,9	4,7	
	au/bm		5,6	5,0	5,1	
	bm/au			5,1	5,1	
	BM			5,2		

Примечание. В – вершинные позиции, Св – склон северной экспозиции, верхняя часть, Сп – склон северной экспозиции, подножие, Юв – склон южной экспозиции, верхняя часть, Юп – склон южной экспозиции, подножие.

ника «Кедровая падь» не превышали 170 нг/г, (рис. 6), что для природных территорий, где преобладающим источником ПАУ являются природные пожары, является значительным содержанием [Цибарт, Геннадиев, 2010]. При этом в постпирогенных почвах изученной территории выявлено некоторое увеличение содержания ПАУ по сравнению с фоновыми участками, которые концентрируются в самой верхней части почвы. Это наиболее заметно в почвах, горевших не более полугодом назад (участок Пожарский), в них среднее суммарное содержание полиаренов составляет 48 нг/г (диапазон 20–170 нг/г), при фоновом содержании 38 нг/г (диапазон 10–110 нг/г).

Поверхностно-аккумулятивное распределение суммы ПАУ по профилю почв, как правило, свойственное постпирогенным почвам [Цибарт, 2012], наблюдается только на участке Пожарский с высокой частотой горения. Максимумы ПАУ в пирогенных и гумусовых горизонтах достигают 170 нг/г на наиболее поврежденных огнем склонах южной экспозиции. Для почв участка Нарвский с меньшей частотой горения не характерны максимумы ПАУ в приповерхностном горизонте, распределение суммарного содержания полиаренов в них относительно рав-

номерное, с небольшим увеличением книзу (от 25–50 до 50–70 нг/г). Глубинно-аккумулятивное распределение ПАУ выявлено на участке Тигровый (15–30 нг/г в приповерхностных горизонтах и 37–70 нг/г в нижней части профиля), что, вероятно, обусловлено замедленным разложением полиаренов в переувлажненных условиях в нижней части профиля почв. В почвах запоевника на участке Фон и постпирогенных почвах участка Придорожный максимумы ПАУ (70–100 нг/г) были обнаружены в переходных от гумусовых к метаморфическим горизонтах (au/bm), а минимальные (20–60 нг/г) – в гумусовых горизонтах (AU).

С увеличением времени с момента прохождения низового пожара суммарное содержание полиаренов, качественный состав ПАУ и их распределение по профилю приближаются к фоновым показателям. В почвах гарей, пострадавших от огня более года назад, увеличение содержания ПАУ и их профильное распределение ближе к фоновым значениям, по сравнению с почвами гари текущего года.

Согласно полученным результатам, участок Придорожный с редкой частотой горения характеризуется более высокими средними концентрациями ПАУ, чем участок Нарвский с высокой частотой

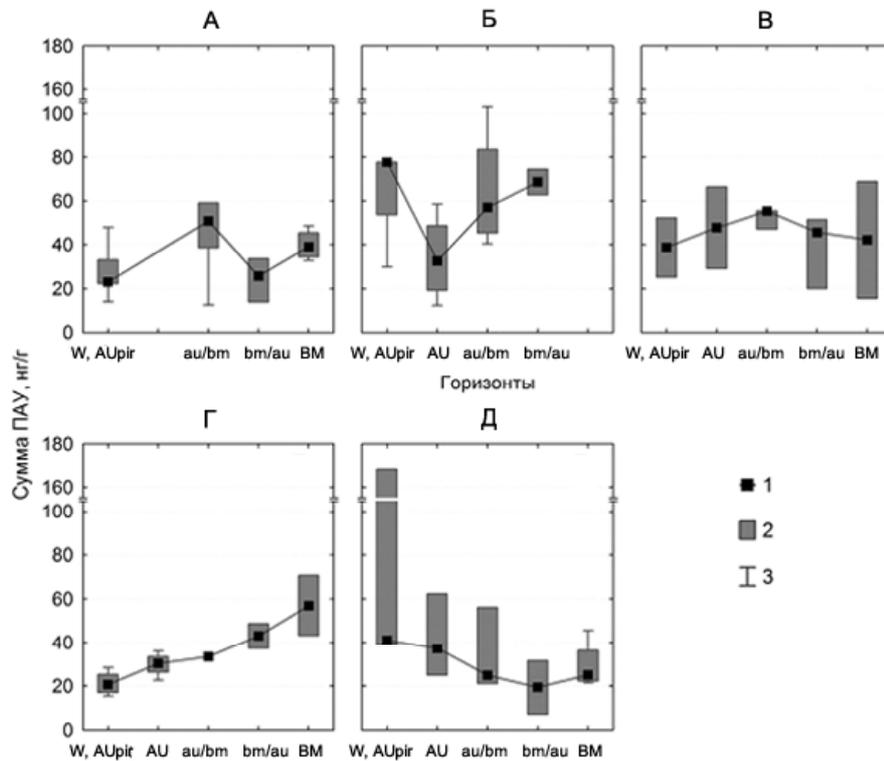


Рис. 6. Распределение суммы ПАУ по профилям почв на разных участках исследования: А – Фон, Б – Придорожный, В – Нарвский, Г – Тигровый, Д – Пожарский; 1 – медиана, 2 – межквартильный размах, 3 – диапазон значений от минимального до максимального
 Fig. 6. Total PAHs distribution in soil profiles of different key areas: А – background, Б – Pridorozhny, В – Narvsky, Г – Tigrovy, Д – Pozharsky; 1 – median, 2 – interquartile range, 3 – range of values from minimum to maximum

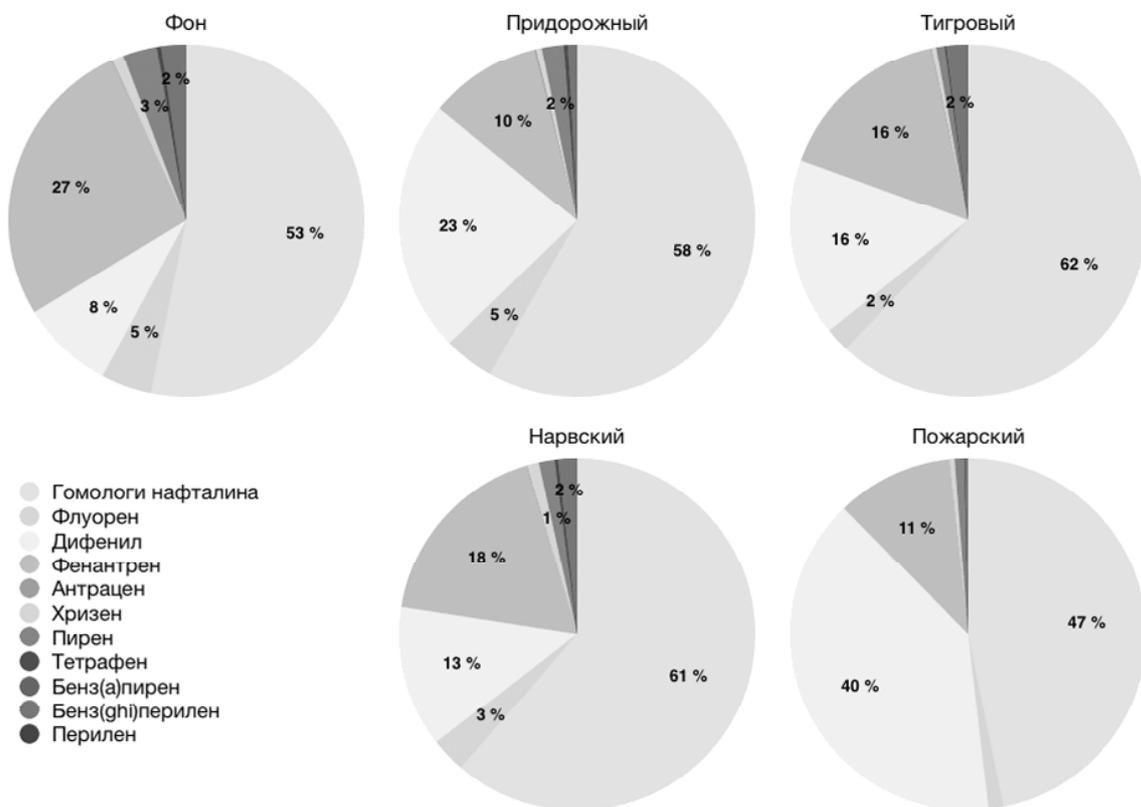


Рис. 7. Качественный состав ПАУ в почвах изученных участков
 Fig. 7. Qualitative composition of PAHs in soils of investigated key areas

той горения, но одинаковым временем последнего пожара. Вероятно, на участке с редкой частотой горения к моменту пожара 2014 г. сформировалось большее количество органического материала, подверженного горению, из-за чего происходило повышенное разовое поступление ПАУ.

Во всех изученных фоновых и постпирогенных почвах заповедника и национального парка преобладают легкие структуры полиаренов – гомологи нафталина, дифенил и фенантрен, что может служить показателем отсутствия крупных техногенных источников загрязнения ПАУ на изучаемой территории (рис. 7). Наибольшая доля тяжелых, 5- и 6-кольчатых соединений в фоновых и постпирогенных почвах наблюдается в приповерхностных горизонтах (AU, W ли AUpir). Тяготение тяжелых структур к верхней части профиля может указывать выпадение данных соединений в сорбированном состоянии из атмосферы. Данные ПАУ могут быть продуцированы как при пожарах, так и автомобильным или железнодорожным транспортом. Есть указание на то, что преобладание 6-кольчатого бенз(ghi)перилена над остальными тяжелыми (5- и 6-кольчатыми) структурами служит показателем автомобильного источника полиаренов [Menichini, 1992].

По мере увеличения частоты и уменьшения давности прохождения пожара абсолютное содержание и доля тяжелых структур в суммарном содержании ПАУ в постпирогенных почвах уменьшается (рис. 4), что подтверждает данные Дымова с соавт. [2015] и противоречит данным Цибарт и Геннадиева [2009]. Так, в пирогенных почвах на участках со средней и высокой частотой пожаров с возрастными гари более года (Придорожный, Нарвский, Тигровый) содержится 4–5% тяжелых структур от средней суммы ПАУ, а на участке с очень высокой частотой пожаров и возрастом гари менее года – только 1% (в 6–7 раз меньше данного показателя на участке

Фон), что также свидетельствует в пользу техногенного, а не пирогенного происхождения 4-, 5- и 6-кольчатых ПАУ на изучаемой территории.

Таким образом, в изученных почвах преобладают дифенилово-фенантreno-нафталиновая и нафталин-фенантreno-дифениловая ассоциации (выделены на рис. 8). При этом зависимости преобладания той или иной ассоциации от возраста гари, глубины, типа генетического горизонта выявлено не было.

Выводы:

На основании полученных данных о свойствах постпирогенных почв национального парка «Земля леопарда» и фоновых почв заповедника «Кедровая падь» можно сделать следующие выводы.

В постпирогенных почвах происходит увеличение содержания и запасов органического углерода, различия с фоновыми почвами достигают двух и более раз. При этом в случае частого выгорания растительного покрова содержание органического углерода в почвах оказывается более низким, чем на участках с менее частыми гарями.

В почвах, испытавших воздействие пожара, формируются приповерхностные максимумы величин магнитной восприимчивости, что, вероятно, связано с дегидратацией соединений железа в условиях высоких температур.

При нагревании во время пожара соединения железа переходят в окристаллизованную форму, в результате чего содержание оксалаторастворимых форм железистых соединений в пирогенных горизонтах почв становится меньшим, чем в нижележащих горизонтах.

Значения pH в постпирогенных почвах возрастают на 1–2 единицы в связи с поступлением в приповерхностные горизонты повышенного количества зольных элементов. Поверхностные горизонты становятся наименее кислыми во всем почвенном профиле. Увеличенные относительно фоновых величини

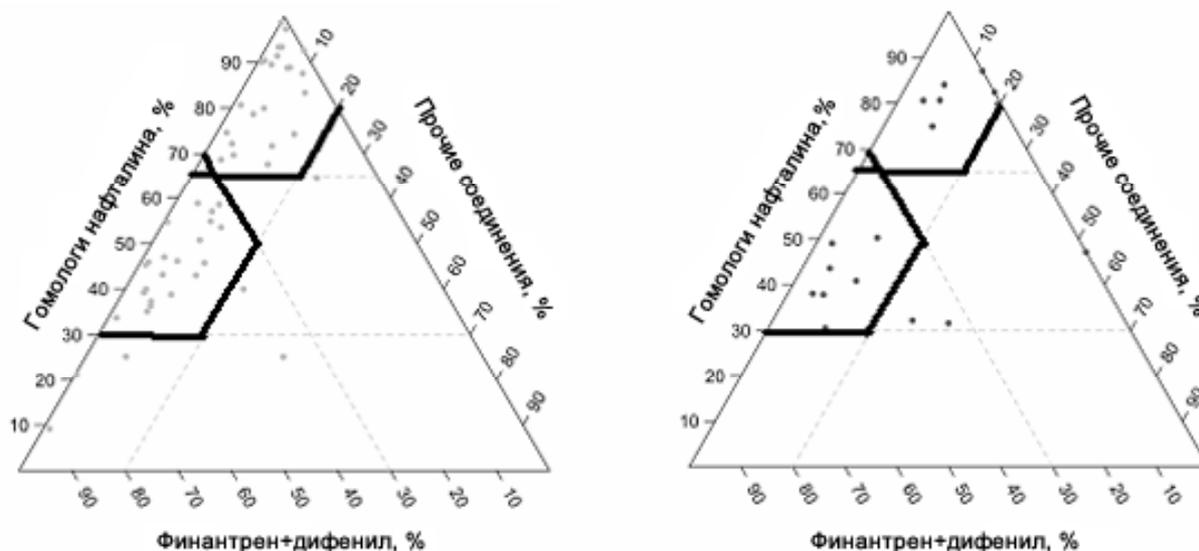


Рис. 8. Диаграмма качественного состава ПАУ в постпирогенных (слева) и фоновых (справа) почвах района исследования

Fig. 8. Qualitative composition of PAHs in post-fire (left) and background (right) soils of investigated area

ны рН наблюдаются более отчетливо в почвах вершин сопок и склонов южных экспозиций, в сравнении со склонами северных экспозиций.

После прохождения пожара в почвах обнаруживается слабое повышение концентраций ПАУ, при этом качественный состав ПАУ изменяется мало. И в пирогенных, и в фоновых почвах преобладают

легкие структуры полиаренов и доминируют фенантреново-дифенилово-нафталиновые ассоциации, что может быть показателем природного, а не техногенного происхождения ПАУ. По мере увеличения частоты и интенсивности горения участка в почвах обнаруживается большее содержание ПАУ и уменьшение доли тяжелых соединений.

Благодарности. Организационная и аналитическая работа для данной публикации выполнена за счет Российского научного фонда (проект РНФ № 14-17-00083).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бояркин Р.В., Костенков Н.М. Почвенный покров государственного заповедника «Кедровая падь» // Вестн. КрасГАУ. 2009. № 11. С. 34–38.
- Вадюнина А.Ф., Бабанин В.Ф. Магнитная восприимчивость некоторых почв СССР // Почвоведение. 1972. № 10. С. 55–66.
- Васильев Б.И., Шуваев А.С. Карта геологического строения южной части Приморского края // Четвертое геологическое управление. Картографическая фабрика Госгеолтехиздата Министерства геологии и охраны недр СССР, 1959.
- Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Цибарт А.С., Смирнова М.А. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1195–1209.
- Горбунова Ю.С., Девятова Т.А., Григорьевская А.Я. Состояние почвенного и растительного покрова березняка Усманского бора после пожара // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. Воронеж, 2013. № 2. С. 113–116.
- Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н., Жангуров Е.В., Низовцев Н.А. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество // Лесоведение. 2015. № 1. С. 52–62.
- Климат России – <https://www.meteoblue.co> (дата обращения 10.11.2017)
- Коган Р.М., Панина О.Ю. Исследование влияния лесных пожаров на почвы широколиственных лесов (на примере Еврейской автономной области) // Региональные проблемы. 2010. Т. 13. № 1. С. 67–70.
- Костенков Н.М., Жарикова Е.А., Качур А.Н. Почвенный покров национального парка «Земля леопарда» // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 5. С. 105–112.
- Костенков Н.М., Жарикова Е.А. Почвы прибрежной территории юго-западной части Приморья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 141–154.
- Краснощев Ю.Н. Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных лиственных почв Монголии // Монголия. 1994. № 9. С. 102–109.
- Макарычев С.В., Трофимов И.Т., Беховых Ю.В. Дерново-подзолистые почвы ленточных боров и особенности теплоаккумуляции и теплообмена в них после лесных пожаров // Вестн. Алтайского гос. аграрного ун-та. 2003. № 4. С. 92–94.
- Максимова Е.Ю., Абакумов Е.В. Зольный состав верхних горизонтов и основные биологические параметры почв Тольяттинского островного бора, и их изменение в результате действия лесных пожаров. // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. 2014. Сер. 3. Вып. 1.
- Максимова Е.Ю., Быкова Г.С., Абакумов Е.В. Характеристика физических свойств послепожарных почв // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5. С. 51–57.
- Микелл Д.Г., Мурзин А.А., Хетте М. Пожары и их влияние на популяцию дальневосточного леопарда на юго-западе Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2004. 33 с.
- Несоворова Н.П., Савельев В.Г., Иванцова Г.В. Изучение проблемы лесных пожаров как фактора экологической опасности: региональный аспект // Фундаментальные исследования. 2014. Т. 6. № 12. С. 1207–1211.
- Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. 2001. № 1. С. 132–164.
- Тарасов П.А., Иванов В.А., Иванова Г.А. Особенности температурного режима почв в сосняках средней тайги, пройденных низовыми пожарами // Хвойн. бореал. зоны. 2008. Т. 25. С. 300–304.
- Тарасов П.А., Михно А.С., Сизина А.Ф. Оценка пирогенного влияния на почвы ленточных боров Алтая // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 1. С. 26–30.
- Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
- Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора // Вестн. Моск. ун-та. 2009. № 3. С. 66–74.
- Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в фоновых и пирогенных почвах Приильменской низменности (Полистовский заповедник) // Наука и современность. Географические науки. 2010. С. 32–37.
- Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение // Почвоведение. 2013. № 7. С. 788–802.
- Цибарт А.С. Полициклические ароматические углеводороды в пирогенных почвах заповедных территорий (Хакасский заповедник) // География и природные ресурсы. 2012. № 2. С. 50–55.
- Шахматова Е.Ю. Пирогенность – ответная реакция почв сухих сосновых лесов на воздействие пожаров // Междунар. ж. прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5. С. 260–264.
- Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // Ecologia. 2005. С. 1–10.
- Khanna P.K. Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a Eucalyptus pauciflora forest // Soil Res. Aust. 1986. P. 423–434.
- Krestov P.V., Jong-Suk Song, Yukito Nakamura, Verkhohat V.P. A phytosociological survey of the deciduous temperate forests of mainland Northeast Asia // Phytocoenologia. Berlin-Stuttgart. 2006. V. 36(1). P. 77–150.
- Menichini E. Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: levels and sources of variability // Sci. Total Environ. 1992. V. 116. P. 109–135.
- Prieto-Fernández A., Acea M.J., Carballas T. Soil microbial and extractable C and N after wildfire // Biology and Fertility of Soils. 1998. V. 27(2). P. 132–142. (<https://doi.org/10.1007/s003740050411>)
- Ulery A.L., Graham R.C., Amrhein C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning // Soil Sci. 1993. 156 (5). P. 358–364.

Поступила в редакцию 15.10.2018
После доработки 19.11.2018
Принята к публикации 21.02.2019

V.M. Piskareva¹, T.S. Koshovskiy², E.A. Bisikalova³,
A.N. Gennadiev⁴, A.D. Belik⁵

**IMPACT OF WILDFIRES ON SOIL PROPERTIES
IN THE «LEOPARD'S LAND» NATIONAL PARK
(PRIMORSKY KRAY)**

We investigated soils of southern Primorye, which are affected by wildfires of different frequency. Comparing post-fire soils with background ones we found out specific features of their morphological, physical, chemical and physico-chemical properties. Due to fire-induced changes of plant communities (from forest to meadow) the organic matter content has increased from 5% to 7% and the humus horizon thickness from 8 to 14 cm. The organic matter stocks in 0–20 cm layer of post-fire soils are 3–4 times higher than in the background ones. After wildfires the pattern of magnetic susceptibility changes along the soil profile with the increase in subsurface layers. The pH values are 1–2 points higher in subsurface horizons of all investigated post-fire soils. As a result the upper layers become the least acid along the whole soil profile. Pyrogenic horizons contain less oxalate-soluble iron than the underlying ones. The post-fire soils have higher PAHs concentrations but the composition of PAH changes just slightly. Light polyarene structures are prevalent in all investigated soils with predominance of the phenanthren-diphenil-naftaline association which proves the natural rather than technogenic origin of PAHs.

Key words: post-fire soils, organic matter, pH, magnetic susceptibility, oxalate-soluble iron, polycyclic aromatic hydrocarbons

Acknowledgements. Administrative and analytical part of the current research was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00083).

REFERENCES

- Boyarkin R.V., Kostenkov N.M. Pochvennyj pokrov gosudarstvennogo zapovednika «Kedrovaya pad'» [Soil cover of «Kedrovaya Pad'» state nature reserve] // Vestn. KrasGAU. 2009. № 11. S. 34–38. (In Russian)
- Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // *Ecologia*. 2005. S. 1–10.
- Dymov A.A., Dubrovskij YU.A., Gabov D.N., ZHangurov E.V., Nizovcev N.A. Vliyanie pozhara v severotaeznom el'nike na organicheskoe veshchestvo pochvy [Fire impact on soil organic matter in the northern taiga spruce stand] // *Lesovedenie*. 2015. № 1. S. 52–62. (In Russian)
- Gennadiev A.N., Pikovskij U.I., Tsibart A.S., Smirnova M.A. Uglevodorody v pochvah: proiskhozhdenie, sostav, povedenie (obzor) [Hydrocarbons in soils: origin, composition, and behavior (Review)] // *Pochvovedenie*. 2015. № 10. S. 1195–1209. (In Russian)
- Gorbunova YU.S., Devyatova T.A., Grigor'evskaya A.YA. Sostoyanie pochvennogo i rastitel'nogo pokrova bereznyaka Usmanskogo bora posle pozhara [The post-fire state of soil and vegetation cover of birch stands in the Usman Bor forest] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geohkologiya. Voronezh*, 2013. № 2. S. 113–116. (In Russian)
- Khanna P.K. Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a Eucalyptus pauciflora forest // *Soil Res. Aust.* 1986. P. 423–434.
- Klimat Rossii [Climate of Russia] – <https://www.meteoblue.co> (data obrashcheniya 10.11.2017) [Accessed on 10.11.2017]
- Kogan R.M., Panina O.YU. Issledovanie vliyaniya lesnykh pozharov na pochvy shirokolistvennykh lesov (na primere Evrejskoj avtonomnoj oblasti) [Investigation of the forest fires influence on broad-leaved forest soils (case study of the Jewish Autonomous Oblast)] // *Regional'nye problemy*. 2010. T. 13. № 1. S. 67–70. (In Russian)
- Kostenkov N.M., Zharikova E.A., Kachur A.N. Pochvennyj pokrov nacional'nogo parka «Zemlya leoparda» [Soils of the «Leopard's Land» National Park] // *Vestnik DVO RAN*. 2013. № 5. S. 105–112. (In Russian)
- Kostenkov N.M., Zharikova E.A. Pochvy pribrezhnoj territorii yugo-zapadnoj chasti Primor'ya [Soil of the coastal land in the south-western part of the Primorskij Krai] // *Pochvovedenie*. 2018. № 2. S. 141–154. (In Russian)
- Krasnoshchekov Yu.N. Vliyanie pozharov na svojstva gornyh dernovo-taeznykh listvennichnikov Mongolii [Impact of fire on the properties of mountain soddy-taiga larch forests of Mongolia] // *Mongoliya*. 1994. № 9. S. 102–109. (In Russian)
- Krestov P.V., Jong-Suk Song, Yukito Nakamura, Verkholat V.P. A phytosociological survey of the deciduous temperate forests of mainland Northeast Asia // *Phytocoenologia*. Berlin-Stuttgart 20. 2006. V. 36(1). P. 77–150.
- ¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, technician; *e-mail*: v.m.piskareva@yandex.ru
- ² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Research Scientist; *e-mail*: tkzv@ya.ru
- ³ Joint Direction of Kedrovaya Pad' State Biosphere Nature Reserve and Leopard's Land National Park, Deputy Director for Science, PhD. in Biology; *e-mail*: bisikalova@leopard-land.ru
- ⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: alexagenna@mail.ru
- ⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, technician; *e-mail*: ms.anna.belik@gmail.com

Makarychev S.V., Trofimov I.T., Bekhovych Yu.V. Dernovo-podzolistye pochvy lentochnyh borov i osobennosti teploakkumulyatsii i teploobmena v nih posle lesnyh pozharov [Sod-podzolic soils of belt hogs and specific features of heat accumulation and heat exchange in them after forest fires] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2003. № 4. S. 92–94. (In Russian)

Maksimova E.Yu., Abakumov E.V. Zol'nyj sostav verhnih gorizontov i osnovnye biologicheskie parametry pochv Tol'yattinskogo ostrovnogo bora, i ih izmenenie v rezul'tate dejstviya lesnyh pozharov [Ash composition of upper soil horizons and the biological parameters of soils of the Tolyatti island pine forest and their changes due to forest fires] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. 2014. Ser. 3. Vyp. 1. (In Russian)

Maksimova E.Yu., Bykova G.S., Abakumov E.V. Charakteristika fizicheskikh svojstv poslepozharnyh pochv [The characteristic of physical properties of post-fire soils] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2014. T. 16. № 5. S. 51–57. (In Russian)

Menichini E. Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: levels and sources of variability // Sci. Total Environ. 1992. V. 116. P. 109–135.

Mikell, D.G., Murzin A.A., Hette M. Pozhary i ih vliyanie na po-pulyaciyu dal'nevostochnogo leoparda na yugo-zapade Primorskogo kraya [Fires and their impact on the population of the Amur leopard in the south-western Primorye]. Vladivostok: Dal'nauka. 2004. 33 s. (In Russian)

Nesgovorova N.P., Savel'ev V.G., Ivancova G.V. Izuchenie problemy lesnyh pozharov kak faktora ehkologicheskoy opasnosti: regional'nyj aspekt [Study of forest fires problem as a factor of environmental hazards: regional dimension] // Fundamental'nye issledovaniya. 2014. T. 6. № 12. S. 1207–1211. (In Russian)

Polevoj opredelitel' pochv Rossii [Field guide of Russian soils]. M.: Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva, 2008. 182 s. (In Russian)

Prieto-Fernández A., Acea M.J., Carballas T. Soil microbial and extractable C and N after wildfire // Biology and Fertility of Soils. 1998. V. 27(2). P. 132–142. (<https://doi.org/10.1007/s003740050411>)

Sapozhnikov A.P., Karpachevskij L.O., Il'ina L.S. Poslepozharное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах [Post-fire soil formation in Siberian pine-broadleaved forests] // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoj vestnik. 2001. № 1. S. 132–164. (In Russian)

Shahmatova E.Yu. Pirogennost' – tsvetnaya reakciya pochv suhikh osnovnyh lesov na vozdejstvie pozharov [Pyrogenicity as a response of the soils of dry pine forests on fire impact] // Mezhdunar. zhurn. prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2015. № 5. S. 260–264. (In Russian)

Tarasov P.A., Ivanov V.A., Ivanova G.A. Osobennosti temperaturnogo rezhima pochv v sosnyakah srednej tajgi, projdennyh nizovymi pozharami [Specific features of soil temperature regime in the middle-taiga pine forests after ground fires] // Hvojn. boreal. zony. 2008. T. 25. S. 300–304. (In Russian)

Tarasov P.A., Mihno A.S., Sizina A.F. Ocenka pirogenno vliyaniya na pochvy lentochnyh borov Altaya [Estimation of pyrogenic influence on the soils of band pine forests of the Altai Mountains] // Vestnik KrasGAU. 2011. № 1. S. 6–30. (In Russian)

Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Vliyanie pozharov na svojstva lesnyh pochv Priamur'ya (Norskij zapovednik) [The Influence of Fires on the Properties of Forest Soils in the Amur River Basin (the Norskii Reserve)] // Pochvovedenie. 2008. № 7. S. 783–792. (In Russian)

Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Napravlenost' izmeneniya lesnyh pochv Priamur'ya pod vozdejstviem pirogenno faktora [Trend of forest soils transformation under the influence of pyrogenic factor in the Amur River region] // Vestnik Moskovskogo universiteta. 2009. № 3. S. 66–74. (In Russian)

Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Policiklicheskie aromatische uglevodorody v fonovyh i pirogenykh pochvakh Priil'menskoj nizmennosti (Polistovskij zapovednik) [Polycyclic aromatic hydrocarbons in background and post-fire soils of the Near-Imlen Lowland (the Polistov Reserve)] // Nauka i sovremennost'. Geograficheskie nauki. 2010. S. 32–37. (In Russian)

Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Policiklicheskie aromatische uglevodorody v pochvakh: istochniki, povedenie, indikacionnoe znachenie [Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: sources, behavior, and indication significance (a review)] // Pochvovedenie. 2013. № 7. S. 788–802. (In Russian)

Tsibart A.S. Policiklicheskie aromatische uglevodorody v pirogenykh pochvakh zapovednyh territorij (Hakasskij zapovednik) [Polycyclic aromatic hydrocarbons in post-fire soils of reserves (the Hakass Reserve)] // Geografiya i prirodnye resursy. 2012. № 2. S. 50–55. (In Russian)

Ulery A.L., Graham R.C., Amrhein C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning // Soil Sci. 1993. V. 156 (5). P. 358–364.

Vadyunina A.F., Babanin V.F. Magnitnaya vospriimchivost' nekotoryh pochv SSSR. [Magnetic susceptibility of some soil in the USSR] // Pochvovedenie. 1972. № 10. S. 55–66. (In Russian)

Vasil'ev B.I., Shuvaev A.S. Karta geologicheskogo stroeniya yuzhnoj chasti Primorskogo kraya. [Geological map of the southern part of Primorskij Kray] / Chetvertoe geologicheskoe upravlenie / Kartograficheskaya fabrika Gosgeoltekhizdata Ministerstva geologii i ohrany nedr SSSR. 1959. (In Russian)

Received 15.10.2018

Revised 19.11.2018

Accepted 21.02.2019