

ЭКОЛОГИЯ

УДК 633.2

А.В. Пузанов,
С.С. Мешкина

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РАСТЕНИЯХ ДОЛИНЫ СРЕДНЕЙ КАТУНИ

Ключевые слова: микроэлементы, растение, семейство, организм, дефицит, избыток, почва, содержание, фон, территория, Катунь.

Введение

Растительность, играя роль промежуточного резервуара, через который микроэлементы переходят из почв, а частично из воды в организм человека и животных, является важнейшим компонентом биосферы, причем компонентом сложным и динамичным. Растения могут накапливать микроэлементы, особенно тяжелые металлы. В связи с предполагаемым гидроэнергетическим освоением Катунь изучение микроэлементного состава растений данной территории является актуальной задачей.

Химический состав растений зависит от двух главных факторов – генетического и экологического. Генетический фактор лежит в основе формирования химического состава растений и регулирует потребности в определенных элементах отдельных групп растений (семейств, родов), поэтому содержание в растениях химических элементов «для каждого организма есть видовой признак», что справедливо для фоновых территорий [1]. Экологический же фактор мешает реализации генотипической программы поглощения химических элементов растениями, особенно в тех случаях, когда среда обитания обогащена соединениями этих элементов [2].

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились доминантные виды растений долины Средней Катунь.

Микроэлементы в растениях определяли методом количественного спектрального анализа в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления в муфельной печи при $T = 525^{\circ}\text{C}$ до получения золы белого или бежевого цвета без обугленных частиц. Определение растений проводили с помощью определителя Флора Сибири.

В работе приняты следующие обозначения вариационно-статистических параметров: n – объем выборки, lim – пределы колебания параметров, \bar{x} – средняя арифметическая, S_x – ошибка средней арифметической, V – коэффициент вариации, %.

Результаты и их обсуждение

По геоботаническому районированию А.В. Куминовой исследуемая нами территория относится к Средне-Катунскому горно-лесостепному району подпровинции «Центральный Алтай» [3]. В растительности большое значение имеют ксерофиты (ксерофиты и мезоксерофиты) в составе таких семейств, как маревые, бобовые, розоцветные; петрофиты – свойственны лилейным, гвоздичным, крестоцветным, бобовым, бурачниковым, сложноцветным.

Нами был отобран 31 вид растений долины Средней Катунь. Доминировали растения семейств бобовые, сложноцветные и розоцветные. Концентрации элементов в растениях приведены в мг/кг воздушно-сухой массы.

В сельскохозяйственных культурах количество бария колеблется в пределах 1-200 мг/кг сухого вещества. Хотя о токсичных концентрациях Ва в растениях ма-

по данным, некоторые ученые отмечают, что содержание 1-2% Ва (на сухую массу) для растений является очень ядовитым, а, по данным других исследователей, 220 мг/кг золы – умеренно токсичным. В долине Средней Катунь наиболее обогащенными Ва являются растения из сем. Boraginaceae – *Cynoglossum officinale* L. (118 мг/кг), Caryophyllaceae – *Gypsophila patrinii* Ser. (104 мг/кг), Lamiaceae – *Thymus altaicus* Klokov et Shost (104 мг/кг). Дефицит Ва наблюдается (мг/кг) в *Stipa consanguinea* Trin. et Rupr. (11,5), *Cannabis ruderalis* (11,8), *Kochia densiflora* Turcz. sec. Moq (5,5-11,3), *Artemisia* sp. (3,2). Среднее содержание элемента в растениях долины Средней Катунь составляет $32,4 \pm 3,8$ мг/кг (табл. 1). В растениях из сем. Caryophyllaceae средняя концентрация Ва составляет 77,7 мг/кг, в семействах Lamiaceae, Rosaceae, Dipsacaceae Fabaceae, Limoniaceae, Asteraceae – соответственно, $59,5 \pm 43,5$; 44,3 23,1 \pm 3,4; $43,7 \pm 34,3$; $22,5 \pm 2,0$; $21,4 \pm 4,5$ мг/кг (табл. 2).

Среднее содержание В в травах мира колеблется от 5,7 до 37 [4]. По результа-

там наших исследований средние значения по семействам составляют: Caryophyllaceae – $26,3 \pm 7,3$ мг/кг, Fabaceae – $21, \pm 2,4$, Lamiaceae – $18,7 \pm 0,2$, Asteraceae – $18,2 \pm 2,4$, Rosaceae – $16,7 \pm 1,6$, Dipsacaceae – $15,4 \pm 0,4$, Chenopodiaceae – $15,2 \pm 1,4$, Limoniaceae – $12,5 \pm 2,4$ мг/кг. Отсюда следует, что меньше всего элемента содержат растения из семейства кермековые, также мало его содержит ковыль (*Stipa consanguinea*) – 2,6 мг/кг. Кроме семейства бобовых более высокие концентрации В обнаружены в растениях: *Cynoglossum officinale* L. – 39,5 мг/кг, *Gypsophila patrinii* Ser. – 33,6, *Leontopodium ochroleucum* – 32,8 мг/кг. В среднем концентрация В в растениях равна $17,9 \pm 1,0$ мг/кг (табл. 1, 2).

Бериллий самый легкий из щелочноземельных элементов. Присутствует в растительных и животных организмах в очень малых количествах. В естественных условиях концентрация Ве в растениях колеблется в пределах 0,001-0,04 мг/кг сухого вещества, или от < 2 до 100 мг/кг в золе, но обычно она меньше 0,1 мг/кг сухого вещества [4].

Таблица 1

Содержание химических элементов в растениях, мг/кг

Элемент	Долина Средней Катунь				В растениях мира ¹	В растениях Горного Алтая ²
	n	x – Sx	lim	V, %		
В	51	$17,9 \pm 1,0$	2,6-39,5	40,6	5,7-37	$18,7 \pm 0,7$
Ва	51	$32,4 \pm 3,8$	3,2-118,0	83,8	100-170	
Ве	51	$0,02 \pm 0,002$	0,01-0,05	55,9	0,001-0,4	
Со	50	$0,2 \pm 0,01$	0,05-0,44	49,9	0,01-2,0	$0,5 \pm 0,02$
Cr	51	$0,89 \pm 0,06$	0,42-2,66	47,9	0,6-3,4	
Cu	68	$10,9 \pm 1,3$	1,2-72,0	99,9	5,0-30	$9,1 \pm 0,32$
Mn	67	$38,7 \pm 3,6$	6,5-140,3	75,5	15-500	$57,5 \pm 2,6$
Mo	51	$1,45 \pm 0,3$	0,2-11,3	149,3	0,33-2,3	$0,99 \pm 0,01^3$
Nb	51	$0,96 \pm 0,13$	0,27-65,6	94,7	1,0	
Ni	68	$1,6 \pm 0,12$	0,3-4,5	62,1	0,1-2,7	$6,3 \pm 1,4^4$
Pb	51	$0,66 \pm 0,06$	0,17-1,8	61,3	0,1-10,0	$1,8 \pm 0,09^3$
Sr	51	$38,8 \pm 3,6$	5,0-129,0	66,3	10-662	
Ti	51	$10,5 \pm 1,6$	2,0-57,0	110,5	0,15-80,0	
V	51	$0,48 \pm 0,05$	0,23-2,26	68,7	0,4-2,7	
Y	51	$0,28 \pm 0,02$	0,12-0,6	40,4	0,01-3,5	
Zn	68	$17,9 \pm 1,1$	6,6-55,8	51,5	1,2-73	$29,3 \pm 1,2^3$
Zr	51	$1,18 \pm 0,09$	0,46-3,0	52,2	0,005-2,6	
La	51	$0,63 \pm 0,04$	0,33-1,33	40,7		
Yb	51	$0,028 \pm 0,002$	0,015-0,058	44,5		

Примечание. ¹ по Кабата-Пендиас; ² по М.А. Мальгину; ³ по О.А. Ельчиной; ⁴ по И.А. Архипову и др.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в растениях некоторых семейств, мг/кг воздушно-сухой массы

Элемент	Семейство бобовые		Семейство розоцветные		Семейство сложноцветные		Семейство маревые		Семейство кермековые		Семейство губоцветные		Семейство гвоздичные		Семейство ворсянковые	
	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %	$\frac{x \pm Sx}{lim}$	V, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
B	$\frac{21,0 \pm 2,4}{13,6 - 32,2}$	34,2	$\frac{16,7 \pm 1,6}{10,9 - 26,0}$	32,4	$\frac{18,2 \pm 2,4}{7,2 - 32,8}$	43,8	$\frac{15,2 \pm 1,4}{13,0 - 19,2}$	18,9	$\frac{12,5 \pm 2,0}{8,5 - 15,0}$	28,0	$\frac{18,7 \pm 0,2}{18,5 - 18,8}$	1,1	$\frac{26,3 \pm 7,3}{19,0 - 33,6}$	39,3	$\frac{15,4 \pm 0,4}{5,0 - 15,7}$	3,2
Ba	$\frac{23,1 \pm 3,4}{13,6 - 46,2}$	44,5	$\frac{44,3 \pm 6,8}{19,6 - 96,0}$	50,7	$\frac{21,4 \pm 4,5}{3,2 - 51,0}$	69,9	$\frac{20,8 \pm 11,8}{5,3 - 56,0}$	113,3	$\frac{22,5 \pm 2,0}{19,0 - 26,0}$	15,6	$\frac{59,5 \pm 43,5}{16,0 - 103,0}$	103,4	$\frac{77,7 \pm 26,4}{51,3 - 104,0}$	48,0	$\frac{43,7 \pm 34,3}{9,4 - 78,0}$	111,0
Be	$\frac{0,02 \pm 0,003}{0,01 - 0,04}$	48,8	$\frac{0,02 \pm 0,003}{0,01 - 0,04}$	50,4	$\frac{0,02 \pm 0,002}{0,01 - 0,04}$	48,7	$\frac{0,02 \pm 0,004}{0,01 - 0,02}$	44,4	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,01 - 0,015}$	20,4	$\frac{0,03 \pm 0,001}{0,02 - 0,05}$	59,4	$\frac{0,04 \pm 0,02}{0,02 - 0,05}$	60,1	$\frac{0,024 \pm 0,01}{0,012 - 0,036}$	70,7
Co	$\frac{0,2 \pm 0,03}{0,1 - 0,35}$	38,9	$\frac{0,2 \pm 0,01}{0,12 - 0,18}$	22,3	$\frac{0,2 \pm 0,03}{0,05 - 0,35}$	69,1	$\frac{0,2 \pm 0,04}{0,05 - 0,23}$	65,6	$\frac{0,12 \pm 0,01}{0,11 - 0,14}$	12,4	$\frac{0,22 \pm 0,09}{0,13 - 0,3}$	56,0	$\frac{0,32 \pm 0,02}{0,3 - 0,34}$	8,8	$\frac{0,22 \pm 0,15}{0,07 - 0,37}$	96,4
Cr	$\frac{0,8 \pm 0,1}{0,45 - 1,3}$	41,2	$\frac{0,8 \pm 0,1}{0,5 - 1,3}$	32,2	$\frac{0,8 \pm 0,1}{0,4 - 1,6}$	46,3	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,5 - 0,9}$	23,8	$\frac{0,6 \pm 0,04}{0,5 - 0,6}$	10,1	$\frac{1,1 \pm 0,4}{0,67 - 1,54}$	55,7	$\frac{1,5 \pm 0,3}{1,2 - 1,8}$	28,3	$\frac{1,8 \pm 0,9}{0,85 - 2,66}$	72,9
Cu	$\frac{9,8 \pm 2,1}{1,7 - 24,3}$	69,5	$\frac{6,9 \pm 1,1}{1,2 - 17,3}$	59,4	$\frac{8,3 \pm 0,9}{2,9 - 16,7}$	40,3	$\frac{15,5 \pm 7,6}{2,0 - 45,0}$	109,9	$\frac{5,7 \pm 1,2}{3,5 - 7,5}$	35,7	$\frac{28,1 \pm 12,0}{16,1 - 40,0}$	60,2	$\frac{10,1 \pm 3,6}{6,5 - 13,6}$	50,0	$\frac{18,7 \pm 1,0}{17,7 - 19,6}$	7,2
Mn	$\frac{27,3 \pm 3,5}{15,0 - 57,0}$	42,3	$\frac{55,1 \pm 11,0}{16,0 - 140,3}$	72,2	$\frac{36,1 \pm 6,6}{7,0 - 104,0}$	70,7	$\frac{30,6 \pm 11,2}{14,0 - 72,8}$	81,7	$\frac{7,3 \pm 0,7}{6,5 - 8,6}$	15,6	$\frac{41,5 \pm 1,5}{40,0 - 43,0}$	5,1	$\frac{49,3 \pm 14,3}{35,0 - 63,5}$	40,9	$\frac{49,0 \pm 32,0}{17,0 - 81,0}$	92,4
Mo	$\frac{1,7 \pm 0,5}{0,34 - 4,25}$	94,5	$\frac{1,0 \pm 0,3}{0,4 - 3,8}$	96,5	$\frac{0,6 \pm 0,09}{0,2 - 1,3}$	49,8	$\frac{0,5 \pm 0,06}{0,3 - 0,6}$	26,4	$\frac{0,4 \pm 0,2}{0,2 - 0,7}$	74,6	$\frac{1,23 \pm 0,36}{0,87 - 1,58}$	41,0	$\frac{1,83 \pm 1,1}{0,72 - 2,94}$	85,8	$\frac{0,72 \pm 0,4}{0,32 - 1,1}$	77,7
Nb	$\frac{0,8 \pm 0,1}{0,4 - 1,6}$	51,7	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,4 - 1,4}$	46,1	$\frac{1,0 \pm 0,3}{0,4 - 3,8}$	109,2	$\frac{0,6 \pm 0,2}{0,3 - 0,8}$	47,9	$\frac{0,5 \pm 0,04}{0,4 - 0,54}$	15,0	$\frac{1,52 \pm 0,32}{1,2 - 1,84}$	30,0	$\frac{0,8 \pm 0,14}{0,66 - 0,94}$	24,8	$\frac{0,9 \pm 0,07}{0,83 - 0,96}$	10,3
Ni	$\frac{1,9 \pm 0,3}{0,4 - 4,2}$	56,7	$\frac{1,2 \pm 0,2}{0,5 - 2,5}$	52,3	$\frac{1,3 \pm 0,2}{0,4 - 2,5}$	58,5	$\frac{1,1 \pm 0,4}{0,4 - 2,5}$	80,2	$\frac{0,6 \pm 0,09}{0,5 - 0,8}$	23,7	$\frac{2,0 \pm 1,1}{1,0 - 3,1}$	74,0	$\frac{2,4 \pm 0,8}{1,57 - 3,2}$	48,3	$\frac{2,0 \pm 0,8}{1,2 - 2,7}$	54,4
Pb	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,25 - 1,3}$	53,0	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,4 - 1,6}$	54,4	$\frac{0,5 \pm 0,1}{0,2 - 1,2}$	61,7	$\frac{0,6 \pm 0,2}{0,2 - 0,9}$	58,3	$\frac{0,3 \pm 0,04}{0,3 - 0,4}$	18,9	$\frac{1,1 \pm 0,4}{0,7 - 1,5}$	53,9	$\frac{1,0 \pm 0,09}{0,93 - 1,1}$	11,8	$\frac{0,8 \pm 0,4}{0,4 - 1,1}$	64,6

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Sr	$48,7 \pm 7,5$ $15,8 - 84,0$	46,3	$45,4 \pm 5,9$ $21,4 - 89,2$	43,2	$28,8 \pm 5,5$ $12,5 - 76,2$	64,0	$18,7 \pm 3,0$ $13,7 - 27,5$	32,3	$12,0 \pm 3,4$ $6,7 - 18,2$	48,6	$45,5 \pm 26,5$ $19,0 - 72,0$	82,4	$93,0 \pm 36,0$ $57,0 - 129,0$	54,7	$28,0 \pm 13,0$ $15,0 - 41,0$	65,7
Ti	$7,5 \pm 1,6$ $3,0 - 17,6$	65,3	$9,2 \pm 1,5$ $2,9 - 19,6$	53,1	$10,6 \pm 4,0$ $4,0 - 50,0$	124,0	$5,6 \pm 1,7$ $2,0 - 9,8$	60,7	$4,6 \pm 1,2$ $3,0 - 7,0$	56,8	$32,8 \pm 25,0$ $7,8 - 57,7$	107,7	$5,2 \pm 0,05$ $5,1 - 5,2$	1,4	$27,7 \pm 23,1$ $4,6 - 50,7$	118
V	$0,4 \pm 0,05$ $0,3 - 0,7$	37,2	$0,4 \pm 0,03$ $0,3 - 0,6$	27,0	$0,4 \pm 0,05$ $0,3 - 0,9$	41,3	$0,4 \pm 0,07$ $0,2 - 0,5$	34,9	$0,3 \pm 0,01$ $0,3 - 0,32$	4,0	$0,9 \pm 0,5$ $0,4 - 1,4$	75,7	$0,57 \pm 0,04$ $0,53 - 0,61$	9,9	$1,3 \pm 0,9$ $0,31 - 2,26$	107,3
Y	$0,3 \pm 0,05$ $0,2 - 0,6$	47,3	$0,3 \pm 0,02$ $0,2 - 0,4$	23,6	$0,2 \pm 0,01$ $0,2 - 0,3$	21,3	$0,2 \pm 0,02$ $0,17 - 0,24$	15,7	$0,2 \pm 0,05$ $0,14 - 0,3$	43,6	$0,37 \pm 0,14$ $0,23 - 0,5$	52,3	$0,49 \pm 0,02$ $0,47 - 0,51$	5,8	$0,31 \pm 0,13$ $0,18 - 0,44$	59,3
Zn	$16,5 \pm 2,0$ $8,9 - 34,3$	39,6	$15,0 \pm 1,0$ $8,7 - 21,0$	24,4	$21,1 \pm 3,3$ $7,7 - 55,8$	60,0	$12,4 \pm 3,3$ $6,6 - 23,3$	60,2	$7,5 \pm 0,3$ $7,0 - 8,1$	7,3	$28,2 \pm 2,6$ $25,6 - 30,8$	13,0	$12,3 \pm 2,2$ $10,1 - 14,4$	24,8	$14,3 \pm 0,2$ $14,1 - 14,5$	2,0
Zr	$1,4 \pm 0,2$ $0,7 - 2,8$	48,1	$1,1 \pm 0,1$ $0,7 - 1,8$	28,5	$0,8 \pm 0,1$ $0,5 - 1,5$	33,7	$0,9 \pm 0,2$ $0,5 - 1,3$	41,0	$0,6 \pm 0,04$ $0,57 - 0,7$	12,2	$1,64 \pm 0,64$ $1,0 - 2,3$	55,0	$1,9 \pm 0,2$ $1,67 - 2,1$	16,1	$1,26 \pm 0,7$ $0,61 - 1,91$	73,0
La	$0,61 \pm 0,08$ $0,3 - 1,1$	40,5	$0,56 \pm 0,04$ $0,3 - 0,9$	25,9	$0,53 \pm 0,04$ $0,4 - 0,8$	23,7	$0,56 \pm 0,07$ $0,4 - 0,7$	25,7	$0,4 \pm 0,03$ $0,4 - 0,5$	10,9	$0,83 \pm 0,17$ $0,66 - 1,0$	29,0	$1,2 \pm 0,12$ $1,1 - 1,33$	13,4	$0,65 \pm 0,18$ $0,47 - 0,82$	38,4
Yb	$0,3 \pm 0,005$ $0,017 - 0,058$	49,5	$0,026 \pm 0,002$ $0,015 - 0,04$	30,9	$0,022 \pm 0,002$ $0,015 - 0,03$	22,6	$0,2 \pm 0,01$ $0,02 - 0,021$	13,3	$0,022 \pm 0,003$ $0,17 - 0,028$	24,6	$0,04 \pm 0,01$ $0,03 - 0,05$	39,2	$0,05 \pm 0,01$ $0,04 - 0,05$	18,0	$0,04 \pm 0,02$ $0,02 - 0,05$	60,6

Так и в растениях долины Средней Катуни содержание Ве не превышает 0,1 мг/кг. Наибольшие значения определены для *Stellaria graminea* L. – 0,052 мг/кг, *Thymus altaicus* – 0,049, в *Barbarea arcuata* Opiz ex J. et Presl и *Orostachys spinosa* L. – 0,044 мг/кг. Меньше всего Ве находится в *Kochia densiflora* – 0,007 мг/кг, в *Veronica incana* L. и *Echinops ritro* – 0,009 мг/кг. А средняя концентрация в растениях долины составляет $0,02 \pm 0,002$ мг/кг.

Содержание марганца в растениях зависит от их видовой принадлежности, биологических особенностей и содержания марганца в почвах. По данным М.В. Каталымова, количество марганца в растениях колеблется от тысячных до сотых долей процента на 1 кг сухого вещества [5]. Дефицит, оптимум и избыток марганца в растениях составляют, соответственно, 15-25, 20-300 и 300-500 мг/кг сухого вещества [6].

В изученных нами растениях недостаток Mn обнаружен в ковыле – 6,8 мг/кг, в растениях семейства Limoniaceae – $7,3 \pm 0,7$ мг/кг. Максимальные концентрации марганца определены в сем. Rosaceae (103,0-115,0 мг/кг) – спирея, лабазник, кровохлебка, также 104,0 мг/кг содержится в *Leontopodium ochroleucum*. Среднее содержание Mn в растениях долины Средней Катуни составило $38,7 \pm 3,6$, что меньше по сравнению со средним значением по всему Горному Алтаю (табл. 1) [7, 8].

Так как кобальт необходим растениям в очень малых количествах, его недостаток обнаруживается крайне редко. ПДК элемента в кормах – 10 мг/кг сухого вещества [9]. Средняя концентрация в растениях равна $0,2 \pm 0,01$ мг/кг при вариации от 0,05 до 0,44 мг/кг. Наименьшим содержанием характеризуются *Artemisia frigida* Willd. и *Kochia densiflora*, а наибольшим – *Barbarea arcuata* Opiz ex J. et Presl, *Knautia arvensis* L., *Cynoglossum officinale* L., *Orostachys spinosa*.

Несмотря на естественное высокое валовое содержание Cr в почвах, концентрация его растворимых соединений очень мала, и накопление в растениях незначительно. Содержание элемента в растениях мира – 0,6-3,4 мг/кг сухого вещества. Среди изученных растений высоким содержанием отличились *Knautia arvensis* L. – 2,66 мг/кг, *Artemisia absinthium* L. – 1,57, *Cynoglossum officinale* L. – 1,5, *Thymus altaicus* – 1,54 мг/кг. В целом

в регионе исследования содержание элемента в растениях составляет $0,89 \pm 0,06$ мг/кг. Меньше всего Cr содержалось в мордовнике обыкновенном – 0,42 мг/кг и в кермековых – $0,6 \pm 0,04$ мг/кг.

Медь относится к числу химических элементов, имеющих среднюю степень поглощения растениями. Нормальная концентрация меди в растениях находится на уровне 0,2-20,0 мг/кг [10]. В среднем её содержание в растениях варьирует от 5 до 50 мг/кг.

По сравнению со средним содержанием Cu в растениях Горного Алтая, для растений долины Средней Катуни определена величина в 2 раза выше – $10,9 \pm 1,3$ мг/кг [7, 8]. Высоким содержанием меди характеризуются: *Orostachys spinosa* L. – 72,0 мг/кг, *Kochia densiflora* – 45,0, *Salvia stepposa* – 40 мг/кг. Дефицит элемента обнаружен в растениях: *Potentilla anserine* L. – 1,2 мг/кг, *Astragalus alpinus* L. – 1,7, *Stipa consanguinea* – 3,0 мг/кг. Средние по величине концентрации обнаружены в семействах: бобовых, маревых, сложноцветных, розоцветных, губоцветных, гвоздичных, ворсянковых и кермековых (5,7-28,1 мг/кг), находятся в пределах нормальной концентрации элемента в растениях (табл. 2).

Молибден необходим растениям в еще меньших количествах, чем марганец, цинк и медь. Количество его в растениях колеблется от 0,2 до 8,0 мг/кг сухого вещества [11]. Среднее содержание Mo в исследованных растениях составило $1,45 \pm 0,3$ мг/кг (при большой вариации от 0,2 до 11,3 мг/кг), что немного выше среднего значения элемента по Горному Алтаю [8]. Больше всего Mo содержит чернокорень – 11,3 мг/кг, конопля сорная – 8,25, вероника седая – 7,3 мг/кг.

Критический недостаток молибдена в растениях определен от 0,01 до 6 мг/кг [12]. По другим данным, недостаток молибдена наблюдается при содержании его в растениях ниже 0,1 мг/кг, содержание Mo в растениях и кормах 0,2-2,5 мг/кг сухой массы считается критически низким [9, 13].

В изученных растениях меньше всего Mo содержится в *Limonium flexuosum* L. – 0,2-0,21 мг/кг, *Echinops ritro* – 0,22, *Galium verum* L. – 0,29 мг/кг.

Установлено, что типичное содержание Nb в растениях составляет около 1 мг/кг сухой массы. Однако в природе известны

растения, которые могут активно извлекать ниобий из почвы [4].

В исследованных растениях наибольшим накоплением Nb характеризуются *Kochia densiflora* – 5,6 мг/кг, *Artemisia absinthium* L. – 3,8, *Barbarea arcuata* – 2,0 мг/кг. Наименьшее содержание определено в *Stipa consanguinea* – 0,3 мг/кг, *Echinops ritro* – 0,37, *Caragana pugnata* L. – 0,38 мг/кг. В среднем содержание Nb в растениях долины Средней Катунь равно $0,96 \pm 0,13$ мг/кг, что не превышает типичного содержания элемента в растениях. В пределах изученных семейств среднее содержание больше всего в губоцветных – $1,52 \pm 0,32$ мг/кг, сложноцветных – $1,0 \pm 0,3$, меньше всего в кермековых – $0,5 \pm 0,04$ мг/кг.

Никель легко извлекается растениями из почвы. Нормальное содержание его в злаковых травах – 0,1-1,7, в бобовых – 1,2-2,7 мг/кг сухого вещества [4].

В исследованной нами растительности максимальные концентрации Ni обнаружены в растениях, относящихся к разным ботаническим семействам: *Astragalus alpinus* L. (1,47-4,21 мг/кг), *Gypsophila patrinii* Ser. (3,2), *Thymus altaicus* (3,1), *Knautia arvensis* L. (2,7 мг/кг) (табл. 1, 2). Минимальное содержание никеля определено для *Kochia densiflora* – 0,43 мг/кг, в *Caragana pugnata* L. – 0,44 мг/кг и *Echinops ritro* в *Potentilla anserina* L. – 0,46 мг/кг. По семействам наибольшее среднее содержание характерно для Caryophyllaceae – $2,4 \pm 0,8$ мг/кг, наименьшее для Limoniaceae – $0,6 \pm 0,09$ мг/кг. В среднем в растениях долины Средней Катунь Ni содержится $1,6 \pm 0,12$ мг/кг, что соответствует нормальному содержанию в растениях.

Свинец имеет среднюю степень поглощения растениями. Различные виды растений характеризуются избирательной способностью в накоплении свинца, которая обусловлена их биологическими особенностями. Разница между минимальным и максимальным содержанием свинца в растениях может достигать нескольких раз [12]. Природное содержание свинца в растениях колеблется от 0,1 до 10,0 мг/кг, а нормальная концентрация составляет 0,1-5,0 мг/кг [4, 14]. Приводится концентрация свинца в растениях, принятая за нормальную – 0,1-5 мг/кг воздушно-сухой массы, а предположительно максимальная – 10 мг/кг [9].

Содержание свинца в растениях изучаемой территории изменяется от 0,17 до

1,8, в среднем составляя $0,66 \pm 0,06$ мг/кг (табл. 1, 2), что почти в 3 раза ниже средней концентрации в почвах Горного Алтая в целом [8]. Наибольшие концентрации обнаружены в *Orostachys spinososa* L., *Potentilla erecta* L., *Cynoglossum officinale* L., *Barbarea arcuata* и *Thymus altaicus* (1,45-1,8 мг/кг). Наименьшее содержание Pb в 8-10 раз меньше максимального и определено для *Artemisia* sp. – 0,17 мг/кг, *Kochia densiflora* – 0,18 мг/кг. По семействам наименьшее среднее содержание обнаружено в сложноцветных и кермековых.

Концентрация Sr в растениях очень изменчива и обычно его количества в пищевых и кормовых растениях колеблются в пределах 10-1500 мг/кг сухой массы [4]. Установлено, что наибольшее накопление элемента происходит в бобовых растениях. Так и по нашим исследованиям сем. Fabaceae по сравнению с другими изученными семействами содержат больше Sr ($48,7 \pm 7,5$ мг/кг), Rosaceae – $45,4 \pm 5,9$, Asteraceae – $28,8 \pm 5,5$ мг/кг. Также высокую концентрацию определена для растений: *Stellaria graminea* L. – сем. Caryophyllaceae (129 мг/кг), *Cynoglossum officinale* L. – сем. Boraginaceae (85,0 мг/кг), *Thymus altaicus* – сем. Lamiaceae (72,0 мг/кг). Меньше всего Sr, как и большинства изученных микроэлементов (мг/кг), содержится в сем. Limoniaceae – $12,0 \pm 3,4$, в *Stipa consanguinea* сем. Poaceae (5,0), в *Galium verum* L. – сем. Rubiaceae (11,2). Средняя концентрация в растениях долины Средней Катунь составила $38,8 \pm 3,6$ мг/кг при вариации от 5,0 до 129,0 мг/кг.

Уровни содержания Ti в растениях изменяются в пределах 0,15-80 мг/кг сухой массы [4]. Больше всего Ti в исследованных растениях обнаружено в *Thymus altaicus* – сем. Lamiaceae (57,5 мг/кг), *Knautia arvensis* L. – сем. Dipsacaceae (50,7 мг/кг), *Artemisia absinthium* L. – сем. Asteraceae (50,0 мг/кг). Содержание Ti в этих растениях выше в 5-12 раз по сравнению с остальными видами. Средняя концентрация в растениях долины составила $10,5 \pm 1,6$ мг/кг при коэффициенте вариации 110,5%. Наименьшее содержание элемента высчитано для сем. Chenopodiaceae – $5,6 \pm 1,7$ мг/кг, Limoniaceae – $4,6 \pm 1,2$ мг/кг.

В литературе по одним данным средняя концентрация V в высших растениях составляет 1,0 мг/кг сухой массы, а по другим содержание V в золе большин-

ства овощей изменяется в пределах < 5-50 мг/кг. В растениях долины Средней Катунь наиболее высокая концентрация V определена в сем. Dipsacaceae (1,3 мг/кг) в *Knautia arvensis* L. – 2,26 мг/кг, в сем. Lamiaceae (0,93 мг/кг) в *Thymus altaicus* – 1,42 мг/кг, в сем. Caryophyllaceae (0,57 мг/кг). Наименьшее содержание элемента определено в сем. Limoniaceae (0,3 мг/кг). Средняя концентрация V в растениях составила $0,48 \pm 0,05$ мг/кг, что соответствует литературным данным.

Данные о содержании Y в растениях в основном даны американскими учеными (Коннором и Шаклеттом). Согласно этим авторам содержание Y в пищевых растениях из зоны тропических лесов составляет 0,01-3,5 мг/кг сухой массы [4]. В исследованных нами растениях больше всего Y обнаружено в *Cynoglossum officinale* L. (0,51 мг/кг) из сем. Boraginaceae, в сем. Caryophyllaceae (0,49 мг/кг), в *Orostachys spinosa* L. (0,44 мг/кг) из сем. Grassulaceae. В среднем в растениях долины содержание иттрия составляет $0,28 \pm 0,02$ мг/кг.

Нормальное содержание цинка в растениях 15-150 мг/кг, предположительно максимальное – 300 мг/кг воздушно-сухой массы [9]. Содержание цинка при его дефиците оценивается в 10-20 мг/кг сухой массы [4].

Минимальная и максимальная концентрация цинка в растениях долины Средней Катунь различается примерно в 5 раз, и средняя концентрация элемента составила $17,9 \pm 1,1$ мг/кг. Максимальная концентрация отмечены в растениях сем. губоцветных (28,2 мг/кг), сложноцветных ($21,1 \pm 3,3$ мг/кг), бурачниковых (чернокорень – 23,0 мг/кг). Минимальная концентрация элемента обнаружены в сем. кермековых ($7,5 \pm 0,3$ мг/кг). Из полученных результатов, по сравнению с литературными данными, можем сказать, что в 75% изученных растений долины наблюдается недостаток Zn.

Доступных данных о состоянии Zr в растениях немного. Уровни его содержания в культурных растениях изменяются от

0,005 до 2,6 мг/кг сухой массы. Некоторые растения, в особенности из семейства бобовых, а также кустарники и мхи, по-видимому, концентрируют Zr больше, чем другие растения [4]. В изученных растениях больше всего циркония обнаружено в *Barbarea arcuata* (3,0 мг/кг) сем. Brassicaceae, в *Medicago falcata* L.

(2,77 мг/кг), в *Orostachys spinosa* L. (2,63 мг/кг) сем. Grassulaceae. В семействах Caryophyllaceae, Lamiaceae, Fabaceae, Dipsacaceae, Rosaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae, Limoniaceae среднее содержание элемента уменьшается и равно соответственно 1,9; 1,6; 1,4; 1,3; 1,1; 0,9; 0,8; 0,6 мг/кг. А средняя концентрация Zr в целом в изученных растениях составила $1,18 \pm 0,09$ мг/кг.

До сих пор распределение лантаноидов в тканях растений и их физиологические функции исследователей мало привлекали. Была только рассчитана Лаулом и др. относительная распространенность лантаноидов в почвах и растениях, а также зависимость концентрации этих элементов в растениях от их концентрации в почве. Содержание лантаноидов в растениях убывает в порядке возрастания их атомных номеров [4].

В растениях долины Средней Катунь содержание La и Yb больше всего в *Cynoglossum officinale* L. (1,2 и 0,057 мг/кг соответственно) из сем. Boraginaceae, *Barbarea arcuata*, (1,2 и 0,052 мг/кг) сем. Brassicaceae, *Orostachys spinosa* L., (1,18 и 0,05 мг/кг) сем. Grassulaceae. Средние значения La и Yb (мг/кг) по семействам уменьшаются в ряду: Caryophyllaceae (1,2 и 0,047 соответственно), Lamiaceae (0,86 и 0,042), Dipsacaceae (0,65 и 0,035), Fabaceae (0,061 и 0,03), Rosaceae (0,56 и 0,026), Chenopodiaceae (0,56 и 0,02), Asteraceae (0,53 и 0,02), Limoniaceae (0,4 и 0,02). В исследованных растениях в целом средняя концентрация La равна $0,63 \pm 0,04$ мг/кг. А среднее содержание Yb в растениях долины составило $0,028 \pm 0,002$ мг/кг. Исходя из выше представленных данных, можем сказать, что соблюдается закономерность содержания лантаноидов в растениях – содержание лантаноидов в растениях убывает в порядке возрастания их атомных номеров. То есть концентрация La выше, чем концентрация Yb в растениях.

Ga и Sc в исследуемых растениях не обнаружен.

Заключение

Из исследованных видов растений долины Средней Катунь наиболее богатым микроэлементным составом отличаются такие растения, как: *Thymus altaicus*, *Cynoglossum officinale* L., *Orostachys spinosa* L., *Barbarea arcuata*, *Knautia arvensis* L., *Stellaria graminea* L.; из се-

мейства Asteraceae – *Leontopodium ochroleucum* богат В, Ве, Zn, Со, Mn; из сем. Lamiaceae *Salvia stepposa* – Zn, Cu, Nb. По сравнению с рассматриваемыми семействами обеднены большинством исследуемых элементов растения из сем. Limoniaceae – *Limonium flexuosum* L.; из Fabaceae – *Caragana pugnata* L.; из сем. Asteraceae – *Echinops ritro* и *Stipa consanguinea* – представитель сем. Poaceae.

Содержания микроэлементов в изученных растениях различны не только для разных семейств, но и для индивидуальных организмов внутри одного вида.

Концентрация химических элементов в растениях долины Средней Катунь находится в пределах фоновых значений и укладывается в диапазон содержания, при котором осуществляется нормальное функционирование растительных организмов.

Библиографический список

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы земли и ее окружения / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 2001. – 376 с.
2. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 130 с.
3. Куминова А.В. Растительный покров Алтая / А.В. Куминова. – М.: Изд-во СО АН СССР, 1960. – 450 с.
4. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.; Л.: Химия, 1965. – 330 с.
6. Дуглас П.О. Воздействие загрязнения микроэлементами на растения / П.О. Дуглас // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л., 1988. – С. 327-356.
7. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае / М.А. Мальгин. – Новосибирск: Наука, 1978. – 272 с.
8. Ельчинова О.А. Биогеохимические аспекты экологической оценки наземных экосистем Алтая: монография / О.А. Ельчинова. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. – 142 с.
9. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 230 с.
10. Минеев В.Г. Химизация земледелия и окружающая среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
11. Даутов Р.К. Микроэлементы в почвах Чувашской АССР и рациональное использование микроудобрений / Р.К. Даутов, В.Г. Минибаев, С.Н. Калимуллина. – Чебоксары: Чуваш. кн. изд-во, 1979. – 62 с.
12. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник. Кн. 5. Редкие d-элементы / В.В. Иванов. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
13. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / под ред. Н.Г. Зырина, Л.К. Садовниковой. – М.: МГУ, 1985. – 204 с.
14. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / под ред. М.М. Овчаренко. – М., 1997. – 290 с.
15. Архиров И.А. Микроэлементы (ванадий и никель) в педосфере бассейна р. Катунь / И.А. Архиров, А.В. Пузанов, О.А. Ельчинова // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4. – С. 163-167.



УДК 595.796+574

Т.М. Кругова

ДЕРНОВЫЙ МУРАВЕЙ *TETRAMORIUM CAESPITUM* (L.) НА ГАРЯХ В ЛЕНТОЧНЫХ СОСНОВЫХ БОРАХ ВЕРХНЕГО ПРИОБЬЯ

Ключевые слова: дерновый муравей, пирогенная сукцессия, сосновые леса, пожар, микростациональное распределение, годовая динамика.

Введение

Лесные пожары оказывают на экосистемы глубокое и разностороннее влияние, затрагивающее гидротермический