



УДК (550.422/423:546.3/9):630*43+504.054(571.1/5+574.4)

ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ – ВАЖНЫЙ ФАКТОР РАССЕЯНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛАНДШАФТАХ СИБИРИ

Б. Л. Щербов, И. С. Журкова

Изучение 25 пирологических объектов в различных регионах Сибири и Восточного Казахстана позволило разделить химические элементы на две группы по характеру поведения при лесных пожарах. В группу активных воздушных мигрантов вошли Hg, Cd, Pb, As, Sb, Se, Mn, Zn, U, ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$, в группу пассивно накапливающихся на пожарищах – Cr, Ni, Co, V, Th, Mg, K, Na, Ca, Al и некоторые другие. Это служит причиной изменения химического состава почвенно-растительного покрова не только на выгоревших площадях, но и прилегающих к ним.

Ключевые слова: лесной пожар, компоненты биогеоценоза, химические элементы, искусственные радионуклиды, миграция.

FOREST FIRES AS AN IMPORTANT FACTOR OF SCATTERING AND CONCENTRATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN SIBERIA

B. L. Shcherbov, I. S. Zhurkova

The study of 25 forest fire objects in different regions of Siberia and Eastern Kazakhstan allowed us to separate chemical elements into two groups according to the nature of the forest fires behavior. The group of active air migrants included Hg, Cd, Pb, As, Sb, Se, Mn, Zn, U, ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$, the group passively accumulating fire sites – Cr, Ni, Co, V, Th, Mg, K, Na, Ca, Al, and other elements. Such distribution is a cause of the change in the chemical composition of soil and vegetation cover not only in both burnt-out and adjacent areas.

Keywords: forest fire, biogeocenosis components, chemical elements, artificial radionuclides, migration.

Вопросам миграции, концентрирования и рассеяния элементов в различных ландшафтных условиях уделяется огромное внимание геологов различных специализаций. В настоящее время лесные пожары признаны одним из самых важных факторов перераспределения химических элементов на поверхности земли. Достаточно отметить, что количество пыли и аэрозолей, ежегодно поставляемое в атмосферу эмиссией лесных пожаров, столь значительно, что совпадает с выбросами вулканов (20–150 и 10–200 млн т соответственно) [3]. Ежегодное выгорание в Сибири огромных лесных площадей сопровождается уменьшением содержания элементов в одних местах и накоплением их на новых площадях. То обстоятельство, что эти процессы затрагивают тяжелые металлы и искусственные радионуклиды, вынуждает обратить серьезное внимание на экологический аспект лесных пожаров.

Изучение лесных пожаров в различных регионах Сибири позволило разделить все химические элементы на две самостоятельных группы – воздушных мигрантов и пассивно накапливающихся в пожарищах. В первую группу вошли Hg, Cd, Pb, Zn, Mn, As, Sb, Se, U, ^{90}Sr , ^{137}Cs и изотопы плутония, во вторую – в основном рудные и породообразующие элементами (Al, Na, K, Ca, Fe, Cr, Ni, Co, V, Mg и др.) [5]. Основными факторами, контролирующими

поведение стабильных элементов и искусственных радионуклидов, при пожарах служат их геохимические свойства (температура кипения, биофильность и т.д.) и характер распределения в лесных горючих материалах (ЛГМ); тип пожара; погодные условия и физическое состояние ЛГМ [8]. Конкретные примеры удобнее всего рассмотреть на пирологических объектах ленточных боров Обь-Иртышского междуречья в Западной Сибири, где обследовано самое большое количество пожарищ.

Объекты и методы

Провести подробный разбор всех пирологических объектов не позволяют рамки публикации, поэтому ограничимся лишь некоторыми из них. В качестве конкретных примеров поведения элементов выбрано несколько объектов с различной степенью интенсивности пожара. По возможности отбирались наиболее распространенные ЛГМ (лесные подстилки, хвоя, мхи, лишайники) как на фоновых площадях, так и на пожарищах (если это было возможно). Для определения степени выноса или накопления элементов на выгоревшей площади применялся отбор проб стальным кольцом (диаметр 84 мм, высота 50 мм), применяемый при отборе проб для геохимических и радиологических исследований. В пробу на свежих площадях попадала напочвенная растительность, хвойный опад, лесная подстилка, дерновый слой (на горячих – их зола или обгоревшие фрагменты)



и самый верхний слой почвы, как правило, представленный золовыми песками или суглинками с небольшим количеством гумусового материала. Обследованием по возможности охватывалась площадь свежего и выгоревшего леса на одинаковых формах рельефа по трансекту «навстречная сторона – пожарище – подветренная сторона». Выбор точек производился по принципу случайности через определенные интервалы, определяемые размерами пожарищ. Кроме почвенно-растительного покрова в районе пожарища и на фоновых площадях опробовались отдельные ЛГМ – мхи, лишайники, хвоя, лесные подстилки и др.

Все аналитические работы выполнены в лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии ИГМ СО РАН.

Результаты и обсуждение

В качестве конкретного примера рассмотрим два объекта, противоположных по типу пожара. Первый из них произошел в ленточном бору на юго-западе Алтайского края в районе сел Бастан и Николаевка (табл. 1). Пожар возник в Восточном Казахстане 8 сентября 2010 г. и при юго-западном ветре быстро перекинулся на территорию России. Как это обычно бывает при больших пожарах, направление движения огня менялось несколько раз. Пожарище представляет собой почти пустыню с редкими островками деревьев, которым вряд ли удастся выжить. С учетом площади выгорания на казахской территории общая площадь пожарища составила около 17 тыс. га.

Приведенные данные поведения элементов во время этого пожара позволяют вычислить количество мигрировавших элементов из пожарища или накопившихся в нем. Для этого требуются только запасы подстилки в районе пожара. Вряд ли будет большой ошибкой, если взять за основу полученные нами ранее значения, вычисленные по нескольким десяткам замеров в разных местах ленточных боров – 10,8 т/га [6]. Это значение близко к среднему показателю для подстилок в сибирских лесах (11 т/га) [2].

Таким образом, на одном га в лесной подстилке сосредоточено $x_0 = 10,8$ г/т i -го элемента (или $x_p = 10,8 \cdot 1000$ Бк/кг активности радионуклида), а на всей площади пожарища – ($x_0 = 10,8 \cdot 10000$), где x_0 – количество элемента в г/т, x_p – количество радионуклида с активностью в Бк/кг. От полученных значений следует взять процент выноса и получить количество мигрировавшего элемента. Например, количество кадмия на 1 га составляет $0,145$ г/т \times $10,8$ т/га = 1,566 г. Вынос его (51,7 %) из 1 га = 0,81 г, а на всем пожарище $0,81 \times 17000 = 13,8$ кг. Точно такие же расчеты дают следующие результаты количественной эмиссии искусственных радионуклидов и токсичных элементов: Hg 2,9 кг, Pb 660 кг, As 54 кг, Sb 20 кг, Se 36 кг, Zn 2 т, Mn 21,7 т, U(экв. Ra) 81 кг, ^{90}Sr $5,9 \cdot 10^9$ Бк/кг, ^{137}Cs $5 \cdot 10^{10}$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ $2,6 \cdot 10^8$ Бк/кг.

Вероятнее всего, часть этих элементов в составе дымовой пыли и сажистых частиц выпала где-то в степи, граничащей с ленточным бором. Однако интенсивность огня и стремительность распространения пожара дают основание предположить, что большое количество мигрантов было вынесено восходящими воздушными потоками и перенесено в составе аэрозольных частиц на значительные расстояния – тысячи километров [1].

Другой пример относится к низовому пожару в районе с. Вознесенка в тех же ленточных борах Алтайского края. Пожар произошел при отсутствии ветра в конце апреля – начале мая, когда лесная подстилка полностью еще не высохла. Как видно из табл. 2, даже такие активные мигранты, как кадмий и ртуть накопились в площади пожарища. Но эти данные не доказывают, что воздушная миграция элементов отсутствовала. Вовлекаемые в дымовой шлейф элементы частично распределились по ярусам леса, частично осели на пожарище. Об этом свидетельствует значительное повышение содержания ртути в эпифитном лишайнике, собранном с деревьев на высоте 4 м. Это наше предположение подтверждается результатами обследования аналогичного пожарища на севере ленточных боров, произошедшего при слабом ветре на берегу Обского водохранилища (табл. 3). Здесь кадмий, ртуть, свинец, цинк и марганец мигрировали из пожарища, как это отмечено нами практически на всех изученных объектах [5, 7].

Аналогичные результаты можно наблюдать иногда на пожарищах, возникающих весной после снеготаяния, когда неравномерное высыхание наземных ЛГМ служит причиной разной степени их выгорания на различных участках пожарища (табл. 4). Следствием этого служит различная степень воздушной миграции или накопления элементов на выгоревшей площади.

Данные табл. 1–4 свидетельствуют о том, что при любом типе пожара лесная подстилка, являющаяся основным депонентом химических элементов среди всех компонентов лесного биогеоценоза [5], выгорает в той или иной степени. Соответственно, и химические элементы ведут себя с различной активностью. Приведенные примеры расчета атмосферной эмиссии химических элементов при повоальных верховых пожарах достаточно убедительны, но этого слишком мало, поскольку основаны они только на данных по лесным подстилкам. Естественно полагать, что и другие компоненты лесного биогеоценоза вносят определенное количество элементов в дымовые шлейфы. Однако подсчитать запасы, например, хвои, коры или веток деревьев, трав или кустарников, в которых также содержатся все элементы, не представляется возможным даже на конкретных объектах. Приведенные нами ранее расчеты для всей Сибири [5, 7] можно рассматривать только как ориентировочные, так как недостаточно корректных данных по соотношению повоальных и ни-



Таблица 1

Содержание элементов на фоновых и горелых площадях и коэффициенты их выноса/накопления в Бастан-Николаевском пожарище

Элементы-мигранты и радионуклиды													
	Hg	Cd	Se	As	Sb	Pb	Zn	Mn	U	Th	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs-	Pu
1	0,031	0,145	0,29	2,6	0,75	12,1	44,7	640	2,0	2,50	11,2	47,0	0,87
2	0,011	0,07	0,092	2,3	0,64	8,5	32,5	439	1,25	2,64	8,0	19,5	0,73
3	-64,5	-51,7	-68,3	-11,5	-14,7	-29,8	-27,3	-31,4	-37,5	+5,3	-28,6	-58,3	-16,1
Породообразующие и связанные с ними элементы													
	Al	Fe	Ca	K	Na	Li	Be	Cu	Cr	Ni	Co	V	Mg
1	3,2	1,05	0,67	1,46	1,19	7,5	1,1	16,6	38,7	13,0	3,3	29,2	0,20
2	4,3	1,37	0,67	1,65	1,41	8,1	1,23	18,2	51,0	15,3	3,6	30,5	0,22
3	+25,6	+23,3	0	+11,5	+15,6	+7,4	+10,6	+5,8	+24,1	+15,0	+8,3	+4,3	+9,1

Примечание: 1 – содержание элементов (г/т) и искусственных радионуклидов (Бк/кг) на фоновой площадке; 2 – то же самое на пожарище; 3 – вынос (-) или накопление (+) элемента на пожарище (%).

Таблица 2

Содержание элементов (г/т) в фоновом лесу и на пожарище (район с. Вознесенка)

Зона	Элемент									
	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	V	Hg
Фон	0,093	23,3	11,6	32	571	16,3	11,5	5,0	25,8	0,093
Гарь	0,143	28,1	11,5	45,5	701	17,1	13,3	5,3	27,2	0,129
%	+35	+17,1	0	+29,7	+18,5	+4,7	+13,5	+5,6	+5,1	+27,9

Таблица 3

Содержание элементов (г/т) в фоновом лесу и на пожарище (район п. Каменка)

Зона	Элемент									
	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	V	Hg
Фон	0,133	22,6	10,1	32,3	716	23,8	15,6	6,1	35,7	0,087
Гарь	0,083	22,0	10,5	27,9	642	26,0	17,0	6,6	37,6	0,057
%	-39,1	-2,7	+3,8	-13,6	-10,3	+8,3	+8,2	+7,7	+5,1	-39,1

Таблица 4

Результаты сравнения содержаний элементов и некоторых физических показателей на участках, пройденных низовым и верховым повальным пожарами (район п. Каменка Новосибирской обл.)

Элемент	Hg	Cd	Pb	Zn	Mn	Sb	Se	As	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	ППП	pH	D
1	0,061	0,250	17,5	54,2	974	0,78	0,61	1,50	13,2	67,5	33,1	5,14	0,546
2	0,039	0,146	13,6	39,4	833	0,70	0,36	1,25	8,9	36,8	11,0	5,46	0,980
3	-36,1	-41,6	22,3	-27	14,5	-10	-41	-18	-32	-45,6	-66,7	-5,9	+44,3

Примечание: 1 – данные по низовому пожару; 2 – то же по верховому; 3 – отношение 2/1.

зовых пожаров и ежегодному изменению этого соотношения. Как уже было показано, объем миграция или накопления элементов в пожарищах целиком зависит от вида пожара.

Мы считаем, что наши расчеты количественной стороны атмосферной миграции некоторых элементов для конкретных объектов вполне реальны. Поэтому растительно-почвенный покров на огромных площадях, где прошли пожары в ленточных борах Обь-Иртышского междуречья (например, 140 тыс. га в 1997 г. [4]), или необозримые пространства «оскальпированной земли» в правобережье Иртыша, на Крайнем Севере и в других регионах Сибири за последние два десятилетия, претерпел существенную перестройку биогеохимического состава. Средние значения ежегодного выжигания лесов Сибири – от 5 до 12 млн га; за пожарный период сгорает приблизительно 20 млн т биомассы, в атмосферу выбрасывается

2 млн т продуктов горения [1, 8]. Почвенный покров именно такой площади в той или иной мере обогащается рудными и некоторыми другими элементами. Но, с другой стороны, в зависимости от атмосферных условий на новых площадях происходит обогащение компонентов биогеоценоза элементами-мигрантами, к которым в первую очередь относятся ртуть, кадмий, свинец, селен, и искусственные радионуклиды. Негативное их сочетанное действие на живые организмы широко известно. Это проблема не только лесных служб.

Автор благодарит коллектив лаборатории 216 за содействие в выполнении исследований, краткие результаты которых приведены в статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валендик, Э. Н. Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири [Текст] / Э. Н. Валендик



дик // Сибирский экологический журнал. – 1996. – № 1. – С. 1–8.

2. **Курбатский, Н. П.** Определение степени пожарной опасности в лесах [Текст] / Н. П. Курбатский // Лесное хозяйство. – 1957. – № 4. – С. 15–18.

3. **Малахов, С. Г.** Выброс токсичных металлов в атмосферу и их накопление в поверхностном слое земли [Текст] / С. Г. Малахов, Э. П. Махонько // Успехи химии. – 1990. – Т. 59, вып. 11. – С. 1777–1798.

4. **Парамонов, Е. Г.** Крупные лесные пожары в Алтайском крае [Текст] / Е. Г. Парамонов, Я. Н. Ишутин. – Барнаул : ПГП «Дельта», 1999. – 193 с.

5. **Щербов, Б. Л.** Экогеохимические последствия лесных пожаров в ленточных борах Алтайского края [Текст] / Б. Л. Щербов, Н. В. Завгород-

няя, Е. В. Лазарева // Сибирский экологический журнал. – 2008. – № 4. – С. 598–595.

6. **Conard, S. G.** Wildfire in Russian boreal forests – potential impacts of fire regime characteristics on emissions and global carbon balance estimates [Text] / S. G. Conard, G. A. Ivanova // Environ. Pollut. – 1997. – Vol. 98, N 3. – P. 305–313.

7. **Shcherbov, B. L.** Migration Factors of Radionuclides and Heavy Metals during Forest Fires in Siberia [Text] / B. L. Shcherbov, E. V. Lazareva // Advances in Environmental Research. – 2010. – Vol. 4. – P. 125–143.

8. **Shcherbov, B. L.** The Role of Forest Floor in Migration of Metals and Artificial Nuclides during Forest Fires in Siberia [Text] / B. L. Shcherbov // Contemporary Problems of Ecology. – 2012. – Vol. 5, N 2. – P. 191–199.

© Б. Л. Щербов, И. С. Журкова, 2014