



УДК 550.424.4:630*43(571.150)

Миграция химических элементов при лесном низовом пожаре (Алтайский край)

И. С. Журкова, Б. Л. Щербов

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН

Аннотация. В центральной части Алтайского края, где в 1974 г. проведены сосновые посадки на черноземной почве спустя 12 лет после прекращения открытых ядерных взрывов (Семипалатинский полигон), изучено поведение химических элементов и радионуклидов при лесном низовом пожаре, произошедшем в 2011 г. Исследование основано на сравнении их содержания в почвенном покрове фоновых и выгоревших площадей. Результаты сравнения выявили две группы элементов, различающихся характером поведения при пожаре: мигранты (Hg, Cd, Pb, Mn, Zn и ¹³⁷Cs) и пассивно накапливающиеся в пожарище (Al, Fe, Na, Cr, V, Mg, Ba). Глубина отбора почвенных образцов составила 50 мм. Определение содержаний элементов в пробах проведено атомно-абсорбционным методом на спектрометре Soolar M6. Показатели рН, зольности и плотности почв после пожара повысились. Рассмотрены геохимические свойства изучаемых элементов и зависимость миграции от их температур кипения. Выведено правило: чем ниже температура кипения элемента, тем выше вероятность его миграции в составе дымового шлейфа; и чем выше температура кипения элемента, тем выше вероятность пассивного его накопления в выгоревшей площади.

Ключевые слова: лесной пожар, постпирогенная площадь, почва, тяжелые металлы, миграция.

Введение

Экспертные данные ООН свидетельствуют о том, что ежегодно пожарами на Земле охватывается площадь от 550 до 650 млн га [4], причем за последние 250 лет идет постоянный рост частоты их экстремальных проявлений. В Сибири, где сосредоточено около 80 % лесов (552 млн га) всего лесного массива России, возникает около 30 тыс. пожаров в год [5]. Среди лесных пирологических выбросов значительную роль играют химические элементы, в том числе тяжелые металлы и искусственные радионуклиды.

Как показали многолетние исследования нашей лаборатории [9; 11], горение лесов сопровождается, с одной стороны, вовлечением в воздушную эмиссию группы тяжелых металлов и искусственных радионуклидов, с другой стороны, пассивным накоплением в пожарищах ряда металлов. На поведение химических элементов влияют: их геохимические характеристики, особенности распределения в лесных горючих материалах (ЛГМ), тип пожара, погодные условия и другие факторы [11; 12].

Размеры пожарищ нередко достигают десятков тысяч га. Результатом лесных пожаров является изменение геохимических характеристик почв не только на выгоревших площадях, но и на прилегающих к ним территориях. Однако в некоторых случаях атмосферный перенос отдельных элементов может составлять тысячи километров [7].

Изменение геохимического фона выгоревших почв не может не сказаться на растительном покрове. Поэтому изучение химического состава растений на пожарище имеет большое значение с экологической точки зрения, поскольку среди них могут быть употребляемые в пищу грибы, ягоды и лекарственные виды трав.

Отдельные звенья трофических цепей, в том числе растения и почвы, активно участвуют в стабилизации экосистем, выступая как в роли геохимических барьеров, так и в качестве природных депо химических элементов [3]. При этом, например, Cd, Pb, Hg не входят в число необходимых элементов для растений, однако активно, но часто с различной интенсивностью поглощаются их корневой и надземной системами. Несмотря на активное влияние человека на природу, химический состав растений в основном определяется средой их обитания [2].

Цель работы – оценить влияние низового пожара на перераспределение элементов. Для этого изучено поведение при лесном низовом пожаре тяжелых металлов (Pb, Cd, Mn, Zn, Co, Cu, As, Hg, Sr) на фоне порообразующих и других элементов (Al, Fe, Na, K, Ca, V, Ba) на основе сравнения их содержания в компонентах биогеоценоза на фоновых и горелых площадях.

Объекты и методы

Объектом исследования послужило пожарище и фоновые площади в сосновой лесополосе, посадки 1974 г., проведенные на черноземе (вблизи пос. Бавов Алтайского края) после прекращения открытых ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне (1962 г.). Рельеф местности представляет собой слабоволнистую равнину приобской лесостепи, климат континентальный, зимой средняя температура $-18,7^{\circ}\text{C}$, летом $+19,4^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков 330 мм, глубина промерзания почвы 50–80 см. Низовой пожар с небольшими участками верхового произошел летом 2011 г., охватив основную часть посадок – 4 из 5 га леса, и изучен в 2013 г. Поэтому в задачи исследований входило решение следующих вопросов. Во-первых, выяснение возможности поступления искусственных радионуклидов в ландшафты юга Западной Сибири после прекращения открытых испытаний на Семипалатинском полигоне. Во-вторых, изучение поведения различных элементов при небольших по размерам лесных пожарах. Из этого положения вытекает третий вопрос: как влияет пожар на изменение геохимических характеристик почвенно-растительного покрова пожарища?

Для решения этих задач выполнен отбор проб на пожарище и фоновой, не затронутой пожаром территории посадок (рис. 1).

Пробоотбор проведен стальным кольцом (высота 50 мм, диаметр 84 мм), обычно применяемым при экогеохимических исследованиях [11], в 20 точках, для каждой поверхности по 10. Координаты отбора указаны в табл. 1.

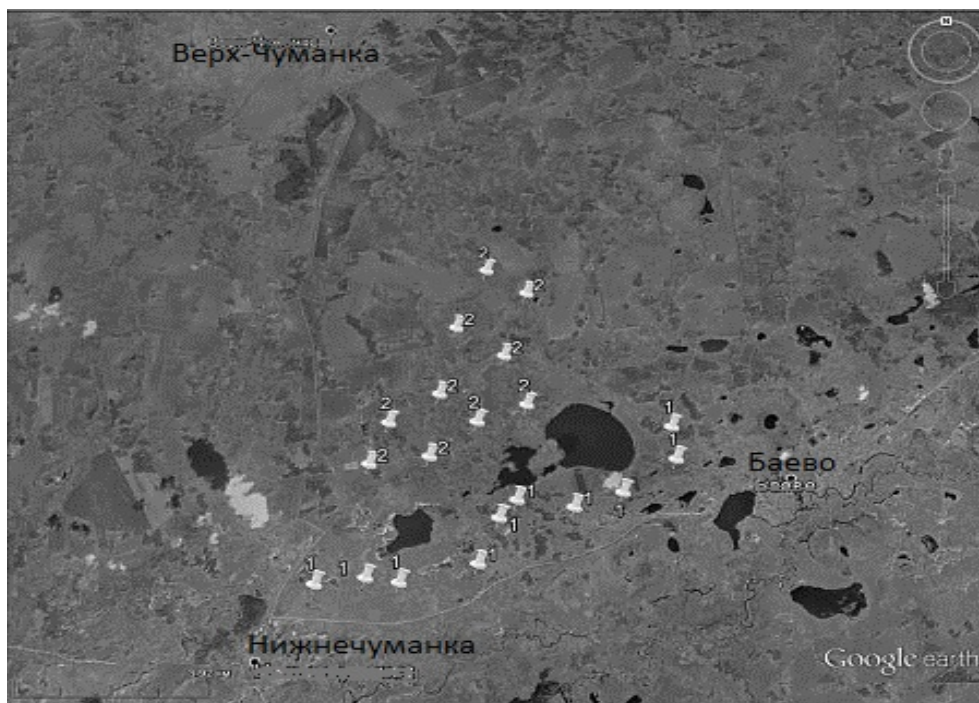


Рис. 1. Схема отбора проб:
1 – фоновая площадь, 2 – горелая площадь

Таблица 1

Координаты точек отбора проб

Точки отбора	Фоновая поверхность	Точки отбора	Горелая поверхность
1	N 53°16'34.54" E 80°43'29.69"	11	N 53°16'00.94" E 80°37'18.02"
2	N 53°16'05.26" E 80°43'31.91"	12	N 53°16'07.70" E 80°38'31.08"
3	N 53°15'36.12" E 80°42'24.45"	13	N 53°16'38.37" E 80°37'39.40"
4	N 53°15'23.20" E 80°41'25.62"	14	N 53°17'05.27" E 80°38'41.22"
5	N 53°15'29.58" E 80°40'17.56"	15	N 53°16'39.36" E 80°39'28.92"
6	N 53°15'14.30" E 80°39'56.09"	16	N 53°16'55.28" E 80°40'30.86"
7	N 53°14'36.40" E 80°39'31.63"	17	N 53°17'42.35" E 80°40'02.66"
8	N 53°14'21.33" E 80°38'0.88"	18	N 53°18'10.58" E 80°39'00.64"
9	N 53°14'25.19" E 80°37'21.90"	19	N 53°18'46.33" E 80°40'32.51"
10	N 53°14'19.89" E 80°36'23.72"	20	N 53°19'10.56" E 80°39'39.50"

В пробу попадали все наземные лесные горючие материалы и верхний слой чернозема. На пожарище пробы представляли собой продукты горения лесной подстилки или ее остатков, а также верхний слой почв.

В свежих и горелых почвах определены плотность, величина рН водных суспензий и зольность. Плотность рассчитана, исходя из объема кольца и веса пробы, полученного при гамма-спектрометрическом анализе, величина рН – по опубликованным методикам [8], зольность – весовым методом [1]. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Все почвенные пробы проанализированы гамма-спектрометрическим методом на естественные радионуклиды – U / Ra, Th, K и искусственный ¹³⁷Cs (аналитики А. С. Степин и Н. И. Чернакова). Затем во всех почвенных и растительных образцах атомно-абсорбционным методом определены порообразующие (Fe, K, Na, Al, Ca, Mg) и микроэлементы (Ni, Co, Cd, Hg, Mn, Sr, Pb, Zn, Cu, Ba, Li, As). Анализ проб выполнен на приборе Soolar M6 (фирмы Thermo Electron, Англия) с зеэмановским и дейтериевым корректором фона. Аналитические работы выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, по аттестованным методикам, включающим плазменную и электротермическую атомизации (анализ проведен аналитиком Л. Н. Букреевой и автором И. С. Журковой). Диапазон определяемых элементов – от 0,00001 до 20 %. Пределы обнаружения в зависимости от исследуемого материала приведены в табл. 2. Относительная погрешность составляет 5–30 %. Точность анализа подтверждена выполнением государственных стандартных образцов почв и растений: ЗУА-1, ЗУК-1, ТР-1, ЛБ-1.

Таблица 2

Пределы обнаружения элементов в почвах и растениях атомно-абсорбционным методом

Элемент	Для почв	Для растительного материала	Элемент	Для почв	Для растительного материала
K	0,2	0,03	Co	1,5	0,2
Na	0,1	0,02	Cu	0,8	0,1
Ca	0,2	0,04	Cr	1,2	0,2
V	8	1,5	Cd	0,3	0,05
Ni	1,2	0,2	As	40	40
Mn	0,5	0,08	Al	7,5	1,5
Pb	1,7	0,3	Hg	0,005	0,005
Fe	1,2	0,2			

Количественное определение выноса или накопления в пожарище различных элементов (%) проведено простым отношением их среднего содержания на пожарище к значениям по фоновой площади.

Результаты и обсуждение

Почвенные материалы, отобранные для сравнения геохимических показателей горелых и фоновых площадей, представляют собой лесные подстилки с некоторой частью черноземных почв и иногда почвообразующих суглинков. Эти образцы содержат в себе как растительные, так и минеральные компоненты, которые, естественно, по-разному реагируют на воздействие высоких температур пожара: минеральная часть при тепловом градиенте низового пожара (400–600 °С) не может претерпеть какого-либо кардинального изменения, но растительные компоненты превращаются в золу и сажу. А это, несомненно, должно повлечь за собой изменение физико-химических показателей, что и подтверждают данные табл. 3.

Таблица 3

Показатели величины рН, плотности (ρ) и зольности в фоновых и горелых почвах

Фоновая площадь			Горелая площадь		
рН	ρ , г/см ³	Зольность, %	рН	ρ , г/см ³	Зольность, %
5,65	0,38	58	6,62	1,08	93
5,35	0,3	42	5,30	0,67	84
5,33	0,53	77	5,63	0,82	88
5,94	0,77	89	5,49	0,81	86
5,30	0,26	33	5,80	0,78	86
$x = 5,5$	$x = 0,45$	$x = 60$	$x = 5,8$	$x = 0,83$	$x = 87$

Примечание. x – среднее значение.

Зольность увеличивается с повышением плотности почвы, рН фоновой площади не зависит от этого показателя и меняется в диапазоне 5,30–5,94. При этом рН почв фоновых площадей ниже рН горелых, плотность и зольность также имеют более низкие показатели, причиной чего служит щелочная реакция зольного материала.

С изменением физико-химических показателей почвенного покрова пожара связано и различное поведение отдельных элементов: одни из них вовлекаются в атмосферную эмиссию, другие накапливаются в пожарах. В первую группу вошли Hg, Cd, Mn, Zn и ¹³⁷Cs, вторая группа представлена большей частью элементов, к которым относятся Fe, Al, K, Na, Co, Ni, Pb, Cu, Ba, Sr, Mg, V (табл. 4).

Попытка связать различное поведение химических элементов при пожаре с разными значениями их атомных радиусов не выявила никакой закономерности: в ряду увеличения этого показателя у Al ($1,43 \cdot 10^{-10}$), Cd, Hg ($1,60 \cdot 10^{-10}$), Sr, Cs-137 ($2,68 \cdot 10^{-10}$) наблюдается как вынос элементов (Cd, Hg), так и накопление (Al, Sr, Cs). Поскольку речь идет о резкой смене температуры от 10–20 до 400–600 °С, в которой оказываются элементы, был рассмотрен другой физический, наиболее вероятный, фактор – температура их кипения, а значит, и испарения ($T_{\text{кип}}$). Однако прежде, чем обратиться к рассмотрению влияния температуры, необходимо понять и геохимическую природу каждого из элементов, поскольку их распределение и подвижность зависят как от внешних факторов, так и от природы самих элементов. По свойствам железо, никель и кобальт близки между собой, вследствие близости атомных радиусов они, по-видимому, образуют в породообразующих минералах широкий ряд смешанных кристаллов [6]. В почве железо присутствует главным образом в виде оксидов и гидроксидов, находящихся в форме небольших частиц или связанных с поверхностью некоторых минералов. Чем ниже величина рН, тем выше содержание железа, при щелочных значениях рН содержания его минимальны. Для почвенного железа характерно сильное сродство к подвижным органическим комплексам и хелатам.

Таблица 4

Содержание элементов на пожарище и фоновой площади

Фон																				
	Fe	K	Na	Al	Ca	Mg	Ni	Co	Cd	Hg	Mn	Sr	Pb	Zn	Cu	Ba	V	U	Cs ¹³⁷	Th
Min	0,60	0,62	0,40	1,6	0,73	0,17	8,9	2,2	0,14	0,03	332	40,2	8,3	29,9	11	147	26	29	9	7
Max	1,4	1,6	1,3	3,4	0,89	0,26	14,1	4,4	0,20	0,07	543	67,1	11,7	49,9	16	313	44	108	11	9
<i>x</i>	0,9	1,1	0,8	2,5	0,82	0,22	10,8	3,3	0,17	0,06	429	55,7	9,7	37,2	12,4	246	32	69	10	8
<i>б</i>	0,27	0,36	0,35	0,67	0,06	0,08	2,0	0,78	0,05	0,014	70	10,3	1,2	8	1,9	67,8	8	29	0,8	0,8
Пожарище																				
Min	1,1	1,5	1,2	3,6	0,68	0,19	9,4	3,5	0,08	0,04	366	63,4	8,2	25,9	12	320	37	16	6	6
Max	1,4	1,8	1,4	3,7	0,74	0,27	20,8	4,6	0,10	0,07	390	102,6	11,8	51,7	17	345	46	30	10	9
<i>x</i>	1,3	1,6	1,3	3,7	0,7	0,22	14	4,08	0,09	0,049	376	80,5	10,3	32,8	14,6	333	40	24	7,5	7,8
<i>б</i>	0,11	0,1	0,05	0,14	0,02	0,03	3,9	3,9	0,007	0,011	8,3	13,8	1,16	9,7	1,74	10,2	3	5	1,6	1,1
<i>k</i>	26	33	36	48	14,6	0,0	29	22	-46	-21	-12	44	5,9	-11,8	17,7	35	20	-82	-25	2,5

Примечание. *k* – коэффициент выноса/накопления, в %; размерность элементов в мг/кг для всех, кроме U, ¹³⁷Cs, Th (Бк/кг).

Эти соединения ответственны за миграцию и перераспределение железа в почвенных горизонтах, а также выщелачивание его из почвенных профилей. Кроме того, они играют большую роль в обеспечении железом корневых систем растений. Кобальт в геохимических циклах тесно связан с железом и марганцем. В природных условиях встречается в двух состояниях окисления Co^{2+} и Co^{3+} . При выветривании горных пород никель легко высвобождается, а затем осаждается преимущественно с оксидами железа и марганца.

Со и Ni образуют соединения с оксидами железа, которые содержатся в почве в больших количествах, поскольку и само железо является одним из главных компонентов литосферы, и кислая среда почвы способствует образованию оксидов железа, с которыми впоследствии образуют соединения Ni и Co [6]. Видимо, большая часть образованных соединений не является летучей, и после горения они не только не выносятся в атмосферу, но и накапливаются в почвах, что и показывают результаты наших аналитических исследований (табл. 4).

Катионы меди обладают многообразными свойствами и в почвах, и в осадках проявляют большую склонность к химическому взаимодействию с минеральными и органическими компонентами. Ионы меди могут также легко осаждаться такими анионами, как сульфид, карбонат и гидроксид. В итоге Cu относительно малоподвижный элемент в почвах, и ее суммарные содержания обнаруживают сравнительно слабые вариации в почвенных профилях. Закономерное в широком масштабе распределение Cu в почвах показывает, что ее начальным состоянием в них управляют два главных фактора – материнское вещество и почвообразовательные процессы.

Большая часть Sr осаждается в виде биогенных карбонатов. Sr существует преимущественно в виде иона Sr^{2+} , однако хелатные формы также играют важную роль в круговороте Sr, который тесно связан с круговоротом Ca. Содержание Sr в почвах в большой степени контролируется составом материнских пород и климатом. Интервал его содержаний в поверхностных горизонтах составляет 18–3500 мг/кг. Распределение Sr в почвенном профиле наследует главные тенденции циркуляции почвенного раствора. Но в зависимости от свойств почвы оно может быть и незакономерным. В кислых почвах Sr активно вымывается вниз по профилю почвы, в известковых может замещаться различными катионами, в особенности H^+ .

В геохимических процессах Ba обычно ассоциируется с K^+ из-за большой близости их ионных радиусов, поэтому он присутствует в основном в составе щелочного полевого шпата и биотита. Ba, высвобождающийся при выветривании, малоподвижен, поскольку он легко осаждается в виде сульфатных и карбонатных солей, сильно адсорбируется глинами и концентрируется. Корки, образующиеся на поверхности почв в аридном климате, всегда обогащены барием. В почвах Ba легко мобилизуется в различных условиях, поэтому его концентрации в почвенных растворах обнаруживают значительные вариации. Поскольку данные элементы малоподвижны при осаждении в виде сульфатных и карбонатных солей, то они тоже не выносятся в атмосферу при горении, а накапливаются на горелых участках.

Cs, как и другие одновалентные катионы, концентрируется преимущественно в кислых магматических породах и глинистых осадках. Пределы содержания Cs в почвах – 0,3–26 мг/кг. ^{137}Cs является побочным продуктом атомной энергетики. Поскольку геохимические свойства этого радионуклида точно такие же, как у нерадиоактивных изотопов цезия, ^{137}Cs сразу же поглощается глинистыми минералами, а также органическим веществом почв. По-видимому, встречающиеся различия в характере поведения стабильного цезия и ^{137}Cs в почвенных геохимических процессах обязаны разному пути их поступления – из почвообразующих пород у стабильного и из атмосферы у радиоизотопов. Для обсуждения этой проблемы наших данных недостаточно, а задачей настоящего сообщения служило выяснение возможности поступления искусственных радионуклидов в район исследований после прекращения открытых испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне (1962 г.). Такие явления отмечались нами ранее для некоторых регионов Сибири [10]. Причиной этого могут служить как выбросы Чернобыльской АЭС, так и эоловый перенос радиоцезия в составе пыли из других областей.

Соединения Mn и Zn являются подвижными и биологически доступными. Поскольку они относятся к биофилам, то при горении попадают в атмосферу за счет сгорания растений. Среда исследуемых почв кислая (рН меньше 6), что обеспечивает большую подвижность цинку. Кроме того, атмосферное поступление Zn превышает его вынос за счет выщелачивания и образования биомассы [6]. Аналитические данные показывают, что его содержание на фоновых площадях выше, чем на горелых. Cd, по-видимому, концентрируется в глинистых осадках и сланцах. Геохимия Cd тесно связана с геохимией Zn, но Cd имеет большее сродство к S, чем Zn, и обнаруживает большую, чем Zn, подвижность в кислых средах. Превращение соединений ртути с органическим веществом, особенно метилирование элементарной Hg, играет наиболее важную роль в цикле ртути в окружающей среде. Метилированная Hg легкоподвижна и легко поглощается живыми организмами, в том числе некоторыми высшими растениями. Горение сопровождается выносом летучих соединений Hg и Cd в атмосферу. Вместе с тем комплексные соединения Hg и Cd являются малоподвижными и остаются в почвах, о чем свидетельствуют аналитические данные, которые показывают некоторые содержания Hg и Cd на исследуемых объектах и небольшое различие в содержании на фоновых и горелых площадях.

Исходя из геохимической природы каждого из указанных элементов, нами рассмотрено влияние температуры низового пожара на их поведение в зависимости от температур кипения. Проведено сравнение $T_{\text{кип}}$ ($T_{\text{исп}}$) для данных элементов (рис. 2).

Как видно на графике, $T_{\text{кип}}$ большей части элементов значительно выше этих температурных показателей низового пожара – 400–600 °С. Сравнение аппроксимированных значений выноса/накопления элементов в пожарище и температур их кипения позволяет в целом отметить закономерность: чем ниже температура кипения элемента, тем выше его способность мигрировать из пожарища. И наоборот – чем она выше, тем ниже возможность воздушной миграции.

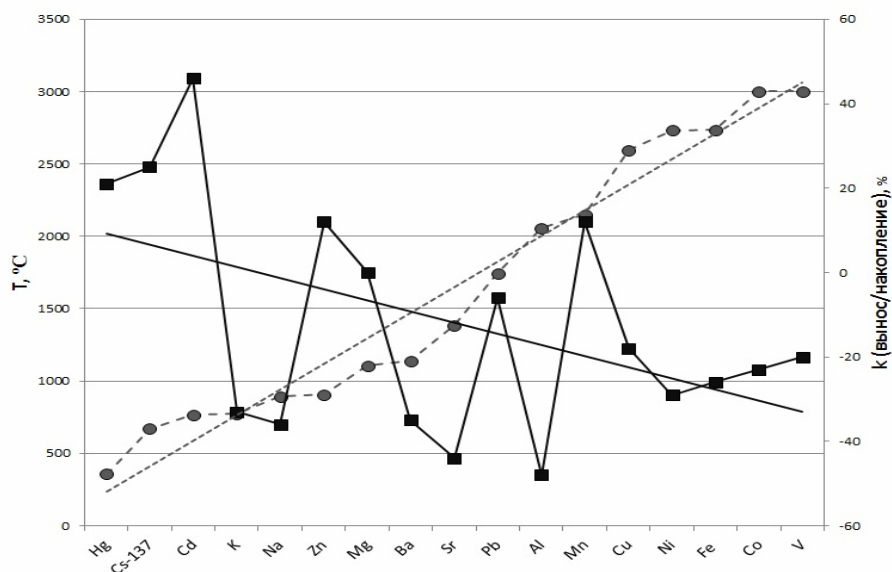


Рис. 2. Зависимость выноса/накопления элементов от температуры их кипения

Примечание. $r^2 = 0,098$, r^2 – коэффициент детерминации. Температура кипения элементов отмечена серыми кружочками, коэффициент выноса/накопления – черными квадратиками. Линия аппроксимации температуры кипения – серая прерывистая, линия аппроксимации коэффициента выноса/накопления – сплошная черная

Однако это не более чем общая закономерность, о чем свидетельствует резкое различие соседних данных на кривой, характеризующей поведение элементов при пожаре. Например, Hg, Mn, Zn, Cd и ^{137}Cs составляют группу атмосферных мигрантов, но температуры у них различаются весьма значительно. $T_{кип}$ Zn и Mn выше $600\text{ }^\circ\text{C}$, в то время как $T_{кип}$ Hg, ^{137}Cs и Cd соответствует температуре низового пожара.

Следует отметить пары элементов, которые, находясь в одном интервале температур кипения, ведут себя по-разному. На графике рис. 2 видно, что содержание Na при $T_{кип}$ $892\text{ }^\circ\text{C}$ накопилось на 36 %, а Zn при $T_{кип}$ $907\text{ }^\circ\text{C}$ вынеслось 11,8 %. Следующая пара элементов, имеющих близкие температуры кипения, это Al и Mn. Накопление Al составляет 48 % ($T_{кип}$ Al – $2056\text{ }^\circ\text{C}$), вынос Mn ($T_{кип}$ – $2151\text{ }^\circ\text{C}$) равен 12 %. Температуры кипения K и Cd также находятся в одном интервале (774 и $765\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно), но при этом содержание K на пожарище увеличилось на 33 %, а Cd, являясь подвижным элементом в кислых почвах, вынесен в составе дымового шлейфа (-46%).

Такое различие в поведении элементов при низовом пожаре объясняется тем, что из рассмотренных пар алюминий, калий и натрий, являющиеся порообразующими элементами, находятся в составе достаточно стойких минералов почв (полевых шпатов, слюд, хлоритов и т. д.), что определяет их накопление в почвах. $T_{кип}$ Al и Mn более чем в три раза выше температуры низового пожара, и если в случае с алюминием наблюдается закономерное поведение для порообразующих элементов в виде накопления на пожа-

рицах, то в случае марганца происходит вынос элемента при его горении. Вынос Mn связан с тем, что растительные материалы поглощают его двухвалентные соединения и при горении этот элемент выделяется в атмосферу в составе компонентов дымового шлейфа. К и Na поглощаются растительными материалами, но при этом являются порообразующими элементами, поэтому на фоне их накопления вынос не может быть зафиксирован.

Zn, имея $T_{\text{кип}}$ выше температуры низового пожара, аналогично марганцу, выносится при горении, поскольку он также легко поглощается органикой: одна часть его остается в золе, другая мигрирует в составе дымового шлейфа.

Несколько неожиданным выглядит уменьшение содержания Ca на пожарище. Он относится к порообразующим элементам и по характеру поведения при пожаре должен быть ближе к остальным элементам этой группы. Поэтому поведение его при лесных пожарах обязывает обратить на него особое внимание. Пока же можно лишь предположить, что высокие температуры пожара способствовали разогреву и движению к поверхности почвенных растворов, в которых его нахождение – обычное явление.

Заключение

В результате пожара любого типа (верховой или низовой) повышается зольность почв, что приводит к снижению кислотности (повышение pH). Поскольку тепловой градиент низового пожара не вызывает кардинальных изменений минеральной части и образование золы происходит за счет сгорания растительных компонентов, снижение кислотности в данном случае незначительно. pH почв фоновой и горелой поверхности составила 5,5 и 5,8 соответственно. С изменением физико-химических показателей почвенного покрова связано и различное поведение отдельных элементов.

Кроме того, поведение различных групп элементов при лесном пожаре низового типа зависит от температуры пожара и их начального состояния в компонентах биогеоценоза; порообразующие элементы, находящиеся в минеральной части, пассивно накапливаются за счет выноса других элементов. Однако и разница в поведении при пожаре элементов последней группы (порообразующих) дает основание считать, что на него влияет и их форма нахождения в почвах. Примером может служить Ca, содержание которого на горелой поверхности ниже фоновой, что не соответствует его порообразующей природе. Коэффициент выноса атмосферных мигрантов Cd, Hg, ^{137}Cs , температура кипения которых соотносится с температурой низового пожара, – 46, 21 и 25 % соответственно.

Есть основания полагать, что при сильных пожарах (верховые, поавальные), имеющих температуру 1000–1200 °С, ряд мигрирующих элементов увеличится, поскольку в него войдут элементы с температурой кипения, близкой к температуре верховых пожаров, в том числе Ba, Sr и Pb.

Список литературы

1. *Аринушкина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 491 с.
2. *Бабкин В. В.* Физиолого-биохимические особенности аспекта действия тяжелых металлов на растения / В. В. Бабкин, А. А. Завалин // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С. 17–21.
3. *Безель В. С.* Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов надземной фитомассой травянистой растительности / В. С. Безель, Т. В. Жуйкова // Экология. – 2007. – № 4. – С. 259–267.
4. *Будыко М. И.* Глобальные климатические катастрофы / М. И. Будыко, Г. С. Голицын, Ю. А. Израэль. – М. : Гидрометеоиздат, 1986. – 159 с.
5. *Валендик Э. Н.* Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири // Сиб. экол. журн. – 1996. – № 1. – С. 1–8.
6. *Кабата-Пендиас А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
7. *Парамонов Е. Г.* Крупные лесные пожары в Алтайском крае / Е. Г. Парамонов, Я. Н. Ишутин. – Барнаул : Дельта, 1999. – 193 с.
8. *Пустовалов Л. В.* Методы определения рН и Е_h в осадочных породах / Л. В. Пустовалов, Е. И. Соколова // Методы изучения осадочных пород. Т. 2. – М., 1957. – С. 116–127.
9. *Щербов Б. Л.* Биогеохимические особенности постпирогенных площадей в ленточных борах Западной Сибири // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2011. – № 3 (17). – С. 41–50.
10. *Щербов Б. Л.* Существует ли современное атмосферное загрязнение искусственными радионуклидами // Материалы V Междунар. биогеохим. шк. (Семипалатинск, 8–11 сент. 2005 г.). – Семипалатинск, 2005. – С. 499–500.
11. *Щербов Б. Л.* Лесные пожары и их последствия / Б. Л. Щербов, Е. В. Лазарева, И. С. Журкова. – Новосибирск : ГЕО, 2015. – 154 с.
12. *Shcherbov B. L.* Migration factors of radionuclides and heavy metals during forest fires in Siberia / В. L. Shcherbov, E. V. Lazareva // Adv. Environ. Res. – 2010. – Vol. 4. – P. 99–120.

The Behavior of Chemical Elements in the Forest Grass-Roots Fires (Altai Territory)

I. S. Zhurkova, B. L. Shcherbov

V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS

Abstract. Studying the behavior of chemical elements at the ground fire in 2011 near the village of Bayevo (Altai Territory) allowed them to identify two groups, the opposite of their reaction to the high temperatures of a forest fire: the first group consists of the elements involved in atmospheric emissions (Hg, Cd, Mn, Zn and ¹³⁷Cs), the second – in the area of accumulating conflagration (of Fe, Al, K, Na, Co, Ni, Pb, Cu, Ba, Sr, Mg, V). Behavior of elements in a fire conducted by comparing their average content in the “background space / conflagration”. Sampling conducted steel ring (50 mm diameter 84 mm). Analytical studies were conducted gamma spectrometry and atomic absorption methods on the device SoolarM6 with Zeeman and deuterium background corrector. After the fire,

the density and pH of the soil increased. Comparison of the boiling point of elements with indices of atmospheric removal / accumulation in the conflagration gave reason to bring one rule: the lower the boiling point of the element, the higher the probability of its migration in plume composition, and conversely, the higher the boiling point of the element, the more likely it passive accumulation in the area burned. However, this general rule is complicated biogeochemical properties of the elements.

Keywords: forest fire, postpyrogenic area, soil, heavy metals, migration.

Журкова Инна Сергеевна
 ведущий инженер
 Институт геологии и минералогии
 им. В. С. Соболева СО РАН
 630090, г. Новосибирск, пр. Академика
 Коптюга, 3
 тел.: (383) 330-81-10
 e-mail: zhurkova@igm.nsc.ru

Zhurkova Inna Sergeevna
 Leading Engineer
 V. S. Sobolev Institute of Geology
 and Mineralogy SB RAS
 3, Akademik Koptyug av., Novosibirsk,
 630090
 tel.: (383) 330-81-10
 e-mail: zhurkova@igm.nsc.ru

Щербов Борис Леонидович
 кандидат геолого-минералогических
 наук, старший научный сотрудник
 Институт геологии и минералогии им.
 В. С. Соболева СО РАН
 630090, г. Новосибирск,
 пр. Академика Коптюга, 3
 тел.: (383) 330-81-10
 e-mail: boris@igm.nsc.ru

Shcherbov Boris Leonidovich
 Candidate of Sciences (Geology
 and Mineralogy), Senior Researcher
 V. S. Sobolev Institute of Geology
 and Mineralogy SB RAS
 3, Akademik Koptyug av., Novosibirsk,
 630090
 tel.: (383) 330-81-10
 e-mail: boris@igm.nsc.ru