ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛУГОВИКА ИЗВИЛИСТОГО В ФОНОВЫХ И АНТРОПОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАЙОНАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Сухарева Т.А.

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Анапты, s.tat.a@mail.ru

В напочвенном покрове северо-таежных лесов наряду с кустарничками, зелеными мхами и лишайниками нередко встречается луговик извилистый (*Avenella flexuosa* (L.) Drejer.). Это многолетнее травянистое растение, жизненная форма которого изменяется в процессе онтогенеза от плотно-рыхлодерновинной с надземными столонами, формирующимися обычно во взрослом состоянии [1]. Предположительно мог возникнуть в доледниковую эпоху, и обитать в ранних постледниковых хвойных и березовых лесах [10]. На северных пастбищах является ценным зимним кормом для оленей, более богат протеином и сахарами, чем лишайники [3]. Известно, что растительный покров северо-таежных лесов подвержен разнообразным внешним воздействиям, в том числе аэротехногенному воздействию. В таких условиях трансформируется химический состав наземных вегетативных органов растений, выражающийся в потере биофильных элементов и накоплении поллютантов. Сведения об элементном составе луговика извилистого в литературе немногочисленны [5, 6], хотя данный вид является устойчивым компонентом растительных сообществ в условиях техногенного загрязнения.

Целью данного исследования явилась оценка химического состава листьев луговика извилистого в условиях воздействия металлургических предприятий предприятия АО «Кольская ГМК».

Объект исследования – луговик извилистый (*Avenella flexuosa* (L.) Drejer.), произрастающий в северо-таежной подзоне ельников кустарничково-зеленомошных и сосняков лишайниково-кустарничковых, функционирующих на иллювиально-гумусовых подзолах. Исследования проводили в 2012-2013 г. в центральной, юго-западной и северо-западной части Мурманской области на сети постоянных пробных площадей (ПП) Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН в ненарушенных экосистемах и в зонах воздействия металлургических предприятий Мурманской области. ПП представляют основные стадии дигрессионной сукцессии северо-таежных лесов [4]. Обследовано 8 ПП, расположенных по градиенту промышленного загрязнения от комбинатов «Североникель» (7, 31, 62 км) и «Печенганикель» (5, 7, 14, 44 км). Экосистемы, подверженные воздушному загрязнению, представлены дефолирующими лесами (20-100 км от источника загрязнения) и техногенными редколесьями (5-20 км). Фоновые ПП расположены на значительном расстоянии от источника атмосферных выбросов, в юго-западной части Мурманской области. Ассимилирующие органы луговика отбирали в конце периода вегетации (август) в подкروновых и межкروновых пространствах в 5-кратной повторности. В зоне воздействия комбината «Печенганикель» пробы объединены в смешанный образец. Металлы (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn) определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, K – атомно-эмиссионной спектрометрии; P – фотоколориметрическим методом по интенсивности окраски фосфорно-молибденового комплекса (метод Лоури-Лопеса); S – турбидиметрическим методом, N – по методу Кьельдаля, C – по методу Тюрина.

Установлено, что луговик извилистый отличается сравнительно высокой зольностью – 3.0-3.5 % на сухое вещество [5]. В таблице 1 приведены данные по содержанию макро- и микроэлементов в ассимилирующих органах луговика. Из минеральных элементов в луговике преобладают калий, азот и фосфор, ряд накопления имеет следующий вид: K>N>P>Ca>S>Mg>Mn>Fe>Al>Zn>Ni>Cu. Таким образом, луговик определяет азотно-калиевый тип биогеохимического круговорота. Фоновое содержание углерода в луговике составляет 41-51 %. В условиях загрязнения содержание углерода остается в пределах фоновых значений, хотя в отдельных случаях может достигать 53-57 %.

Фоновая концентрация Ni в луговике варьирует в широких пределах, изменяясь от 2.3 до 5.8 мг кг⁻¹. Диапазон изменения содержания Cu уже и составляет от 3.4 до 4.1 мг кг⁻¹. В условиях атмосферного загрязнения луговик накапливает тяжёлые металлы (Cu, Ni), превышающие фоновые концентрации в 1.2-3 раза на стадии дефолирующих лесов и в 7-10 раз – вблизи источников атмосферных выбросов (стадия техногенного редколесья). Никель аккумулируется в луговике более ин-

Рис. 1. Содержание Ni и Cu в луговике извилистом в зоне воздействия комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» (межкроновое пространство), мг кг⁻¹ абс. сух. в-ва, 2012 г.

тенсивно (рис. 1). Данная особенность в условиях атмосферного загрязнения отмечена и для других представителей биоты: хвойных и лиственных деревьев, кустарничков и лишайников [2, 7, 9]. Максимальная концентрация Fe отмечена на расстоянии 5-7 км от комбинатов. Выявлена положительная корреляционная связь между содержанием железа и никеля ($r=0.88$, $p<0.01$, $n=31$), железа и меди ($r=-0.68$, $p<0.01$, $n=31$). Отрицательные значения коэффициентов корреляции установлены между железом и кальцием ($r=-0.38$, $p<0.05$, $n=31$).

По градиенту атмосферного загрязнения от комбината «Североникель» увеличивается содержание кальция в луговике (табл. 1). В окрестностях комбината, где формируются техногенные редколесья, почвообразующие породы, содержащие габбро и габбронориты, обогащены основными катионами [4]. Благодаря этому бореальные растения в окрестностях комбината существенно не обедняются основными катионами и могут содержать даже повышенные по сравнению с фоном концентрации кальция. Содержание калия и фосфора в луговике на данной стадии дигрессии достоверно ниже фоновых показателей, что может быть обусловлено антагонистическим взаимодействием между элементами, что подтверждают рассчитанные коэффициенты корреляции: Ca-K ($r=-0.55$, $p<0.01$, $n=31$), Ca-P ($r=-0.45$, $p<0.01$, $n=31$). Напротив, между калием и фосфором выявлена тесная положительная корреляционная связь ($r=0.81$, $p<0.01$, $n=31$).

В зоне воздействия металлургических комбинатов в луговике достоверно ($p<0.01$) снижается концентрация марганца (табл. 1). Наиболее значительно обедняются этим элементом растения техногенных редколесий: концентрация Mn в 2-4 раза ниже фоновых показателей. Одной из причин является критическое снижение содержание данного элемента в органогенном горизонте почв и одновременное обогащение почвы тяжелыми металлами на данной стадии сукцессии северотаежных лесов [8]. Кроме того, увеличение концентрации меди и никеля в луговике также приводит к снижению содержания марганца. Прослеживается отрицательная корреляционная связь между Mn-Ni ($r=-0.44$, $p<0.01$, $n=31$), Mn-Cu ($r=-0.51$, $p<0.01$, $n=31$).

Выявлены парцеллярные различия в элементном составе луговика, произрастающего в подкروновых и межкروновых пространствах. Значительное влияние на химический состав оказывают древесные растения (табл. 1, 2). Под кроной березы и сосны в луговике отмечены более высокие концентрации K, N, P ($p>0.05$). В березовой парцелле отмечено максимальное содержание перечисленных элементов. Под кроной сосны и березы возрастают концентрации тяжелых металлов – никеля и меди. Таким образом, дополнительным источником элементов минерального питания становятся элементы, вымываемые осадками из кроны деревьев.

Таблица 1. Элементный состав луговика извилистого в зоне воздействия комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» (в южном и юго-западном направлении от источника выбросов), 2012 г.

Расстояние от комбината, км	K, г/кг	N, г/кг	P, г/кг	Ca, г/кг	S, г/кг	Mg, г/кг	Mn, г/кг	Fe, мг/кг	Zn, мг/кг
175 (260)*	15.6±1.4	12.4±0.4	2.1±0.1	1.5±0.1	1.0±0.2	0.8±0.1	0.8±0.1	37±2	18±1
Комбинат «Североникель» еловые леса									
62	13.2±0.1	9.4±0.4	1.5±0.1	1.7±0.2	0.7±0.1	0.6±0.0	0.4±0.0	36±2	13±1
31**	13.7±0.1	11.4±1.1	1.9±0.1	2.3±0.2	1.0±0.1	0.7±0.0	0.6±0.1	44±2	13±1
7	10.7±0.1	15.1±0.8	1.1±0.1	2.3±0.2	1.7±0.2	0.9±0.1	0.2±0.0	63±2	23±1
Комбинат «Печенганикель» сосновые леса									
44	$\frac{15.2}{16.5}$	$\frac{13.7}{13.6}$	$\frac{1.9}{1.7}$	$\frac{1.3}{1.2}$	$\frac{0.9}{1.1}$	$\frac{0.9}{0.8}$	$\frac{0.3}{0.4}$	$\frac{33}{39}$	$\frac{13}{15}$
14	$\frac{11.8}{16.9}$	$\frac{9.9}{11.2}$	$\frac{1.5}{1.6}$	$\frac{1.3}{1.4}$	$\frac{0.8}{1.0}$	$\frac{0.8}{0.9}$	$\frac{0.5}{0.7}$	$\frac{53}{59}$	$\frac{14}{17}$
7	$\frac{16.3}{19.0}$	$\frac{11.4}{13.3}$	$\frac{2.2}{2.4}$	$\frac{1.3}{1.1}$	$\frac{0.8}{0.9}$	$\frac{0.8}{0.8}$	$\frac{0.4}{0.4}$	$\frac{111}{154}$	$\frac{11}{15}$
5	$\frac{17.2}{21.3}$	$\frac{11.7}{14.0}$	$\frac{1.9}{2.4}$	$\frac{1.2}{1.4}$	$\frac{1.0}{1.0}$	$\frac{0.9}{1.0}$	$\frac{0.3}{0.4}$	$\frac{51}{81}$	$\frac{15}{22}$

Примечание: здесь и в табл. 2 приведены средние значения ($\pm$ стандартная ошибка).

*– фоновая территория, расстояние указано от медно-никелевых комбинатов «Североникель» («Печенганикель») **– Лапландский государственный природный биосферный заповедник.

над чертой – межкروновые пространства, под чертой – подкroновые (в остальных случаях данные только по межкroновым пространствам).

Рис. 2. Содержание Ni и Cu в луговике извилистом в зоне воздействия комбината «Печенганикель» (12 км в северном направлении от источника выбросов) в межкroновых и подкroновых пространствах, мг кг⁻¹ абс. сух. в-ва, 2013 г.

В результате проведенных исследований установлено, что трансформация химического состава луговика по сравнению с фоновыми значениями наблюдается на всех пробных площадях по градиенту загрязнения от металлургических комбинатов. Атмосферные выбросы плавильных цехов комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» являются главным источником повышенных концентраций тяжелых металлов в луговике в процессе техногенной дигрессии северо-таежных лесов. Наибольшие концентрации Ni, Cu, Fe в луговике отмечены на расстоянии до 5-7 км от металлургиче-

ских комбинатов, на стадии техногенных редколесий. Значительное влияние на химический состав луговика оказывают древесные растения. В подкروновых пространствах фитоценозов в луговике возрастает концентрация К, N, P, Fe, Ni, Cu. Почвенные условия и антагонистические отношения между элементами также определяют химический состав луговика на фоновых и техногенно нарушенных территориях.

Таблица 2. Элементный состав луговика извилистого сосновых лесов в зоне воздействия комбината «Печенганикель» (12 км в северном направлении от источника выбросов) в межкروновых и подкروновых пространствах, 2013 г.

Пространство (парцелла)	K, г/кг	N, г/кг	P, г/кг	Ca, г/кг	S, г/кг	Mg, г/кг	Mn, г/кг	Fe, мг/кг	Zn, мг/кг
межкроновое	12.0±1.2	4.2±0.1	1.5±0.1	1.5±0.1	1.5±0.0	0.7±0.0	0.6±0.0	85±3	11±1
подкroновое (сосновая)	15.0±1.3	4.7±0.3	1.7±0.1	1.4±0.1	1.5±0.0	0.8±0.0	0.5±0.1	116±3	13±1
подкroновое (березовая)	16.0±0.9	5.7±0.4	2.0±0.1	1.2±0.1	1.5±0.0	0.7±0.0	0.5±0.1	104±11	15±1

Литература

1. Жукова Л. А. Биологическая флора Московской области. Вып. 5. 1980. Изд-во Московского университета. С. 46-57.
2. Исаева Л.Г., Сухарева Т.А. Элементный состав дикорастущих кустарничков в зоне воздействия комбината «Североникель»: данные многолетнего мониторинга // Цветные металлы. 2013. № 10. С. 86-92.
3. Ларин И.В. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. Т. 1-2. М.-Л.: Сельхозгиз.
4. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН. 1998. 316 с.
5. Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН. 1994. 315 с.
6. Рассеянные элементы в бореальных лесах / Отв. ред. А.С. Исаев. М.: Наука. 2004. 616 с.
7. Сухарева Т.А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях техногенного загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. № 3. С.369-376.
8. Сухарева Т.А. Пространственно-временная динамика микроэлементного состава хвойных деревьев и почвы в условиях промышленного загрязнения // Изв. высших учебных заведений. Лесной журнал. № 6. 2013. С. 19-28.
9. Сухарева Т.А. Элементный состав талломов лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения // Тр. КарНЦ РАН. 2016. № 4. С. 70-82.
10. Sciirfield G. Biological flora of British Isles: *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. –Journ. Ecol. V. 42. № 1.