

Б.Ф. ПШЕНИЧНИКОВ, Н.Ф. ПШЕНИЧНИКОВА, А.С. ЯКШИНА

Влияние пирогенного фактора на содержание тяжелых металлов в буроземах побережья юго-востока Приморья

Рассматривается влияние пирогенного фактора на содержание тяжелых металлов (свинца, цинка, кадмия, никеля, меди, кобальта, хрома, марганца) и их внутрипрофильное распределение в буроземах под разной растительностью. Исследования проводились на мысе Островной и сопредельной территории япономорского побережья, прилегающей к пос. Заповедный Лазовского района Приморского края.

Установлено, что в буроземах гари по сравнению с почвами сопредельных участков под дубовым лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками наблюдается увеличение содержания рассматриваемых тяжелых металлов, что, вероятно, связано с их дополнительным поступлением с золой. Показано, что для буроземов гари характерны более высокие коэффициенты концентрации (K_c) свинца, цинка, кадмия, меди и марганца по сравнению с буроземами под лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками. Отмечены различия в поведении элементов: свинец, кадмий, кобальт закрепляются преимущественно в аккумулятивно-гумусовых горизонтах, тогда как никель, цинк, медь, хром и марганец мигрируют вниз по профилю в иллювиально-гумусовые горизонты.

Подсчет суммарного показателя загрязнения Саета показал, что в буроземах гари фиксируется допустимый (низкий) уровень загрязнения в поверхностном аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасный – в иллювиальной части профиля. Однако применение поправочного коэффициента на токсичность элемента (K_m) при подсчете суммарного показателя загрязнения увеличивает K_c элементов, относящихся к I классу опасности – свинца, цинка и кадмия. Поэтому, несмотря на допустимый (низкий) и умеренно опасный уровни загрязнения, в данном случае следует обращать особое внимание на класс опасности загрязнителей.

Ключевые слова: бурозем, растительность, пожары, тяжелые металлы, коэффициент концентрации, уровень загрязнения.

Impact of pyrogenic factors on heavy metal content in burozems of South-Eastern coast of Primorye. B.F. PSHENICHNIKOV¹, N.F. PSHENICHNIKOVA², A.S. YAKSHINA¹ (¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, ²Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Vladivostok).

The research focuses on the impact of pyrogenic factor on heavy metal content (lead, zinc, cadmium, nickel, copper, cobalt, chromium and manganese) and its profile distribution in burozems under different types of vegetation in the Ostrovnoy Cape (the Sea of Japan) and the bordering territory, close to Zapovedny settlement of Lazovsky District (Primorsky Krai).

The results show that burozems of the burnt forest areas if compared to burozems of adjacent oak forests and grass-shrub communities demonstrate increased heavy metal levels, most likely due to heavy metal introduction with burnt down plant remains. Burozems of the burnt forest areas have higher concentration coefficients (C_c) of lead, zinc, cadmium, copper, and manganese than burozems of the forests and grass-shrub communities unexposed to fires. Of all the elements under study, lead, cadmium, and cobalt tend to accumulate most in accumulative-humus horizons while nickel, zinc, copper, chromium, and manganese migrate down the soil profile into humic-illuvial horizons.

*ПШЕНИЧНИКОВ Борис Федорович – доктор биологических наук, профессор, ЯКШИНА Александра Сергеевна – магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ПШЕНИЧНИКОВА Нина Федоровна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: bkinbf@mail.ru

Integral index of pollution (Zc) values show that burozems of the fire-sites have permissible (low) level of heavy metal pollution in the upper accumulative-humus part of the soil profile and moderately hazardous level in the middle illuvial part. However, element toxicity correction factor (Ct), when calculating integral index of pollution, increases Cc values for lead, zinc, and cadmium as hazard category 1 substances. Therefore, in this case special attention should be paid to the pollutant hazard category (extremely hazardous substances) regardless of the permissible (low) and moderately hazardous pollution levels.

Key words: burozem, vegetation, fires, heavy metals, concentration coefficient, pollution level.

Введение

Проблема сезонных лесных пожаров, которым подвержена почти треть территории Приморья [24, 26], в том числе и ее приокеаническая часть, приобретает все большую актуальность.

Среди лесных экосистем юга Дальнего Востока прибрежно-островные территории региона выделяются оптимальностью эколого-географических условий для возникновения и распространения пожаров. Экологическими предпосылками повышенной пожароопасности являются: 1) характерная черта климата – низкая влажность воздуха в весенне-осенний период в сочетании с большой интенсивностью ветра; 2) широкая распространенность, по сравнению с другими лиственными породами, дубняков и сухость местообитаний [17].

Лесные пожары не только уничтожают растительные ресурсы, они изменяют экологическую ситуацию и состояние всех компонентов ландшафта. Почвенный покров, концентрирующий в себе защитные и буферные функции геосистем, является интегральным показателем их состояния. Почва отражает не только современный комплекс факторов почвообразования, но и их прошлое состояние [21]. Так, исследования А.П. Сапожникова с соавторами [19] свидетельствуют том, что в строении почвенного профиля даже по истечении 80 лет сохраняются следы пожаров, особенно в его биогенной части.

Накопленный к настоящему времени материал позволяет выделить вопрос о влиянии лесных пожаров на почвенно-растительный покров в самостоятельную проблему лесоводства и почвоведения – пирогенез лесных почв. Его изучение имеет теоретическое и практическое значение при разработке вопросов динамики послепожарной экологии и почвообразования [20]. Вопросам влияния пожаров на состояние и динамику почвенно-растительного покрова, специфики постпирогенного почвообразования посвящено значительное количество публикаций, касающихся исследований в пределах отдельных регионов Дальнего Востока [8–12, 19, 25]. Тем не менее пирогенная трансформация свойств почв изучена недостаточно, результаты исследований бывают противоречивы, возникает необходимость анализа данного явления в широком географическом аспекте [25].

В этой связи уместно сказать, что до настоящего времени не выявлены региональные особенности последствий пирогенеза почв прибрежно-островной зоны Японского моря, в частности постпирогенные изменения микроэлементного состава этих почв.

Известно, что прогрессирующее изменение природной среды в результате различных видов антропогенного воздействия приводит к загрязнению почвенного покрова тяжелыми металлами, что создает экологическую опасность [2]. Немаловажная роль в этом процессе принадлежит пожарам. Исследования Р.М. Коган и О.Ю. Паниной [10] показывают, что в результате лесных пожаров в почвах накапливаются токсичные вещества, отрицательно влияющие на развитие растительности и оказывающие значительный фитотоксический эффект.

В настоящей работе приводятся оригинальные данные исследований буроземов мыса Островной и сопредельной территории на юге-востоке Приморья, расширяющие представления о влиянии пожаров на экологическое состояние почв, в частности на содержание в них тяжелых металлов.

Объект и методы исследований

Исследования проводились в прибрежной части восточного макросклона южного Сихотэ-Алиня – на мысе Островной и сопредельной территории япономорского побережья, прилегающей к пос. Заповедный Лазовского района Приморья. Рельеф территории низкогорный с высотами от 100 до 300 м над ур. м. при крутизне склонов от 3 до 45°. Климат теплый, избыточно влажный. Он во многом определяется влиянием Японского моря, поэтому зима более мягкая, а лето несколько прохладнее, чем в континентальной части края. Специфической чертой климата рассматриваемого района является низкая влажность воздуха в весенне-осенний период, что обуславливает повышенную пожароопасность территории. Географическое местоположение района исследования предопределяет наиболее активное воздействие кислых атмосферных осадков, приносимых южными и юго-восточными ветрами с морской акватории, что создает оптимальные условия для внутрипрофильной дифференциации продуктов выветривания и почвообразования. Преобладающими типами растительности в районе исследований являются вторичные дубовые леса и их антропогенные производные, возникшие в результате рубок и пожаров [16].

Для выявления влияния пожаров на содержание тяжелых металлов и их внутрипрофильное распределение в почвах рассматриваемой территории были изучены буроземы на сопредельных участках: под дубовыми лесами и их антропогенными производными – разнотравно-кустарниковыми группировками и под гарью.

Буроземы, развитые под дубовыми лесами, формируются на хорошо дренируемых склонах и вершинах гор и имеют следующий набор генетических горизонтов: O–AY–BM1f,hi–BM2f,hi–BMC. Они характеризуются сравнительно небольшой мощностью как самого профиля (60–100 см), так и аккумулятивно-гумусового горизонта (8–16 см). Отличительной чертой этих буроземов является коричнево-бурая окраска иллювиально-гумусового горизонта (рис. 1).

Под антропогенными сукцессиями дубовых лесов формируются буроземы темные, существенно отличающиеся по морфологическому строению от вышеописанных. Для буроземов, развитых под разнотравно-кустарниковыми группировками, характерен профиль O–AU–BM1hi–BM2hi–BMC. Они выделяются большей мощностью аккумулятивно-гумусового (17–25 см) и иллювиально-гумусового (20–60 см) горизонтов, а также характерной для последнего темно-серой, серой окраской (рис. 2). Подобные почвы распространены не только в прибрежной части юго-восточного Приморья, но и в других районах прибрежно-островной зоны япономорского побережья [18].

На территории гари распространены буроземы темные пирогенные с профилем O_{rig}–AU_{pir}–BM_{hi,pir}–BMC. Характерными чертами профиля этих почв являются черная окраска горизонтов AU_{pir} (6–31 см), BM_{hi,pir} (31–51 см) и их повышенная гумусированность, что в определенной степени связано с наличием в них включений тонкодисперсных частичек древесного угля (рис. 3).

В ходе исследований использовали сравнительно-географический, профильно-генетический методы. Физико-химические анализы выполняли по общепринятым в почвоведении методикам. Определение кислоторастворимых форм тяжелых металлов и марганца проводили методом атомно-адсорбционной спектроскопии в вытяжке после обработки почвы 5 М азотной кислотой¹. Содержание тяжелых металлов, извлекаемых таким образом, приравнивают, согласно нормативам в методических указаниях², к их валовому содержанию или, согласно [15], к «условно валовому», «ложноваловому». В качестве

¹ РД 52.18.191–89. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом: Методические указания. М., 1990. 32 с.

² Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.

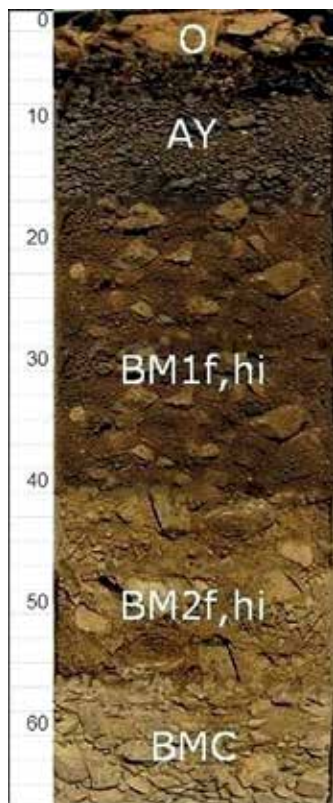


Рис. 1. Буроземы под дубовым лесом.

Разрез 5-04 заложен в 50 м от берегового обрыва к морю. Координаты: 42°83'50" с.ш., 133°69'69" в.д.

Макрорельеф: прибрежный отрог южного Сихотэ-Алиня; мезорельеф: привершинная часть юго-западного склона, крутизна 13°, микрорельеф: слабовыраженные приствольные повышения.

Растительность: дубовый лес с примесью липы, березы, клена; кустарник редкий из лещины; травяной напочвенный покров (проективное покрытие до 30 %) включает осоку низенькую, папоротник орляк, калию ушастую.

O – подстилка; AY – серогумусовый горизонт; BM1f,hi и BM2f,hi – иллювиально-гумусовые горизонты с наличием гумусово-железистых пленок; BMC – переходный к почвообразующей породе горизонт

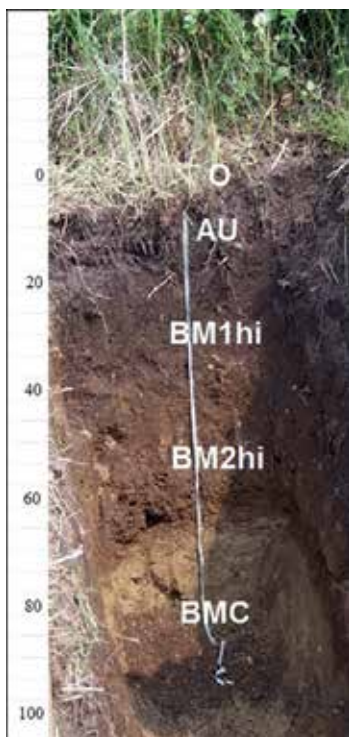


Рис. 2. Буроземы темные под разнотравно-кустарниковыми группировками.

Разрез 1-05 заложен на мысе Островной, в 20 м западнее берегового уступа. Координаты: 42°81'17" с.ш., 133°72'77" в.д.

Макрорельеф: прибрежный отрог южной части Сихотэ-Алиня; мезорельеф: склон южной экспозиции, крутизной 7°; микрорельеф: слабовыраженные приствольные повышения.

Растительность: разнотравно-кустарниковая с порослью дуба; кустарниковый ярус представлен шиповником; травяной покров (проективное покрытие 100 %) включает полынь Кейске, мятлик, мискантус, подорожник, чертополох, лопух, ландыш.

O – подстилка; AU – темногумусовый горизонт; BM1hi и BM2hi – иллювиально-гумусовые горизонты; BMC – переходный к почвообразующей породе горизонт



Рис. 3. Буроземы темные пирогенные под гарью.

Разрез 13-04 заложен в 200 м восточнее берега моря. Координаты: 42°83'86" с.ш., 133°69'87" в.д.

Макрорельеф: прибрежный отрог южной части Сихотэ-Алинского хребта; мезорельеф: нижняя часть северо-западного склона, крутизной 14°; микрорельеф: слабовыраженные приствольные повышения.

Растительность: гать с возобновлением древостоя из лещины и липы с примесью дуба, березы, клена, яблони (со следами неоднократного воздействия низовых пожаров); в напочвенном покрове (проективное покрытие 25–30 %) – осока, папоротник, ландыш, майник, полынь Кейске, мышинный горошек.

Opir – подстилка пирогенная; AUpir – темногумусовый пирогенный горизонт; BMhi,pir – иллювиально-гумусовый пирогенный горизонт; BMC – переходный к почвообразующей породе горизонт

фонового уровня в литературных источниках [6] используется региональный средний уровень, а при его отсутствии – кларк, или среднемировое содержание данного элемента в почве³. Нами при интерпретации полученных данных в качестве фонового содержания использовались откорректированные региональные величины кларков микроэлементов для почв Приморья [7], близкие к максимальным фоновым содержаниям кислоторастворимых форм тяжелых металлов в буроземах юга Сихотэ-Алиня [1].

Результаты и их интерпретация

Физико-химические показатели исследуемых буроземов (обменная и гидролитическая кислотность, гумусированность, степень насыщенности основаниями) обусловлены различиями в растительности [16] (табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические свойства буроземов побережья юго-востока Приморья

Горизонт	Глубина, см	рН		Гумус по Тюрину, %	ГК*	Поглощенные катионы по Гедройцу*			V, %	C _{гк} / C _{фк}	R ₂ O ₃ по Тамму, %
		H ₂ O	KCl			H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
Буроземы под дубовым лесом, разрез 5-04											
AУ	6–14	6,0	3,9	14,08	22,75	8,14	9,48	6,58	66	0,78	1,59
BM1f,hi	15–25	5,1	4,0	6,12	21,00	7,41	2,66	0,72	31	0,53	2,36
BM2f,hi	40–50	5,3	4,0	2,03	16,63	6,95	0,52	1,47	22	0,32	1,02
BMC	75–85	5,3	3,9	1,81	17,94	8,02	0,57	3,78	35	0,44	1,84
Буроземы под разнотравно-кустарниковыми группировками, разрез 1-05											
AU	7–17	5,0	4,1	18,39	20,13	8,64	6,23	6,23	59	1,20	1,37
BM1hi	25–35	5,1	4,1	6,46	19,25	10,92	2,13	1,36	24	1,67	1,83
BM2hi	50–60	5,2	4,2	3,71	16,19	10,04	0,64	2,09	21	0,59	1,64
BMC	80–90	5,4	4,1	2,20	11,81	6,23	0,73	1,69	28	0,74	1,65
Буроземы гари, разрез 13-04											
AUpir	15–25	5,5	4,7	13,95	16,63	5,86	23,81	1,87	81	1,15	1,92
BMhi,pir	35–45	6,0	4,9	10,09	10,50	1,18	19,62	3,77	94	1,09	1,78
BMC	56–66	6,2	4,5	0,87	4,81	0,51	10,16	11,16	98	0,09	1,80

*Ммоль(экв)/100 г.

Примечание: ГК – гидролитическая кислотность. V – степень насыщенности основаниями. C_{гк} / C_{фк} – отношение содержания углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот.

Буроземы под дубовыми лесами характеризуются большими величинами обменной и гидролитической кислотности, меньшими гумусированностью и степенью насыщенности основаниями, большей подвижностью гумуса, чем буроземы разнотравно-кустарниковых группировок и гари. Буроземы гари, в отличие от буроземов дубового леса и разнотравно-кустарниковых группировок, выделяются значительно большим содержанием органического вещества в иллювиальной части профиля. Своеобразие морфологического облика буроземов различных биогеоценозов предопределяется существенными различиями в процессах гумусообразования. В буроземах дубовых лесов гумусообразование идет по

³ Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязнения промышленными выбросами / сост. И.Г. Важенин. М.: Почв. ин-т. им. В.В. Докучаева, 1987. 25 с.

гуматно-фульватному типу ($C_{гк} / C_{фк} = 0,78$), а в буроземах разнотравно-кустарниковых зарослей и гари – по фульватно-гуматному ($C_{гк} / C_{фк} = 1,20; 1,15$). В буроземах под дубовыми лесами максимальное осаждение агрессивной фракции фульвокислот в иллювиально-гумусовом горизонте совпадает с максимумом содержания оксалоторастворимых оксидов железа, что в определенной степени и обеспечивает их коричнево-бурую окраску. В буроземах под разнотравно-кустарниковыми группировками и гари в иллювиально-гумусовых горизонтах наряду с агрессивной фракцией фульвокислот осаждаются фракции гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием, которые и придают им темно-серые цвета окраски [16].

Проведенные исследования свидетельствуют как об определенном сходстве, так и о существенных различиях в содержании и внутрипрофильном распределении тяжелых металлов в почвах на участках с различной растительностью: дубовым лесом, разнотравно-кустарниковыми группировками и гарью (рис. 4).

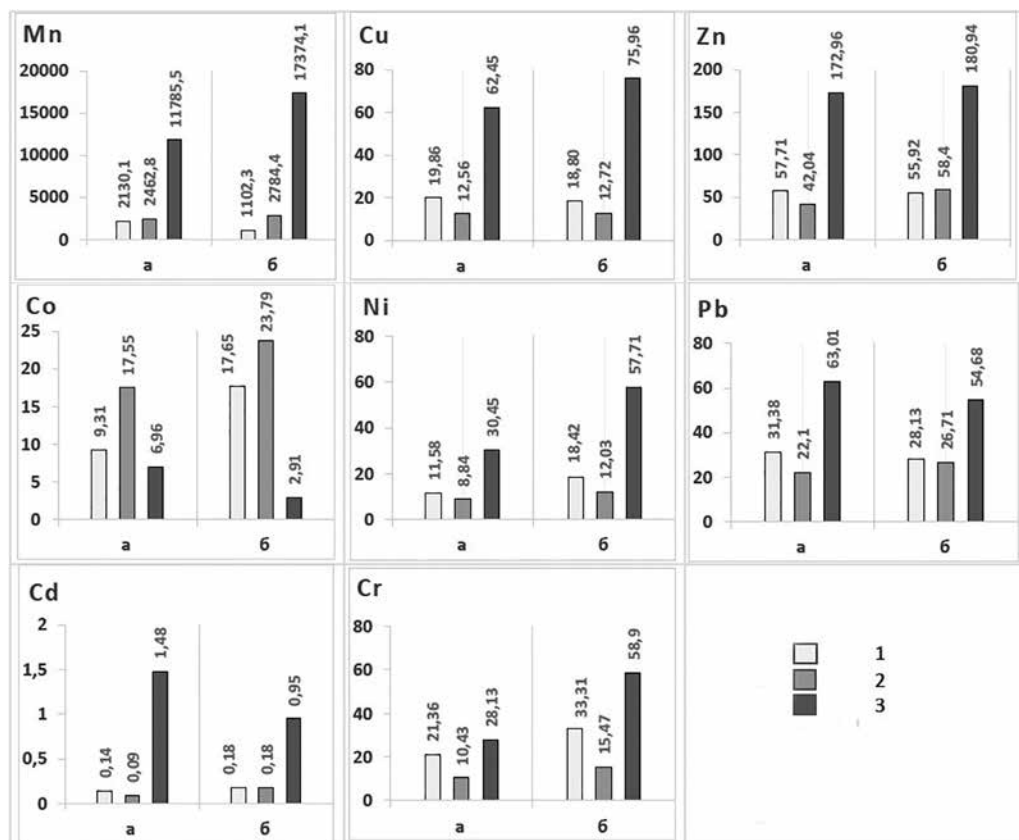


Рис. 4. Содержание (мг/кг) тяжелых металлов в аккумулятивно-гумусовых (а) и иллювиально-гумусовых (б) горизонтах буроземов мыса Островной и сопредельной территории японморского побережья. 1 – дубовый лес, 2 – травяно-кустарниковые группировки, 3 – гарь

Содержание **марганца** в аккумулятивно-гумусовых горизонтах буроземов под дубовым лесом и под разнотравно-кустарниковыми группировками близко к фоновому. В буроземах на пирогенном участке оно в 5–8 раз больше и значительно превышает откорректированную величину кларка для почв Приморья [7] и максимальное фоновое содержание марганца для почв юга Сихотэ-Алиня [1]. Можно предположить, что отмеченные различия связаны с поступлением марганца с золой в почву на пирогенном участке, что, конечно, требует дополнительных исследований в этом направлении. Кроме того, не исключено

влияние на микроэлементный состав почв аккумуляции этого элемента за счет процессов биологического накопления [14].

Внутрипрофильное распределение марганца в буроземах сравниваемых участков имеет разный характер. Так, для буроземов под дубовым лесом характерен аккумулятивный тип распределения с максимумом содержания марганца в горизонте АУ и резким, почти вдвое, снижением его в иллювиальной части профиля. Напротив, под разнотравно-кустарниковыми группировками имеет место слабо выраженная элюво-иллювиальная дифференциация, а в буроземах гари она резко выражена. В последних содержание марганца в иллювиально-гумусовом горизонте выше в 1,5 раза, чем в гумусовом горизонте. Накопление марганца в иллювиальной части буроземов гари связано с повышенным содержанием в ней гумуса и пылевой фракции, способных к значительной аккумуляции этого элемента [3, 4, 27].

Итак, четко фиксируется значительное преобладание содержания марганца по всему профилю в буроземах на пирогенном участке. Ряд авторов [22] также отмечают специфическую особенность почв Дальневосточного региона, проявляющуюся в повышенном естественно-природном уровне отдельных элементов, в том числе марганца, по сравнению с почвами других регионов России.

Относительно содержания **меди** в профиле почв на рассматриваемой территории отмечены закономерности, сходные с вышеописанными: наименьшие показатели фиксируются на участке под разнотравно-кустарниковой растительностью, несколько большие – под дубовым лесом. При этом в пределах профилей этих буроземов оно практически не изменяется. Буроземы же пирогенного участка резко выделяются повышенным содержанием меди по всему профилю с элюво-иллювиальным характером ее внутрипрофильного распределения. Это обусловлено органомфильностью данного элемента, т.е. его основная доля связывается органическими соединениями [3, 4], что согласуется с результатами, полученными другими исследователями для почв юга Приморья [13, 23]. Немаловажная роль в фиксации меди принадлежит марганцу, активно связывающему ее катионы.

Распределение **цинка** по профилю буроземов под дубовым лесом близко к стабильному, а под разнотравно-кустарниковыми зарослями и на гари оно имеет элюво-иллювиальный характер. В буроземах на пирогенном участке содержание цинка превышает фоновое значение в 2,5 раза, что также может быть связано с его пирогенным поступлением. Кроме того, цинк активно адсорбируется органическими компонентами [27].

Содержание **кобальта** в буроземах под лесом меньше фонового уровня и имеет элюво-иллювиальное внутрипрофильное распределение. Под разнотравно-кустарниковой растительностью элюво-иллювиальный характер изменения количества кобальта по профилю сохраняется, но содержание его в гумусовом горизонте по сравнению с буроземами под лесом в 2 раза выше.

Прямо противоположное поведение данного элемента отмечается в буроземах гари, где, по сравнению с буроземами под лесом и разнотравно-кустарниковыми зарослями, фиксируется его низкое содержание в аккумулятивном горизонте АU_{rig} и особенно – в иллювиально-гумусовом горизонте ВMh_{1,rig}. Для выяснения причины данного факта предполагается проведение дополнительных исследований.

Внутрипрофильное распределение **никеля** имеет элюво-иллювиальный характер в буроземах всех рассматриваемых участков, но с четкими различиями количественных показателей между ними. В буроземах под разнотравно-кустарниковыми зарослями содержание элемента наименьшее по сравнению с буроземами под лесом. В буроземах гари оно не превышает фонового уровня, но отличается значительно большими величинами и выраженным накоплением в иллювиальной части профиля. Содержание никеля в почвах обусловлено как его содержанием в материнских породах, так и его абсорбцией органическим веществом [27]. Не исключено в данном случае также пирогенное поступление с прогоревшей подстилкой и золой надземных частей растений.

Содержание **свинца** и его распределение в профиле почв под разной растительностью имеет определенные различия. Так, в буроземах под разнотравно-кустарниковыми зарослями оно наименьшее, со слабовыраженной элюво-иллювиальной дифференциацией по профилю. В буроземах гари отмечаются высокое содержание свинца и четко выраженный аккумулятивный тип его внутрипрофильного распределения, что может быть связано с пирогенным фактором: данный элемент активно поглощается листьями растений из воздуха и с опадом поступает в почву [27]. Кроме того, свинец проявляет сродство с глинистыми минералами, органическими комплексами и обнаруживает, как указывает Ю.Н. Водяницкий [4], положительную корреляционную связь с марганцем.

Наименьшее содержание **кадмия**, с выраженным элюво-иллювиальным внутрипрофильным распределением, характерно для буроземов под разнотравно-кустарниковыми зарослями. Близкие значения и аналогичный характер профильного распределения кадмия отмечаются и для буроземов под лесом. В буроземах гари содержание кадмия хотя и остается ниже фонового показателя, но значительно превосходит его в других буроземах. Определяющим фактором содержания кадмия в почвах является химический состав почвообразующих пород [27]. Накопление данного элемента в поверхностном горизонте буроземов гари, вероятно, связано с его дополнительным поступлением в результате пожаров.

Для всех рассматриваемых участков характерна элюво-иллювиальная внутрипрофильная дифференциация содержания **хрома**. Наименьшее его количество обнаружено в буроземах под разнотравно-кустарниковыми зарослями. В буроземах под лесом оно увеличивается вдвое, а в буроземах гари фиксируется его максимум, особенно в высокогумусированной иллювиальной части профиля, где он активно взаимодействует с органическими комплексами [27].

Для выяснения степени загрязнения тяжелыми металлами почв нами подсчитаны показатели эколого-геохимического состояния – коэффициенты концентрации элементов (Кс) по отношению к фоновым значениям (откорректированным региональным кларкам [7]) и суммарный показатель загрязнения Саета (Zc)⁴ (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты концентрации тяжелых металлов (Кс) и суммарный показатель загрязнения (Zc) буроземов побережья юго-востока Приморья

Горизонт	Глубина, см	Кс									Zc
		Pb (1)	Zn (1)	Cd (1)	Ni (2)	Cr (2)	Co (2)	Cu (2)	Mn (3)	S	
Буроземы под дубовым лесом, разрез 5-04											
AУ	6–14	0,98	0,82	0,23	0,25	0,32	0,42	0,99	1,41	5,42	-1,58
BM1f,hi	15–25	0,88	0,80	0,30	0,40	0,50	0,80	0,94	0,73	5,35	-1,65
Буроземы под разнотравно-кустарниковыми группировками, разрез 1-05											
AУ	7–17	0,69	0,60	0,15	0,19	0,16	0,80	0,63	1,63	4,85	-2,15
BM1hi	25–35	0,83	0,83	0,30	0,26	0,23	1,08	0,64	1,84	6,01	-0,99
Буроземы гари, разрез 13-04											
AУpir	15–25	1,97	2,47	2,47	0,66	0,43	0,32	3,13	7,80	19,25	12,55
BMhi,pir	35–45	1,71	2,58	1,58	1,25	0,89	0,13	3,80	11,51	23,45	16,45

Примечание. В скобках указан класс опасности металла.

В буроземах гари фиксируются более высокие коэффициенты концентрации свинца, цинка, кадмия, меди и марганца по сравнению с буроземами под лесом и разнотравно-

⁴ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 17.04.2003 № 53 (ред. от 25.04.2007) «О введении в действие СанПиН 2.1.7.1287-03» (вместе с «СанПиН 2.1.7.1287-03. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 16.04.2003) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 05.05.2003 № 4500).

кустарниковыми группировками. Среди рассматриваемых элементов свинец, кадмий, кобальт закрепляются преимущественно в аккумулятивно-гумусовых горизонтах, тогда как никель, цинк, медь, хром и марганец мигрируют вниз по профилю в иллювиально-гумусовые горизонты.

Подсчет суммарного показателя загрязнения (Z_c) показал, что в буроземах гари фиксируется допустимый (низкий) уровень загрязнения в поверхностном аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасный – в иллювиальной части профиля.

Если следовать рекомендациям [5] и учитывать только накапливающиеся элементы с критическим коэффициентом (K_k) $>1,5$ или >2 , то значения суммарного показателя загрязнения буроземов гари остаются в тех же градациях – допустимый (низкий) уровень загрязнения (13,84) в аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасный (17,18) в иллювиальной части профиля. Однако применение поправочного коэффициента на токсичность элемента (K_t), равного 1,5 для 1 класса опасности, 1,0 для 2 класса, 0,5 для 3 класса [5], при подсчете суммарного показателя загрязнения увеличивает в 1,5 раза значения K_c элементов, относящихся к 1 классу опасности – свинца, цинка и кадмия. Поэтому, несмотря на допустимый (низкий) и умеренно опасный уровни загрязнения территории гари, в данном случае следует обращать особое внимание на то, какими именно тяжелыми металлами они обеспечиваются, в первую очередь на элементы-загрязнители 1 класса опасности.

В буроземах под дубовым лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками суммарный показатель загрязнения имеет отрицательные значения, что свидетельствует об отсутствии загрязнения территорий, сопредельных гари.

Заключение

Результаты исследования свидетельствуют как о сходстве, так и о различиях в содержании и внутрипрофильном распределении тяжелых металлов в почвах на участках, занятых дубовым лесом, разнотравно-кустарниковыми группировками и гарью.

По сравнению с сопредельными участками под дубовым лесом и разнотравно-кустарниковыми группировками, в буроземах гари фиксируется увеличение содержания рассматриваемых тяжелых металлов, что, по всей вероятности, связано с дополнительным их поступлением с золой. Здесь определены более высокие коэффициенты концентрации свинца, цинка, кадмия, меди и марганца. Свинец, кадмий, кобальт закрепляются преимущественно в аккумулятивно-гумусовых горизонтах, тогда как никель, цинк, медь, хром и марганец мигрируют вниз по профилю, накапливаясь в иллювиально-гумусовых горизонтах.

Значения суммарного показателя загрязнения в буроземах гари соответствуют допустимому (низкому) уровню в аккумулятивно-гумусовом горизонте и умеренно опасному – в иллювиальной части профиля.

Применение поправочного коэффициента на токсичность элемента (K_t) при подсчете суммарного показателя загрязнения увеличивает K_c элементов, относящихся к 1 классу опасности – свинца, цинка и кадмия. Поэтому, несмотря на допустимый (низкий) и умеренно опасный уровни загрязнения территории гари, в данном случае следует обращать особое внимание на класс опасности элементов-загрязнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М.Н., Семаль В.А., Нестерова О.В. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах юга Сихотэ-Алиня // Материалы II междунар. науч. конф. «Современные исследования в естественных науках», Владивосток, 26–28 августа 2015 г. / под общ. ред. В.А. Семаль. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2015. С. 43–45. [CD-ROM].

2. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881.
3. Водяницкий Ю.Н. Минералогия и геохимия марганца (обзор литературы) // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1256–1265.
4. Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 420–432.
5. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280.
6. Волгин Д.А. Фоновый уровень и содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Московской области // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Серия: Естественные науки. 2009. № 3. С. 90–96.
7. Голов В.И., Тимофеев А.Н. Экологические и агрохимические основы производства и применения минеральных удобрений из местного агросырья на почвах Дальнего Востока // Вестн. ТГУ. 2006. № 3. С. 110–124.
8. Жарикова Е.А. Влияние пожаров на свойства подзолов восточного побережья северного Сахалина // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 5. С. 9–14.
9. Жарикова Е.А. Постпирогенная трансформация почв в лесах Нижнего Приамурья // Вестн. Алтайского гос. аграр. ун-та. 2015. № 8. С. 57–61.
10. Коган Р.М., Панина О.Ю. Исследование влияния пожаров на фитотоксичность почв (на примере широколиственных лесов Еврейской автономной области) // Вестн. ДВГСГА. Естественнонаучные знания. 2010. № 2. С. 41–50.
11. Краснощекоев Ю.Н., Чередникова Ю.С. Постпирогенная трансформация почв кедровых лесов в южном Прибайкалье // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1057–1067.
12. Мишина Н.В. Современная динамика лесных пожаров на приграничных территориях России, Китая и Монголии // Успехи соврем. естествознания. 2018. № 3. С. 140–147.
13. Молчанова И.В., Михайловская Л.Н., Позолотина В.Н., Журавлев Ю.Н., Тимофеева Я.О., Бурдуковский М.Л. Техногенное загрязнение почвенно-растительного покрова юга Приморского края // Экология. 2013. № 5. С. 334–338.
14. Москвиченко Д.В. Геохимические особенности ландшафтов бассейна р. Казым // Вопр. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. № 12. С. 124–129.
15. Нестерова О.В., Трегубова В.Г., Семаль В.А. Использование нормативных документов для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1375–1380.
16. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Влияние растительности на гумусообразование и морфологическое строение приокеанических буроземов юго-восточной части Приморья // Почвоведение. 2015. № 4. С. 387–396.
17. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Генезис и эволюция приокеанических буроземов. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2002. 292 с.
18. Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Специфика формирования буроземов на островах залива Петра Великого (юг Дальнего Востока) // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 5. С. 87–96.
19. Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Лесн. вестн. 2001. № 1. С. 132–165.
20. Сапожников А.П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42–46.
21. Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: ЛКИ, 2008. С. 24–57.
22. Тимофеева Я.О., Костенков Н.М., Голов В.И., Голодная О.М., Жарикова Е.А., Пуртова Л.Н., Семаль В.А., Нестерова О.В., Журавлев Ю.Н. Почвенные ресурсы Дальневосточного региона: современное состояние, использование, технологии восстановления // Материалы II Междунар. науч. конф. «Современные исследования в естественных науках», Владивосток, 26–28 августа 2015 г. / под общ. ред. В.А. Семаль. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2015. С. 36–39. [CD-ROM].
23. Тимофеева Я.О. Тяжелые металлы в почвах, прилегающих к автотрассе // Фундам. исслед. 2013. № 10, ч. 10. С. 2226–2230.
24. Христофорова Н.К. Экологические проблемы региона: Дальний Восток – Приморье. Хабаровск: Кн. изд-во, 2005. 304 с.
25. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
26. Шейнгауз А.С. Природопользование российского Дальнего Востока и Северо-Восточная Азия. Хабаровск: Риотип, 1997. 224 с.
27. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRS Press, 2011. 505 p.