

УДК 630*114.351 (571.61)

МИГРАЦИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТАХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОЖАРОВ НА АМУРО-ЗЕЙСКОЙ РАВНИНЕ

Брянин С.В.

*ФГБУН «Институт геологии и природопользования» ДВО РАН,
Благовещенск, e-mail: bruanin@gmail.com*

Зола – один из основных продуктов горения, влияющий на свойства почв и функционирование экосистемы после пожара. В работе изучался состав зольных элементов бурозёмных почв, лесного опада и подстилки в хвойно-широколиственных лесах, подверженных ежегодным низовым пожарам. Объекты исследования располагались на водоразделах, склонах и в аккумулятивной части типичного ландшафта Амуро-Зейской равнины. Установлено, что регулярное прогорание приводит к значительному смещению реакции среды в щелочную сторону (pH_{H_2O} 6,8–7,1) а также повышению содержания катионов Ca, Mg, K, Na в поверхностных горизонтах пирогенных почв. Выявлена внутрпочвенная миграция зольных элементов вниз по склону. Почвы аккумулятивной части ландшафта содержат запасы зольных элементов, в 1,2–2,3 раза превышающие запасы этих элементов в почвах склонов и водоразделов.

Ключевые слова: бурозёмы, лесные пожары, зольные элементы

ASH ELEMENTS MIGRATION AND ACCUMULATION IN FOREST LANDSCAPES UNDER REGULAR FIRE IMPACTS ON AMUR-ZEYA PLAIN (RUSSIAN FAR EAST)

Bryanin S.V.

Institute of Geology and Nature management FEB RAS, Blagoveshchensk, e-mail: bruanin@gmail.com

Ash is one of the main of forest fire products. In this study we analyzed ash elements composition in brown soil, litter and surface organic matter in a conifer-broadleaved forest. We studied soil on watersheds, slopes and bottom of the fold in a typical landscape of Amur-Zeya plain. Regular forest fires result in significant increasing of soil pH (pH_{H_2O} 6,8–7,1) and increasing of Ca, Mg, K, Na cation contents in upper horizons of pyrogenic soil. Inside soil migration down to slope was revealed. In bottom of the fold soil contains 1,2–2,3 times higher stocks than soil on slopes and watersheds.

Keywords: brown soils, forest fires, ash elements

Лесные пожары на Дальнем Востоке на протяжении многих веков являются главным фактором нарушения естественной динамики лесных экосистем и почв. К сожалению, несмотря на усиление охраны лесов, интенсивность и частота возникновения пожаров возрастает. Популярное и повсеместное выжигание сухой травы, пожнивных остатков, опавшей листвы является причиной возникновения 90% лесных пожаров.

Процесс горения сопровождается выбросами углекислого и угарного газов, энергии, приводит к уничтожению органического вещества [7], потере естественного почвенного плодородия и продуктивности лесных экосистем. Продуктами горения, как правило, являются зола, угли, и сажа, формирующиеся на поверхности почв. Элементы, входящие в состав золы, очень подвижны и хорошо растворимы, поэтому атмосферные осадки способствуют их растворению и передвижению вниз по профилю почв. Многими авторами установлены значительные показатели миграции Ca, Mg, K, Na из озолённых подстилок, а также существенное подщелачивание (с 5,8 до 8,5 pH_{H_2O}) почвенного раствора и изменение многих физико-химических свойств почвы [1, 5, 12]. В аналогичных исследованиях

в Европе Merche V. Vodí с соавторами [11] установлено существенное участие послепожарной золы в глобальном круговороте элементов. Авторы указывают на значительные показатели миграции зольных элементов из постпирогенных экосистем, развитых на почвах с лёгким гранулометрическим составом. Элементы мигрируют не только вниз по профилю, но и вниз по склону. При этом они временно накапливаются в аккумулятивной части ландшафта, а затем с дождевыми и грунтовыми водами мигрируют за пределы ландшафта.

Несмотря на это, зола, образованная на поверхности почв после пожаров, является важным источником питательных элементов для восстанавливающейся растительности. Однако в условиях регулярных пожаров восстановления растительности не происходит, а зольные элементы вымываются с дождевыми водами и выпадают из цикла биологического круговорота экосистем. Несмотря на важность понимания круговорота зольных элементов в пирогенных экосистемах, информация об их миграции и аккумуляции крайне ограничена.

Из-за специфичности климата Амурской области пожары ежегодно охватывают обширные площади, особенно

часто от низовых пожаров страдают лесные массивы в районах с высокой плотностью населения. Цель работы – установить концентрации основных зольных элементов в почвах и лесных подстилках, а также пути миграции этих элементов в неозелененных ландшафтах Амура-Зейской равнины под влиянием регулярных пожаров.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на Амура-Зейской равнине (Амурская область), в зоне хвойно-широколиственных лесов. Основной породой в древостое исследуемой территории является дуб монгольский (*Quercus mongolica*), на отдельных площадках встречается береза плосколистная (*Betula platyphylla*). Подлесок на 90% состоит из леспедецы двуцветной (*Lespedeza bicolor*) и рододендрона даурского (*Rhododendron dauricum*). Растительные сообщества территории подробно описаны в работе [3].

Территория густонаселена и подвергается ежегодным низовым пожарам. Для изучения миграции и аккумуляции зольных элементов был заложен полигон-трансекта по схеме: водораздел – днище пади – водораздел (относительный перепад высот – 70 м). На протяжении трансекты закладывали почвенные разрезы и отбирали образцы по генетическим горизонтам. Всего заложено 5 разрезов на склонах и 3 в аккумулятивной части ландшафта (днище пади), названия почвам даны по Классификации почв России 2004 г. [9]. Для определения объёмов поступления золы проводили учёт биомассы напочвенного органического материала и определяли его химический состав.

Актуальную кислотность определяли потенциометрически по ГОСТ – 26483-90. Гранулометрический состав почв определяли пипет-методом Н.А. Качинского. Плотность сложения почв определяли цилиндрами в пятикратной повторности из каждого горизонта. Вытеснение из почвы поглощённых катионов калия, натрия, кальция и магния проводили методом К.К. Гедройца (обработка почвы аммонийным ионом хлористого аммония) с последующим определением калия и натрия пламенно-фотометрическим методом, а кальция и магния – комплексометрическим по ГОСТ 26487-90. Для расчёта содержания зольных элементов определяли зольность и состав золы: кальций и магний комплексометрически, калий и натрий методом пламенной фотометрии. Содержание фосфора определяли в растворе золы колориметрически по молибденовой сини (Практикум по агрохимии..., 1987) [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемые почвы по классификации [9] диагностируются как бурозёмы. Почвы сформированы на аналогичных почвообразующих породах и в одинаковой степени подвержены пирогенному воздействию. Прогорание происходит ежегодно, в отдельные годы дважды: в весенний и осенний периоды. Поверхность почвы после пожара покрывается золой светло-серого цвета, поверхность почвы приобретает красноватый оттенок, что свидетельствует о высоких

температурах горения и образовании золы, состоящей в основном из оксидов зольных элементов. Реакция среды почв близка к нейтральной (pH_{H_2O} 6,8–7,1), для исследуемых почв характерна слабокислая и кислая реакция среды (pH_{H_2O} 5,0–6,0) [2]. Смещение реакции среды является результатом постоянного подщелачивания почвенного раствора при ежегодных низовых пожарах и наблюдается не только в поверхностных горизонтах, но и по всему профилю почв (табл. 1). По гранулометрическому составу почвы в верхней и средней части средне-суглинистые (39–27%), в нижней части содержание физической глины существенно снижается (3–11%), почвы подстилаются неогеновыми песками.

Постоянное пирогенное воздействие на почвы отражается и на составе поглощающего комплекса почв, особенно в части одновалентных катионов. В естественных условиях процессы разложения происходят постепенно, и зольные элементы «порциями» попадают в почву [4, 6]. Однако при пожаре все зольные элементы одновременно поступают на поверхность почвы, а при промывании золы дождевыми и тальными водами они легко мигрируют по почвенному профилю. Так, изучаемые нами почвы обогащены зольными элементами по всей глубине, что подтверждает наличие вышеуказанных процессов.

Количество золы, которое формируется на поверхности почв после прохождения пожара, зависит от первоначальных запасов опада и подстилки, интенсивности и продолжительности горения. Так, на исследуемых площадках на водоразделах и склонах поступление золы при пожаре составило 236,1–466,5 кг/га, а в днище пади – 598,1 кг/га (данные не представлены). Содержание органического вещества в золе невысокое, величина потери при прокаливании не превышала 10% (данные не представлены), что свидетельствует о высоких температурах горения ($\geq 450^\circ C$ по данным [11]). Большую часть золы составили щелочные и щелочноземельные металлы, причём доля участия элементов в золе зависела от типа растительной ассоциации. Так, в лесных массивах с преобладанием дуба монгольского доля поступления кальция, магния, калия и натрия составила 34%, в то время как в разнотравном ценозе – 16%, в лесах с участием хвойных пород доля участия перечисленных элементов выше и составляет 65% (рис. 1).

В.В. Фурьев установил, что из обожжённой подстилки сразу после пожара (до дождя) переходит в 20 раз больше Са, в 10 раз – Mg, в 5 раз К и Na по сравнению

с подстилкой, нетронутой огнём. В первый же год после пожара при промывании дождевыми водами из слоя золы на 1 га в почву поступает Ca – 149, Mg – 50, K – 92, Na – 33 кг [8]. Такое регулярное поступле-

ние зольных элементов формирует их высокие запасы, как на поверхности почв, так и по почвенному профилю (табл. 2), в изучаемых почвах отчётливо дифференцированы по элементам рельефа

Таблица 1

Средние показатели физико-химических свойств бурозёмов исследуемой территории

Генетический горизонт	Нижняя граница, см	рН Н ₂ O	ФГ, %	d, г/см ³	Поглощённые катионы, мг экв на 100 г почвы			
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Бурозём среднесуглинистый на древнеаллювиальных отложениях (склон, n = 5)								
O	3	7,1	–	0,31	38,5	10,5	1,5	1,1
AУ	8	6,9	36	0,77	22,7	6,7	0,9	0,8
ABm	21	6,0	27	0,94	12,1	3,7	0,2	0,2
BM	46	6,1	35	0,96	10,7	1,5	0,1	0,1
BMC	87	5,9	12	1,02	3,2	0,7	0,1	0,1
C	123	6,2	11	1,22	1,3	0,4	0,1	0,1
Бурозём среднесуглинистый на древнеаллювиальных отложениях (подножье склона, n = 3)								
O	2	7,2	–	0,34	48,4	14,2	1,6	0,9
AУ	11	6,8	39	0,69	34,5	9,9	0,9	0,7
ABm	24	6,5	35	1,01	10,3	0,8	0,7	0,8
BM	47	6,4	39	1,03	10,3	1,1	0,6	0,7
BMC	91	6,7	11	1,11	10,7	1,3	0,7	0,6
C	131	6,5	3	1,04	12,1	3,3	0,6	0,5

Примечание. ФГ – физическая глина, d – плотность сложения почвы.

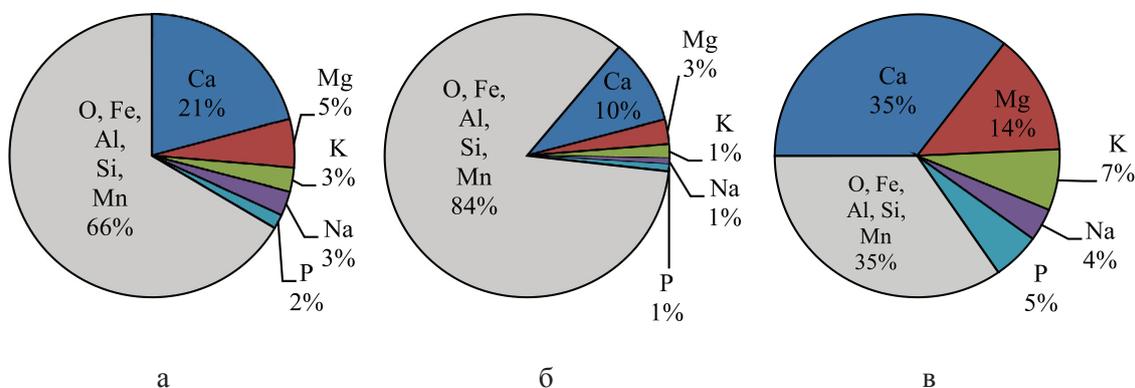


Рис. 1. Состав золы, поступающей на поверхность при пожарах: а – в сообществах с преобладанием дуба монгольского; б – в травяных сообществах; в – в сообществах с участием лиственницы Гмелина

По запасам зольных элементов в органическом материале на поверхности почв исследуемые площадки практически не различаются. Однако при рассмотрении запасов в профиле почв наблюдается чёткая дифференциация по элементам рельефа. Так, на склонах и водоразделах в метровой толще запасы Ca, Mg, K и Na составляют 12, 2,5, 1, 0,5 т/га соответственно элементам. При изучении аналогичного слоя почв в днище пади наблюдаются запасы, в 1,7–2,3 раза превы-

шающие таковые в почвах склонов и водоразделов. Существенное увеличение запасов зольных элементов, вероятно, связано с их внутрипочвенным стоком со склонов и водоразделов. Почвы водоразделов, склонов и днища распадка имеют аналогичный гранулометрический состав, поэтому длительной аккумуляции зольных элементов в почвах днище пади не происходит. По-видимому, происходит их дальнейшая миграция с грунтовыми водами за пределы ландшафта.

Таблица 2

Распределение запасов зольных элементов в почвах, кг/га

Слой, см	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Бурозём среднесуглинистый на древнеаллювиальных отложениях (склон, n = 5)				
НГМ*	61	18	9	8
0–20	3978	985	276	130
0–50	7353	1651	563	247
0–100	12244	2503	977	478
Бурозём среднесуглинистый на древнеаллювиальных отложениях (подножье склона, n = 3)				
НГМ	59	17	10	7
0–20	9239	1196	558	241
0–50	15411	2319	905	540
0–100	20872	2856	1191	974

Примечание. НГМ – напочвенный горючий материал (опад, подстилка).

Запасы щелочных и щелочноземельных металлов в почвах южного участка зависят от положения площадки в рельефе. В ряду элементов рельефа: водораздел – склон – днище пади – наблюдается увеличение общих запасов Ca, Mg, K, Na, что подтверждает предположение об их миграции по склонам и относительное накопление в ак-

кумулятивной части ландшафта. Распределение запасов элементов по профилю почв является ещё одним подтверждением данного предположения. На склонах и водоразделах наблюдается увеличение запасов Ca, Mg, K, Na в нижней части профиля, а в днище пади равномерное распределение по слоям почвы (рис. 2).

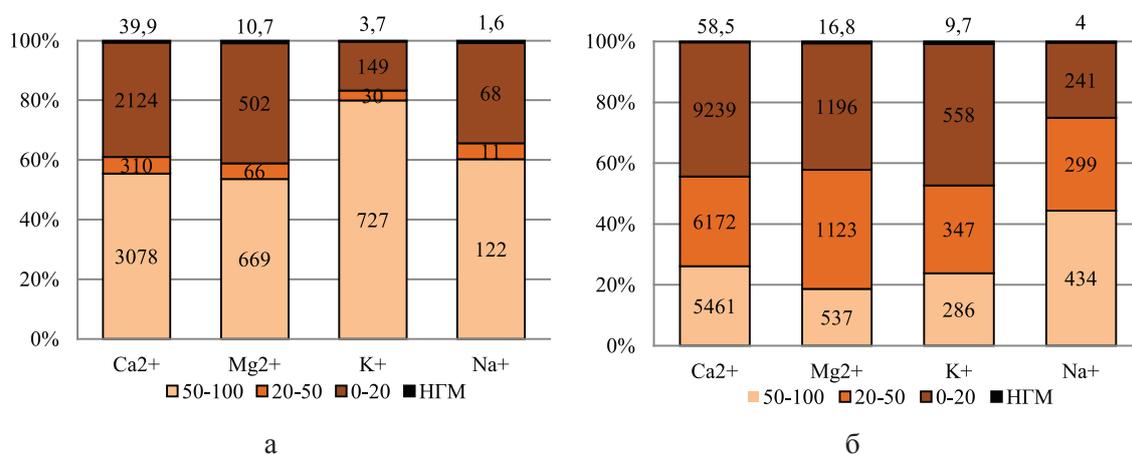


Рис. 2. Распределение запасов щелочных и щелочноземельных металлов в почвах Амуро-Зейской равнины, кг/га: а – водоразделы и склоны; б – днище пади

Процессы миграции ярко выражены в элювиальной группе ландшафтов, в почвах с сильным промывным режимом, где даже незначительное прогорание резко усиливает передвижение элементов и веществ в нижележащие слои. При поступлении избыточного количества калия и натрия кроме подщелачивания раствора происходит пептизация коллоидов и образование подвижных соединений многих веществ и в целом мелких частиц, затем их миграция вниз по профилю, а в почвах с промывным типом

водного режима – их вымывание за пределы ландшафта.

Выявленные нами процессы ярко выражены в южной части Амуро-Зейской равнины из-за существенного перепада высот, лёгкого гранулометрического состава почв, промывного типа водного режима, обусловленного особенностями климата.

Заключение

Периодическое поступление щелочных металлов с золой при пожарах приводит

к подщелачиванию почвенных растворов. В верхних горизонтах почв рН водной суспензии составляет 7,0–8,2, причём вниз по профилю смещения реакции среды в кислую сторону не наблюдается, что ещё раз подтверждает глубокую инфильтрацию катионов щелочных и щелочноземельных элементов. Запасы зольных элементов в аккумулятивной части ландшафта в 1,2–2,3 раза превышают запасы этих элементов в почвах склонов и водоразделов. Учитывая легкий гранулометрический состав нижней части профиля почв и почвообразующих пород, можно предположить, что зольные элементы мигрируют с верховыми и грунтовыми водами за пределы ландшафта. Таким образом, полученные данные подтверждают значительное влияние пожаров на процессы почвообразования и биологический круговорот в лесных ландшафтах Амуро-Зейской равнины.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 14-05-31297 мол_а.

Список литературы

1. Богатырёв Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. – 1996. – № 4. – С. 501–511.
2. Брянин С.В., Костенков Н.М. Оценка экологического состояния пирогенно-трансформированных буроземов Дальнего Востока // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2012. – № 2. – С. 90–95.
3. Брянин С.В., Прокопчук В.Ф., Козырь И.В. Формирование лесных подстилок в суббореальных лесах Верхнего Приамурья // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2013. – № 2. – С. 100–107.
4. Ковда В.А. Биогеохимический круговорот и почвообразование // Биологический круговорот и процессы почвообразования. – Пушкино, 1984. – С. 6–14.
5. Краснощеков Ю.Н., Безкоровайная И.Н., Кузьмиченко В.В. Трансформация свойств лесной подстилки // Почвоведение. – 2007. – № 2. – С. 171–178.
6. Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаёжных лесов / отв. ред. Л.О. Карпачевский. – М.: Наука, 2008. – 342 с.
7. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Брянин С.В. Влияние лесных пожаров на гумусово-энергетическое состояние буроземов Приамурья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2012. – № 5. – С. 121–124.
8. Фуряев В.В. Основные принципы исследования послепожарного лесообразовательного процесса на ландшафтной основе // Леса российского Дальнего Востока 150 лет изучения. Материалы всероссийской конференции с международным участием (8-10 сентября 2009 года). – Владивосток: Дальнаука, 2009. – С. 228–229.
9. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
10. Ягодин Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.П. Практикум по агрохимии; под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Агропромиздат, 1987 – 512 с.
11. Bodí M.B., Martín D.A., Balfour V.N., Santín C., Doerr S.H., Pereira P., Mataix-Solera J. Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Science Reviews*. – 2014. – № 130. – С. 103–127. doi:10.1016/j.earscirev.2013.12.007.
12. Fuentes M.R., Calderon R., Escudey M., Avendano K., Gutierrez M., Chang A.C. Impact of forest fire ash on surface charge characteristics of andisols // *Soil science*. – 2007. – № 10 (173). – P. 820–834.

References

1. Bodí M.B., Martín D.A., Balfour V.N., Santín C., Doerr S.H., Pereira P., Mataix-Solera J. *Earth-Science Reviews*. 2014. 130, 103–127. doi:10.1016/j.earscirev.2013.12.007.
2. Bogatyrev L.G. *Eurasian soil science*. 1996. no. 4. pp. 501–511.
3. Bryanin S.V., Kostenkov N.M. *Bulletin of North-East scientific center DVO RAN*. 2012. no. 2. pp. 90–95.
4. Bryanin S.V., Prokopchuk V.F., Kozyr I.V. *Bulletin of North-East scientific center DVO RAN*. 2013. 2. pp. 100–107.
5. Fuentes M., Calderon R., Escudey M., Avendano K., Gutierrez, M., Chang, A.C. *Soil science*. 2007. no. 10 (173). pp. 820–834.
6. Fyrjaev V.V. Main principles of post fire forest formation process on landscape basis (Russian Far East forests: studies of 150 years. Materialy vserossiiskoy konferencii s mejdunarodnym ychastiem (8–10 September 2009). Vladivostok: Dal'nayka, 2009. pp. 228–229.
7. Jagodin B.A., Derygin I.P., Jukov Yu.P. Methods of agrochemistry analyses. Moscow. Publisher: Agropromizdat, 1987 512 p.
8. Kovda V.A. Biogeochemical cycle and soil formation// Biological cycle and soil formation processes. Puschino, 1984. pp. 6–14.
9. Krasnochekov Y.N., Bezkorovainaya I.N., Kuzmichenko V.V. *Eurasian soil science*. 2007. no. 2. pp. 171–178.
10. Lukina N.V., Polyanskaya L.M., Orlova M.A. Nutritious conditions of soils in boreal forests. Moscow. Publisher: Nayka, 2008. 342 p.
11. Purtova L.N., Kostenkov N.M., Bryanin S.V. *Bulletin of Krasnoyarsk state agrarian university*. 2012. no. 5. pp. 121–124.
12. Shishov L.L., Tonkonogih V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classification and diagnosis of soil of Russia. Smolensk: Publisher Ojkumena, 2004. 342 p.

Рецензенты:

Костенков Н.М., д.б.н., профессор, зав. сектором почвоведения и экологии почв, ФГУН «Биолого-почвенный институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток;

Пуртова Л.Н., д.б.н., доцент, зав. сектором органического вещества почвы, ФГУН «Биолого-почвенный институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 04.06.2014.