

Сравнение геохимических последствий при беглых и устойчивых низовых пожарах

Журкова И.С. , Щербов Б.Л.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, zhurkova@igm.nsc.ru; boris@igm.nsc.ru

Аннотация. Лесной пожар является важным фактором перераспределения химических элементов в почвенно-растительном покрове и окружающей среде. В результате лесных пожаров, с одной стороны в атмосферу поступают тяжелые металлы, к которым относят и токсичные элементы (Cd, Hg), с другой стороны, на горелых участках накапливаются породообразующие элементы (Fe, Al), а содержание элементов (Ni, Cu, Co) может как снижаться, так и повышаться на горелой поверхности в зависимости от типа пожара. Mn и Zn не являются летучими элементами, но их содержание после пожара чаще всего снижается, за счет прогорания растительных компонентов, в которых они содержатся.

Цель работы рассмотреть поведение химических элементов при беглом и устойчивом низовом пожаре. Отбор проб почв был проведен в Алтайском крае и Новосибирской области на фоновых (не горелых) и горелых участках. Валовые концентрации химических элементов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием пламенной и электротермической атомизации.

При беглом низовом пожаре Co, Ni, Cu выносятся из пожарища в небольших количествах, а прогорание верхнего слоя органической части способствует их накоплению на горелой поверхности. При устойчивых низовых пожарах наблюдается обеднение постпирогенной площади этими элементами, что происходит за счет выгорания большей части органической части и более длительного времени горения, а также выноса элементов в составе сажистых частиц. Беглый низовой пожар не оказывает сильного влияния на геохимическое перераспределение элементов, но приводит к загрязнению токсичными металлами, поступающими в атмосферу. Геохимические последствия устойчивого низового пожара более заметны, но основной вклад и в этом случае заключается в выносе в атмосферу ртути и кадмия в составе дымовых шлейфов.

Ключевые слова: лесные пожары, миграция элементов, тяжелые металлы, ртуть, никель, кобальт.

Comparison of geochemical consequences in runaway and sustained ground fires

Zhurkova I.S. , Scherbov B.L.

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, zhurkova@igm.nsc.ru; boris@igm.nsc.ru

Abstract. Forest fire is an important factor in the redistribution of chemical elements in the soil and vegetation cover and the environment. Because of forest fires, on the one hand, heavy metals enter the atmosphere, on the other side, rock-forming elements (Fe, Al) accumulate in burnt areas and the content of elements (Ni, Cu, Co) can both decrease and increase on the burnt surface, depending on the type of fire. Mn and Zn are not volatile elements, but their content decreases after due to the burning of plant components in which they are contained.

The purpose of the work is to consider the behavior of chemical elements in a runaway and stable ground fire. Soil sampling was carried out in the Altai Kray and Novosibirskaya oblast in the background (not burned) and burnt areas. Gross concentrations of chemical elements were determined by atomic absorption spectrometry using flame and electrothermal atomization.

During a rapid ground fire, Co, Ni, Cu are removed from the conflagration in small quantities, and the burning of the organic part contributes to their accumulation on the burnt surface. During stable ground fires, the post-pyrogenic area is depleted of these elements, which occurs due to the burnout of most of the organic part and a longer burning time, as well as the removal of elements in the composition of soot particles. A runaway ground fire doesn't have a strong effect on the geochemical redistribution of elements, but leads to pollution with toxic metals released into the atmosphere. The geochemical consequences of a stable ground fire are more noticeable, but the main contribution in this case is the release of Hg and Cd into the atmosphere as part of smoke plumes.

Keywords: forest fires, element migration, heavy metals, mercury, nickel, cobalt.

Введение

Лесные пожары условно делятся на три вида: подземные, низовые, верховые. При низовом пожаре сгорают растения, образующие нижние ярусы леса (кустарниковый, травяной и моховой покров). В результате беглого низового пожара сгорают верхняя часть напочвенного покрова, подрост и подлесок. При устойчивом низовом пожаре длительность горения выше, в этом случае кроме напочвенного покрова сгорает лесная подстилка, старые пни, валежник деревьев (Ильина, 2011; Щербов и др., 2015). Устойчивые низовые пожары условно можно обозначить как вторую стадию беглых, поскольку низовой пожар начинается с загорания легковоспламеняющихся материалов напочвенного покрова, охватывает определенную площадь, а затем заглубляется в подстилку или подходит к участкам со значительным количеством горючих материалов и становится устойчивым (Залесов, 2011).

Лесной пожар приводит к геохимическому перераспределению элементов. В зависимости от типа пожара, условий его протекания, с одной стороны в атмосферу поступает ряд элементов, в частности, тяжелые металлы, в составе дымовых шлейфов; с другой стороны, некоторые элементы накапливаются на постпирогенных площадях. В целом, чем выше температура пожара, тем больше концентрация элементов как в атмосферных поступлениях, так и на поверхности обгорелых почв. Однако, это лишь общая тенденция, поскольку каждый рассматриваемый пожар имеет ряд уникальных характеристик и даже в случае, когда тип пожара одинаков, имеются различия, связанные с погодными условиями, геохимическими характеристиками элементов, их особенностью распределения и форм нахождения в лесных горючих материалах.

Цель работы рассмотреть поведение химических элементов (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd, Hg) при разных подтипах низового пожара.

Материалы и методы

Для изучения геохимической миграции элементов была выбрана методика отбора проб почв, с последующим сравнением концентраций элементов, на фоновых (не горелых) и горелых площадях.

Коэффициент выноса/накопления (в %) считался по формуле:

$$k = \frac{x_{\text{г}} \cdot 100}{x_{\text{ф}}} - 100,$$

где $x_{\text{г}}$ – среднее содержание элемента в почве на горелой поверхности, $x_{\text{ф}}$ – среднее содержание элемента в почве на фоновой поверхности.

Пробы почв отбирались по стандартизированной методике металлическим кольцевым пробоотборником (высота 50 мм, диаметр 84 мм), используемым при экогеохимических исследованиях, путем вдавливания пробоотборника (ГОСТ, Почвы, 2018). На фоновых местах в пробу попадали мхи, лишайники, свежий опад, лесная подстилка, т.е. все наземные лесные горючие материалы (ЛГМ) и верхний слой почвы (пески, суглинки), на пожарищах – продукты горения ЛГМ и минеральная составляющая. Масса проб составляла в среднем 80–120 г. Сухие образцы упаковывали в тряпичные продуваемые мешки (Журкова, 2020).

Образцы почв высушивались в лабораторных условиях до воздушно-сухого состояния, измельчались на дробилке до однородной массы, тщательно перемешивались, квартовались, взвешивались. Перед выполнением анализа (на элементы Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd) истирались в агатовых ступках и озолялись в муфельной печи при температуре 525 °С в течение 3 ч (ГОСТ 27784-88). Образцы почв, анализируемые на ртуть, высушивались в лабораторных условиях при комнатной температуре (без попадания солнечных лучей) до воздушно-сухого состояния.

Валовые концентрации химических элементов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием пламенной и электротермической атомизации по общепринятым методикам (Симонова, 1986).

В качестве районов, для проведения исследований были выбраны Алтайский край (вблизи с. Баево) и Новосибирская область (Караканский бор) (рис. 1).

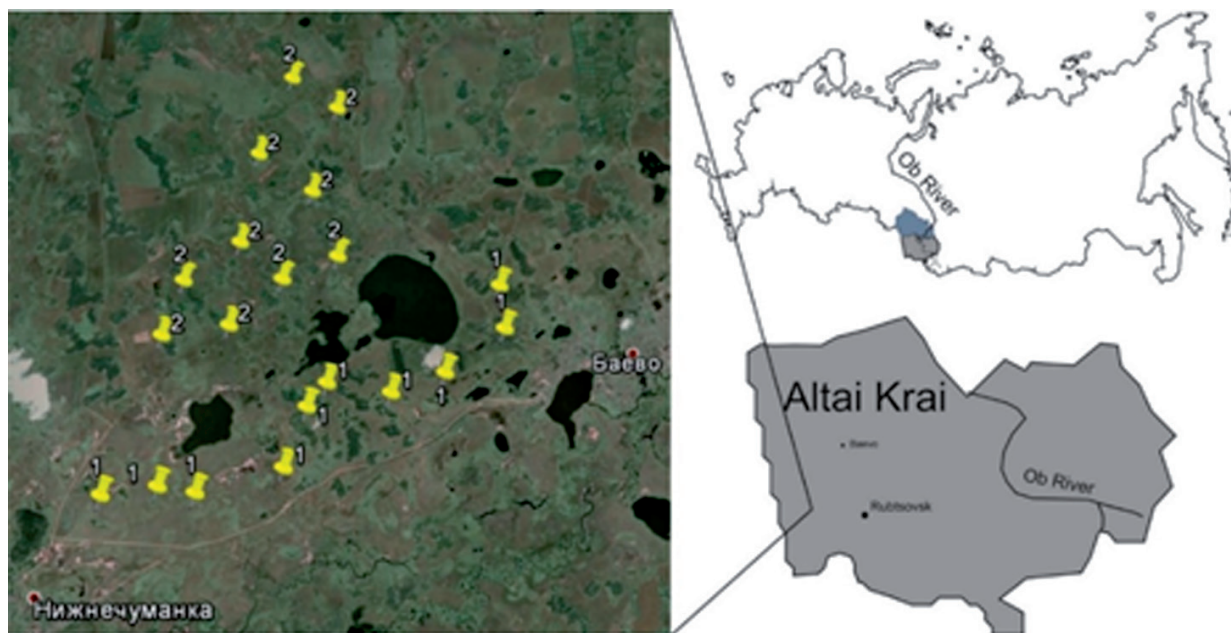


Рис. 1. Схема отбора проб (Алтайский край).

1 – точки отбора на фоновой поверхности, 2 – точки отбора на горелой поверхности.

Fig. 1. Sampling scheme (Altai Kray).

1 – sampling points on the background surface, 2 – sampling points on the burnt surface.

На территории сосновой полосы, сформированной в результате искусственных посадок 1974 г. в черноземе, произошел низовой пожар, который охватил основную часть посадок (4 из 5 га). Исследование проходило спустя 2 года после пожара. Было отобрано 20 проб почв на фоновой и горелой площадях.

Караканский бор, расположенный в Ордынском районе Новосибирской области содержит множество речек и ручьев, впадающих в Новосибирское водохранилище (Грицкевич, 2015). (рис. 2). На территории Караканского бора в мае 2006 г. произошел пожар, сочетающий низовой и повально-верховой, возникший в четырех местах через короткие промежутки времени (что свидетельствует о преднамеренном поджоге) (Журкова, 2018). В рамках данной работы рассмотрены территории с лесным пожаром низового типа. Отбор проб почв проведен в 20 точка (10 образцов на фоновой, 10 образцов на горелой).

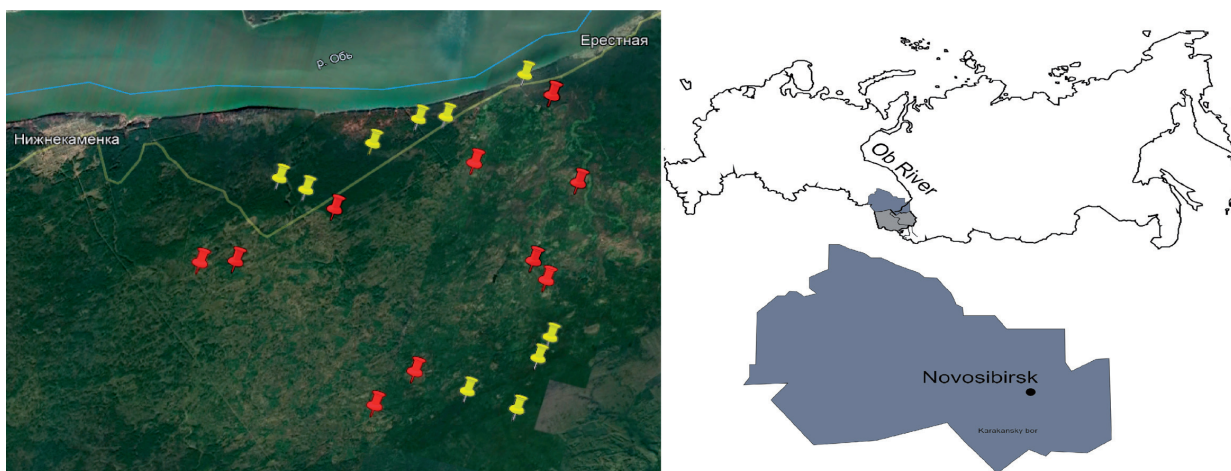


Рис. 2. Схема отбора проб (Новосибирская область).

Желтым указаны точки отбора на фоновой поверхности, Красным указаны точки отбора на горелой поверхности.

Fig. 2. Sampling scheme (Novosibirsk region).

Yellow indicates sampling points on the background surface, Red indicates sampling points on the burnt surface.

Выбор расстояний между точками отбора контролировался размерами пожарища, а длина трансекта – изменением ландшафтных условий: при одинаковых параметрах достаточным считался отбор 6–10 проб за пределами гари. Основные задачи исследований решались сравнением концентраций элементов на фоновых и выгоревших площадях (Щербов и др., 2015).

Результаты и обсуждения

Полученные результаты показали, что в образцах почв, отобранных на фоновых площадях в Караканском бору Новосибирской области концентрации всех рассматриваемых элементов (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cd, Hg) выше, чем на фоновой площади Алтайского края. На обеих территориях определено снижение концентраций в горелых почвах для следующих элементов: ртуть, кадмий, марганец; при этом отмечено увеличение концентрации свинца. Концентрации элементов (Al, Cu, Co, Ni) имеют более низкие значения в образцах, отобранных на горелых площадях, чем на фоновых в Новосибирской области и более высокие в Алтайском крае. Напротив, более низкие значения в образцах с горелых площадей, чем на фоновых определены для Zn в Алтайском крае (табл. 1).

Таблица 1. Содержания (Fe, Al – %, Mn, Zn, Co, Cu, Ni, Hg, Cd, Pb – мг/кг) и коэффициенты выноса/накопления (%) химических элементов в образцах почв на фоновых и горелых поверхностях

Table 1. Contents and coefficients of removal/accumulation of chemical elements in soil samples on background and burnt fires

	Fe	Al	Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cd	Hg
1ф	1.10	3.8	798	42	16	4.4	13.3	11.3	0.27	0.38
1г	1.13	3.5	715	50	13	3.6	13	13.5	0.14	0.25
k1	3	-9	-10	16	-17	-18	-2	16	-48	-34
2ф	0.9	2.5	429	37	12	3	11	9.7	0.17	0.06
2г	1.3	3.7	376	33	14	4	14	10.3	0.09	0.05
k2	30	32	-12	-11	14	17	21	6	-47	-16

Примечание: 1ф, 1г – фоновая поверхность, горелая поверхность (Новосибирская область); 2ф, 2г – фоновая, горелая поверхность (Алтайский край); k1, k2 – коэффициент выноса/накопления в почвах Новосибирской области и Алтайского края, соответственно.

Note: 1ф, 1г – background surface, burnt surface (Novosibirsk region); 2ф, 2г – background surface, burnt surface (Altai region); k1, k2 – removal/accumulation coefficient in soils of Novosibirsk region and Altai region, respectively.

Температура низового пожара варьируется в диапазоне 400–750 °С. Поведение химических элементов при горении почвенно-растительного покрова зависит от температуры горения, типа соединения, в котором находится сам элемент, от мощности сгораемой лесной подстилки и распределения в ней рассматриваемых элементов (рис. 3). Железо и алюминий являются одними из главных элементов земной коры (Кабата-Пендиас, 1989), их общее содержание унаследовано от материнской породы, однако миграция и перераспределение этих элементов в почвенных горизонтах происходит в том случае, если железо находится в составе органических комплексов и хелатов; а алюминий в легкоподвижных фракциях, способных к катионному обмену (McLean, 1976). Более высокие концентрации этих элементов на горелой поверхности (в отличие от не горелой) в Алтайском крае вызвано прогоранием органической части, входящей в лесную подстилку, и преобладанием минеральной составляющей. Снижение содержания алюминия на горелой поверхности в Новосибирской области незначительно, а железа и вовсе близко к содержанию на фоновой. В данном случае с одной стороны, было более глубокое прогорание лесной подстилки, поскольку, как показывают и другие данные, здесь был устойчивый низовой пожар, с другой стороны, время после пожара больше, поэтому содержание породообразующих элементов могло выравниваться.

Обращают на себя внимание три элемента: никель, кобальт и медь, содержание которых ниже в образцах, отобранных на горелой поверхности в Новосибирской области (Караканский бор), чем на фоновой, в отличие от Алтайского края, где их содержание на горелой поверхности выше. Повышение содержания кобальта на горелых площадях (на 17 %) обосновано увеличением сорбции

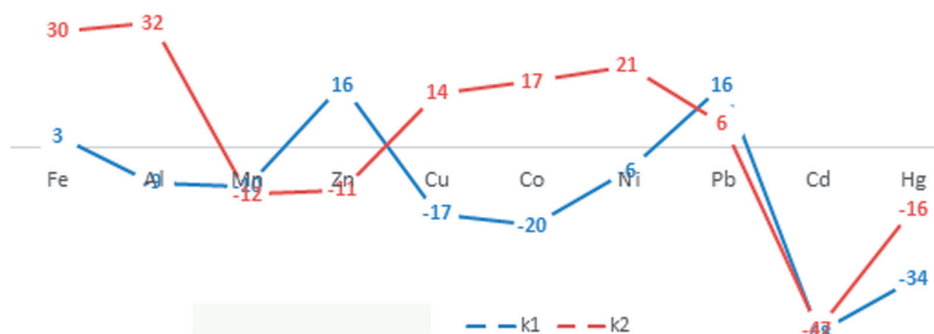


Рис. 3. Вынос/накопление элементов при низовом пожаре.
1 – Караканский бор, Новосибирская область; 2 – с. Бaeво, Алтайский край.

Fig. 3. Removal/accumulation of elements during ground fire.
1 – Karakanskybor, Novosibirsk region; 2 – s. Bayevo, Altai Kray.

кобальта оксидами железа и марганца, которая повышается с ростом pH, к чему приводит пожар любого типа.

Кобальт, медь и никель в верхних горизонтах почвенного профиля присутствуют главным образом в органически связанных формах, часть из которых представлена легкорастворимыми хелатами, поэтому их более низкое содержание на горелых площадях в отличие от фоновых, говорит об устойчивом низовом пожаре, при котором глубина прогорания лесной подстилки выше, чем при беглом низовом пожаре. А разница в поведении элементов в пожарных Алтaйского края и Новосибирской области дает основание предполагать, что в первом случае проходил беглый низовой пожар и огонь охватил лишь верхние слои лесной подстилки. Подтверждает этот факт и количественный вынос ртути, который для Алтaйского края равен 16 %, а для Новосибирской области вдвое выше (34 %), поскольку за счет прогорания большего объема органической части в атмосферу вынеслось больше ртути.

Снижение содержания кадмия практически на 50% подтверждает неоднократные утверждения о том, что кадмий является хорошим мигрантом и имея температуру кипения близкую к температуре низового пожара активно выносится в атмосферу. Поведение свинца типично для этого элемента в условиях низового пожара, поскольку температура его кипения значительно превышает температуру низового пожара, а его вынос наблюдается лишь при верховых пожарах (Щербов и др., 2015).

Заключение

Как показывают полученные данные, поведение химических элементов при лесных пожарах может отличаться не только в случае, если типы пожаров кардинально отличаются друг от друга (низовой и верховой), но и при условии одного типа пожара, который характеризуется как низовой, видны различия. Как сказано выше, низовой пожар делится на беглый и устойчивый. При беглом пожаре чаще всего охватывается верхний слой подстилки, а при устойчивом низовом пожаре прогорание идет в глубину подстилки. Немаловажное значение имеют погодные условия, при которых протекает пожар, степень влажности лесных горючих материалов, рельеф поверхности.

Весомое значение имеют и формы нахождения элементов в почвенно-растительном покрове, так, например, чем больше оксидов марганца и железа в почве, тем выше сорбция ими кобальта, и, соответственно, выше его содержание. Наши данные показывают практически одинаковое содержание кобальта на фоновой поверхности как в Новосибирской области, так и в Алтaйском крае, однако его содержание на постпирогенных площадях различается, что объясняется разными условиями протекания низового пожара.

Таким образом, при беглом низовом пожаре кобальт, никель, медь, если и выносятся из пожарного, то в небольших количествах, а прогорание верхнего слоя органической части способствует их накоплению на горелой поверхности. При устойчивых низовых пожарах наблюдается обеднение постпирогенной площади этими элементами, что происходит за счет выгорания большей части ор-

ганической части и более длительного времени горения, а также выноса элементов в составе сажистых частиц. Поведение железа и алюминия типично при рассматриваемых условиях горения, после беглого пожара, аналогично кобальту, никелю, меди, наблюдается накопление, после устойчивого пожара небольшое снижение. Тяжелые металлы, ртуть и кадмий, относящиеся к токсичным элементам и имеющие температуры кипения близкие к температурам низового пожара, выносятся в атмосферу как при беглом, так и при устойчивом низовых пожарах.

В заключении следует отметить, что беглый низовый пожар не оказывает сильного влияния на геохимическое перераспределение элементов, но приводит к загрязнению токсичными металлами, поступающими в атмосферу. Геохимические последствия устойчивого низового пожара более заметны, но основной вклад и в этом случае заключается в выносе в атмосферу ртути и кадмия в составе дымовых шлейфов.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№122041400193-7) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Аналитические исследования проведены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследованиях СО РАН.

Литература

1. ГОСТ 27784-88 Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. М.: Стандартинформ. 1988. 7с.
2. ГОСТ 17.4.4.02.2017 Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ. 2018. 21 с.
3. Грицкевич О.В. Развитие рекреационного потенциала территории на примере Караканского бора Ордынского района Новосибирской области // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 3. № 1. С. 46–51.
4. Журкова И.С. Постпирогенный элементный состав почвенно-растительного покрова в сосновом бору (Новосибирская область) // Воронежский вестник. 2018. С. 44–49.
5. Журкова И.С. Миграция ртути в постпирогенных условиях // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 7. С. 63–70.<https://doi.org/10.18799/24131830/2020/7/2719>.
6. Залесов А.С. Классификация лесных пожаров. 2011. 15 с.
7. Ильина В.Н. Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20. № 2. С. 4–30.
8. Симонова В.И. Атомно-абсорбционные методы определения элементов в породах и минералах. Новосибирск: Наука. 1986. 212 с.
9. Щербов и др. Лесные пожары и их последствия. Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2015. 154 с.
10. McLean E.D. Chemistry of soil aluminum // Communications in soil science and plant analysis. 1976. V. 7. P. 619–636.