

УДК 581.192: 577.170.49

Условно необходимые микроэлементы в лекарственных растениях Забайкалья

В. К. КАШИН

Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН,
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ 670047 (Россия)

E-mail: vladkashin2008@rambler.ru

(Поступила 23.07.10)

Аннотация

Исследовано содержание условно необходимых микроэлементов (Li, B, Si, Ti, V, Ni) в 21 виде лекарственных растений, произрастающих на различных типах почв Западного Забайкалья в степных аридных, луговых недостаточного и нормального увлажнения и лугово-болотных эколого-фитоценологических условиях. Определены видовая и экологическая специфика накопления микроэлементов в растениях. Установлены различные уровни содержания микроэлементов в лекарственных растениях, а также растения-концентраторы Li, B, Si, Ti, V, Ni. По результатам исследования бор отнесен к элементам интенсивного поглощения из почвы, литий – среднего, никель – слабого, ванадий и титан – к элементам очень слабого поглощения.

Ключевые слова: литий, бор, кремний, титан, ванадий, никель, лекарственные растения, фитоценозы

ВВЕДЕНИЕ

Микроэлементы – важная составляющая минерального питания растений, животных и человека. Современная классификация микроэлементов по их значимости в живых организмах имеет следующий вид: 1) жизненно необходимые – Fe, Mn, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se; 2) условно необходимые – Li, B, Ni, V, Si, F, Br, Ti; 3) токсичные – Cd, Pb, Hg, Be, Tl, Vi и др. [1, 2]. Однако недостаточное знание на данном этапе развития науки биохимических и физиологических функций второй и особенно третьей групп еще не означает отсутствия этих функций. Основатель науки биогеохимии и учения о микроэлементах академик В. И. Вернадский считал, что “... живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы. Они все нужны для жизни и попадают в состав организма не случайно. Нет особых, жизни свойственных элементов. Есть главенствующие...” [3]. Оптимальное содержание жизненно и условно необходи-

мых микроэлементов и минимальное, не угрожающее срыву адаптационных механизмов организма токсичных микроэлементов, составляет один из важнейших компонентов нормального функционирования организмов. К условно необходимым микроэлементам относятся те из них, жизненная необходимость которых для жизнедеятельности организмов с достаточной уверенностью еще не установлена, но в то же время они оказывают существенное биологическое действие на различные процессы метаболизма. Лекарственные растения служат одним из источников микроэлементов для человека и могут обеспечивать коррекцию различных микроэлементозов.

В условиях Забайкалья исследований по микроэлементному составу лекарственных растений до наших работ не проводилось. В то же время этот регион представляет собой территорию полиэлементных биогеохимических эндемий, обусловленных нарушением природных биогеохимических циклов целого ряда важных микроэлементов (дефицит, избыток или дисбаланс), что негативно отражается

на устойчивости функционирования и продуктивности экосистем, а также на здоровье человека. Ранее [4] нами были представлены данные о содержании жизненно необходимых микроэлементов в лекарственных растениях. В настоящей работе приведены данные по содержанию и особенностям накопления условно необходимых микроэлементов (Li, B, Si, Ti, V, Ni) в наземной массе некоторых лекарственных растений, произрастающих в различных эколого-фитоценологических условиях Западного Забайкалья.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования проводили в 12 наиболее населенных центральных и южных районах Бурятии (Западное Забайкалье) в разных эколого-фитоценологических условиях. Объектами исследования служили лекарственные растения 21 вида, произрастающие в степных, луговых и болотных фитоценозах на каштановых, аллювиальных дерновых, аллювиальных луговых и аллювиальных болотных почвах. Латинские названия растений приведены по Черепанову [5], названия типов почв заимствованы из работы [6] (табл. 1). Отбор проб наземной массы растений в трехкратной повторности для исследований микроэлементного состава проводили в период наибольшей продуктивности (в фазе цветения, так как для большинства растений именно с этой фазой развития связаны максимальная продуктивность и накопление биологически активных соединений) на пробных площадках (ПП) размером 100×100 м в соответствии с методическими рекомендациями, приведенными в работе [7]. Озольнение измельченных растительных проб осуществляли в муфельной печи при температуре 480 °С. Содержание Li, V, Ni определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре PerkinElmer с атомизацией в пламени ацетилен – воздух, содержание Ti, Si – атомно-эмиссионным методом, содержание B – колориметрическим методом в растворе спиртово-уксусной смеси зольного остатка растений с хинализарином. Одновременно с отбором проб растений на тех же ПП отбирали пробы почв [8, 9]. Коэффициент биологического поглощения (КБП) микроэlemen-

тов растениями из почв рассчитывали как отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию его в почве. Математическую обработку результатов проводили по стандартным методам, описанным в работе [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Литий (${}^3\text{Li}$)

Недостаток лития в организме человека способствует маниакально-депрессивным психозам, шизофрении и другим психическим заболеваниям. Литий обладает выраженным терапевтическим эффектом. Определены лекарственные растения-концентраторы лития, которые находят применение в психиатрии и неврологии [11]. В экспериментах с внесением оптимальных доз литиевых солей в почву, на которой произрастали различные растения, установлено, что наибольшее положительное влияние лития проявлялось на растениях семейства пасленовых – картофеле, томатах, перце, баклажанах [12].

Содержание лития в изученных лекарственных растениях изменялось в пределах 1.3–22.2 мг/кг сухого вещества (см. табл. 1). Различие между максимальным и минимальным содержанием составило 17.1 раза. Полученные результаты соответствуют литературным данным по содержанию лития (0.16–24.8 мг/кг) в 15 видах лекарственных растений, произрастающих на территории Европейской части России [11]. Минимальное содержание лития выявлено у красоднева малого в луговом фитоценозе нормального увлажнения и в полыни холодной в степном аридном фитоценозе, а максимальное – в лекарственных растениях различных фитоценозов Гусиноозерской котловины: в тысячелистнике обыкновенном (22.2 мг/кг), тимьяне даурском (14.7 мг/кг), подорожнике большим (13.3 мг/кг), панцерине шерстистой (7.3 мг/кг), а также в подмареннике настоящем, произрастающем в луговых фитоценозах недостаточного увлажнения Мухоршибирского и Бичурского районов (15.0 и 13.6 мг/кг соответственно). Эти виды растений можно отнести к интенсивным концентраторам лития. По мнению авторов [11], к концентраторам

ТАБЛИЦА 1

Содержание условно необходимых микроэлементов в лекарственных растениях Забайкалья, мг/кг сухого вещества

Растения	Место отбора (села)	Li	B	Si	Ti	V	Ni	Зола, %
<i>Степные аридные фитоценозы (каштановые почвы)</i>								
Володушка	Белозерск	–	6.9	1380	23	0.46	0.14	4.9
козелецелистная	Петропавловка	–	5.8	1160	25	0.59	0.19	5.8
	Унэгэтэй	–	2.3	1140	9	0.57	0.17	5.7
Панцерина шерстистая	Ягодное	7.30	3.7	7300	73	7.28	2.19	7.3
Полынь холодная	Белозерск	–	7.7	2040	31	0.51	0.26	5.1
	Петропавловка	1.68	11.2	2240	45	1.12	0.45	4.8
	Усть-Кяхта	–	–	6480	23	3.80	1.62	7.7
Тимьян даурский	Удинск	–	5.2	3900	65	1.30	0.24	6.5
	Ягодное	14.7	9.8	9800	10	2.94	1.96	9.8
<i>Луговые фитоценозы недостаточного увлажнения (аллювиальные дерновые почвы)</i>								
Гвоздика разноцветная	Усть-Кяхта	–	–	1830	49	0.61	3.66	6.1
Горечавник бородатый	Кижинга	–	5.2	1560	16	0.78	0.26	5.2
Кровохлебка лекарственная	В. Тальцы	–	12.0	6000	18	1.20	0.30	8.1
	Кижинга	–	6.5	5200	20	1.30	0.33	6.4
	Петропавловка	1.95	9.8	3250	13	0.65	0.20	6.5
	Тугнуй	–	–	7200	22	0.72	7.20	7.2
	Усть-Кяхта	1.77	–	4720	12	0.63	8.85	5.9
Подмаренник настоящий	М. Куналей	13.6	–	6800	14	0.70	1.36	6.8
	Шаралдай	15.0	–	7500	22	0.75	6.00	7.5
	Тугнуй	2.30	–	6080	23	1.52	3.80	7.6
	Надеено	2.68	–	6700	33	0.67	1.18	6.7
Полынь эстрагон	Усть-Кяхта	1.72	–	6440	56	1.70	4.50	5.6
	Ильинка	2.43	24	1620	65	2.43	2.40	8.1
	Таловка	2.01	67	2100	34	3.35	2.01	6.7
Тмин обыкновенный	Надеено	–	–	1380	27	0.70	0.34	6.9
Щавель пирамидальный	Надеено	2.00	–	1340	26	1.34	4.00	6.7
<i>Луговые фитоценозы нормального увлажнения (аллювиальные луговые почвы)</i>								
Девясил британский	Кижинга	–	5.7	3420	14	1.14	0.34	11.4
Донник ароматный	М. Куналей	–	–	1520	23	0.76	1.14	6.7
	В. Тальцы	2.10	5.6	1050	11	0.70	0.21	7.0
	Унэгэтэй	–	3.7	1860	19	0.62	0.25	6.2
Клевер луговой	Надеено	–	–	1280	19	0.64	3.20	6.4
	Тугнуй	3.20	–	2140	64	1.10	5.10	7.7
Красоднев малый	Тарбагатай	1.30	2.2	880	9	0.42	0.44	4.4
Лапчатка гусиная	Унэгэтэй	–	5.3	–	44	0.89	0.27	8.9
Подорожник большой	Ягодное	13.3	13.6	13300	40	3.98	3.95	13.3
	Тугнуй	–	–	–	–	–	–	8.9
Тысячелистник обыкновенный	Ягодное	22.2	7.4	7400	22	2.20	0.74	6.6
Хвощ полевой	Ильинка	2.07	20.7	7590	21	3.45	0.69	6.9
	М. Куналей	–	–	8700	26	0.90	0.43	8.7
	Тарбагатай	–	–	10 800	21	1.10	1.08	10.8
<i>Лугово-болотный фитоценоз (аллювиальная болотная почва)</i>								
Вахта трехлистная	Посольск	–	28.4	1500	22	1.42	0.73	12.1
Сабельник болотный	Посольск	–	70.0	700	28	1.40	0.70	7.8

Примечание. Прочерк означает, что содержание не определено.

лития относятся лекарственные растения, накапливающие его в количестве 1.5–2.4 мг/кг. Повышенное накопление лития в растениях Гусиноозерской котловины Селенгинского района, по-видимому, обусловлено более высокой биодоступностью элемента в почвах, поскольку его валовое содержание (27–33 мг/кг) незначительно отличалось от его содержания в почвах других районов (в степных фитоценозах – 18–27, в луговых – 20–33 мг/кг).

Анализ данных табл. 1 показал, что для 30 % определений изученных лекарственных растений Забайкалья отмечались повышенные (в 4.9–14.8 раза) концентрации лития по сравнению с его средним (кларковым) содержанием в растениях, равным 1.5 мг/кг [13]. В остальных 70 % случаев содержание лития в растениях соответствовало кларку или незначительно превышало его и составляло 1.3–2.5 мг/кг (среднее – 2.0 мг/кг).

Один и тот же вид растений в разных местах произрастания накапливал литий в значительно различающихся количествах. Это различие особенно существенно для подмаренника настоящего в луговых фитоценозах недостаточного увлажнения: 15.0 мг/кг (с. Шаралдай), 13.6 мг/кг (с. Малый Куналей), 1.7 мг/кг (с. Усть-Кяхта). Таким образом, различие между максимальным и минимальным содержанием составляло 8.8 раза. Экологические особенности накопления того или иного элемента одними и теми же видами в разных биотопах могут быть обусловлены различной степенью биодоступности элементов, которая определяется почвенно-геохимическими факторами.

Интенсивность поглощения лития луговыми растениями, оцениваемая по КБП, выше 1.0 (табл. 2) и варьирует в пределах 1.1–2.3. Что касается зависимости между содержанием лития в растениях и валовым содержанием

ТАБЛИЦА 2

Усредненные вариационно-статистические показатели содержания микроэлементов и интенсивность их поступления в лекарственные растения разных фитоценозов Забайкалья

Показатели	Li	B	Si	Ti	V	Ni
<i>Степные аридные фитоценозы (n = 9)</i>						
Пределы, мг/кг	1.68–14.7	2.3–11.2	1140–9800	9–73	0.46–7.28	0.14–2.19
$M \pm m$, мг/кг	7.89±3.77	6.6±1.1	3938±1058	34±8	2.06±0.76	0.80±0.29
V, %	83	45	81	67	111	107
r	–	0.67	–	0.82	–0.04	0.76
КБП	–	7.5±0.7	–	0.09±0.01	0.16±0.027	0.20±0.028
<i>Луговые фитоценозы недостаточного увлажнения (n = 16)</i>						
Пределы, мг/кг	1.72–15.0	5.2–67.0	1340–7500	12–65	0.61–3.35	0.26–8.85
$M \pm m$, мг/кг	4.31±1.50	18.1±8.6	4358±600	28±4	1.23±0.18	2.80±0.64
V, %	115	125	55	54	62	94
r	0.55	0.58	–	–0.29	–0.23	–0.08
КБП	1.32±0.24	6.0±0.6	–	0.09±0.02	0.18±0.028	0.31±0.068
<i>Луговые фитоценозы нормального увлажнения (n = 14)</i>						
Пределы, мг/кг	1.30–22.2	2.2–20.7	880–13300	9–44	0.42–3.98	0.21–5.10
$M \pm m$, мг/кг	7.36±3.49	8.0±2.2	4995±1254	26±4	1.38±0.31	1.37±0.45
V, %	116	76	87	60	82	118
r	0.38	–0.04	–	–0.42	0.11	0.17
КБП	1.97±0.68	3.0±0.4	–	0.09±0.03	0.16±0.03	0.47±0.10
<i>Лугово-болотный фитоценоз (n = 2)</i>						
Пределы, мг/кг	–	28.4–70.0	700–1500	21–28	1.40–1.42	0.70–0.73
$M \pm m$, мг/кг	–	49.2±20.8	1100±400	24.5±3.5	1.41±0.01	0.72±0.02
V, %	–	60	51	20	1	3
КБП	–	–	–	0.73±0.10	1.10±0.05	2.20±0.2

Примечания. 1. Параметры пределы колебаний, $M \pm m$, коэффициент вариации (V) приведены в пересчете на сухое вещество; коэффициент корреляции (r) в системе растение (на золу) – почва; КБП – коэффициент биологического поглощения. 2. Прочерк означает, что содержание не определено.

ем его в почвах, то для луговых фитоценозов установлена средняя положительная корреляционная связь в системе растение – почва ($r = 0.55$ при $t_{\text{факт}} = 1.3$, $t_{\text{теор}} = 2.8$).

Бор (^{5}B)

Для организма человека и животных бор относится к условно необходимым, а для растений – к жизненно необходимым микроэлементам. Он участвует в регулировании минерального обмена костной ткани и в углеводном обмене, взаимодействуя с ферментами, витаминами, гормонами, катехоламинами, а также в мембранном транспорте и энергетическом обмене; оказывает влияние на метаболизм кальция, фосфора и магния [1].

Содержание бора в лекарственных растениях различных фитоценозов Забайкалья изменялось от 2.1 до 70.0 мг/кг. Эти данные соответствуют содержанию бора в 52 видах лекарственных растений Европейской части России, которое составляет 0.8–97.0 мг/кг [14]. Содержание бора в растениях различных фитоценозов варьировало в следующих пределах, мг/кг: степных фитоценозов – 2.3–11.2, луговых недостаточного увлажнения – 2.1–67.0, луговых нормального увлажнения – 2.2–20.7, лугово-болотных – 28.4–70.0. Минимальное содержание бора отмечено в тмине обыкновенном и красодневе малом в луговых фитоценозах (2.1–2.2 мг/кг), а максимальное – в сабельнике болотном, вахте трехлистной лугово-болотного фитоценоза (28.4–70.0 мг/кг), полыни эстрагон лугового фитоценоза недостаточного увлажнения (24.0–67.0 мг/кг) и хвоще полевого лугового фитоценоза нормального увлажнения (20.7 мг/кг). Следует отметить, что в Европейской части содержание бора в траве сабельника болотного и хвоща полевого (5.6 и 2.0 мг/кг соответственно) [14] оказалось значительно меньше по сравнению с таковым для условий Забайкалья.

Один и тот же вид в разных местах произрастания различался по содержанию бора: от 1.5 раза (донник ароматный, 3.7–5.6 мг/кг) и 1.8 раза (кровохлебка аптечная, 6.5–12.0 мг/кг) до 2.8 раза (полынь эстрагон, 24.0–67.0 мг/кг) и 3.0 раза (володушка козелецелистная, 2.3–6.9 мг/кг). Отличие в содержании бора для

разных видов, произрастающих в одних и тех же местах, имеет такие же пределы: тысячелистник обыкновенный и подорожник большой – в 1.8 раза (7.4–13.6 мг/кг), вахта трехлистная и сабельник болотный – в 2.5 раза (28.4–70.0 мг/кг).

Бор можно отнести к интенсивно накапливаемым микроэлементам: КБП его в лекарственных растениях степных фитоценозов изменялся от 6.2 до 8.3 (среднее 7.5), луговых недостаточного увлажнения – от 4.2 до 6.7 (среднее 6.0), луговых нормального увлажнения – от 2.0 до 4.2 (среднее 3.0). В луговых фитоценозах недостаточного увлажнения корреляционная связь между содержанием бора в растениях и почвах средняя ($r = 0.58$), а в луговых нормального увлажнения она отсутствует ($r = -0.04$).

Кремний (^{14}Si)

Кремний играет важную роль в формировании костной системы, участвуя в образовании органической матрицы кости на начальных этапах ossификации. При дефиците растительной клетчатки и кремния быстрее проявляется старение кожи, что связано со снижением синтеза белково-гликозаминогликановых комплексов с кремнием, которое лишает кожу опорного коллагенового слоя. В растениях кремний накапливается преимущественно в клеточных стенках, обеспечивая их прочность [1].

Содержание кремния в лекарственных растениях степных фитоценозов изменялось в пределах 1140–7300 мг/кг, луговых фитоценозах недостаточного увлажнения – 1340–7500 мг/кг, луговых нормального увлажнения – 880–13300 мг/кг, лугово-болотном – 700–1500 мг/кг. Наибольшая контрастность в содержании кремния отмечена для растений луговых фитоценозов (15.1 раза), а наименьшая – для растений лугово-болотного фитоценоза (2.1 раза). Содержание кремния в траве, по данным разных авторов, колеблется в пределах 400–12 000 мг/кг (в клевере луговом – 400–1300 мг/кг) [15]. По нашим данным, в клевере луговом содержание кремния составляло 1280–1340 мг/кг.

Минимальное содержание кремния выявлено в сабельнике болотном и красодневе

малом (700 и 880 мг/кг соответственно), а максимальное – в подорожнике большом (13 300 мг/кг), хвоще полевым (10 800 мг/кг), тимьяне даурском (9800 мг/кг), подмареннике настоящем (7500 мг/кг), панцерине шерстистой (7300 мг/кг) и кровохлебке лекарственной (7200 мг/кг). Эти виды относятся к интенсивным концентраторам кремния.

Отличие в содержании кремния для одного и того же вида в разных условиях произрастания изменялось от 1.2 раза (володушка козелецелистная, 1140–1380 мг/кг; подмаренник настоящий, 6080–7500 мг/кг), 1.4 раза (хвощ полевой, 7590–10 800 мг/кг) до 2.2 раза (кровохлебка лекарственная, 3250–7200 мг/кг), 3.2 раза (полынь холодная, 2040–6480 мг/кг). Разные виды в одном и том же местообитании различались по содержанию кремния значительно существеннее: от 3.5 раза (подмаренник настоящий, 6440 мг/кг; гвоздика разноцветная, 1830 мг/кг) в луговом фитоценозе недостаточного увлажнения до 11.5 раза (хвощ полевой, 10 080 мг/кг; красоднев малый, 880 мг/кг) в луговом фитоценозе нормального увлажнения.

Титан (^{21}Ti)

В экспериментах с применением титана выявлено положительное действие его на организм животных (активизация эритропоэза, увеличение гемоглобина крови) и растений (усиление ростовых процессов, повышение урожайности) [16]. Титан оказывал стимулирующее влияние на метаболизм растений путем повышения активности пероксидазы и каталазы и увеличения концентрации железа в листьях и хлоропластах [17].

Содержание титана в лекарственных растениях различных фитоценозов изменялось в следующих пределах, мг/кг: степных фитоценозов – 8.6–73, луговых недостаточного увлажнения – 12–65, луговых нормального увлажнения – 8.8–64, лугово-болотном – 21–28. Наибольшая контрастность в содержании титана отмечена для растений степных фитоценозов (8.5 раза), а наименьшая – для растений лугово-болотного фитоценоза (1.2 раза). Содержание титана в надземной части семи видов лекарственных растений Дальнего Востока

варьировало в пределах 10–142 мг/кг, КБП – в диапазоне 0.2–0.4 [18].

Минимальное содержание титана характерно для володушки козелецелистной (8.6 мг/кг), красоднева малого (8.8 мг/кг), тимьяна даурского (10.0 мг/кг) и донника ароматного (11.0 мг/кг), а максимальное – для панцеринны шерстистой (73 мг/кг), полыни холодной (65 мг/кг), полыни эстрагон (65 мг/кг), подмаренника настоящего (56 мг/кг).

Один и тот же вид растений в разных местообитаниях накапливал титан в различных количествах. Для кровохлебки лекарственной различия достигали 1.8 раза (12–22 мг/кг), для володушки козелецелистной – 2.9 раза (8.6–25 мг/кг), для подмаренника настоящего – 4.0 раза (14–56 мг/кг). Разные виды в одном и том же месте произрастания различались по содержанию титана в 4.7 раза: кровохлебка аптечная (12 мг/кг) и подмаренник настоящий (56 мг/кг).

По степени поглощения растениями из почвы титан относится к элементам очень низкой интенсивности поглощения: его КБП для растений степных фитоценозов колебался от 0.07 до 0.12 (среднее 0.09), луговых фитоценозов недостаточного увлажнения – от 0.03 до 0.25 (среднее 0.09), луговых фитоценозов нормального увлажнения – от 0.02 до 0.25. Для лугово-болотного фитоценоза КБП титана растениями оказался значительно выше (0.63–0.83 при среднем значении 0.73) в связи с тем, что содержание титана в торфяно-болотной почве существенно ниже по сравнению с его содержанием в минеральных почвах (480 и 2015–6020 мг/кг соответственно). Между накоплением титана в растениях и валовым содержанием его в почвах выявлена высокая положительная корреляционная зависимость для степных фитоценозов ($r = 0.82$) и отрицательная – для луговых фитоценозов ($r = -0.29$, -0.42).

Ванадий (^{23}V)

Ванадий – важный элемент для костной ткани, способствует кальцификации, повышает устойчивость зубов к кариесу и усиливает действие инсулина [1].

Содержание ванадия в лекарственных растениях степных фитоценозов изменялось

в пределах 0.46–7.28 мг/кг, луговых недостаточного увлажнения – 0.61–3.35 мг/кг, луговых нормального увлажнения – 0.42–3.98 мг/кг, лугово-болотного – 1.40–1.42 мг/кг. Наибольшее отличие в содержании ванадия отмечено для растений степных фитоценозов (15.8 раза), что обусловлено высокой концентрацией его в панцерине шерстистой, а наименьшее различие – для растений лугово-болотного фитоценоза (1.1 раза). Содержание ванадия в лекарственных растениях Забайкалья в основном соответствует таковому в лекарственных растениях Европейской части, которое варьирует от 0.1 до 3.6 мг/кг [14].

Минимальное содержание ванадия обнаружено в володушке козелецелистной (0.46 мг/кг), полыни холодной (0.51 мг/кг) и доннике ароматном (0.62 мг/кг), а максимальное – в панцерине шерстистой (7.28 мг/кг), полыни эстрагон (3.35 мг/кг), подорожнике большом (3.98 мг/кг).

Один и тот же вид в разных местообитаниях различался по количеству ванадия от 1.3 раза для володушки козелецелистной (0.46–0.59 мг/кг), 2.1 раза – для кровохлебки лекарственной (0.62–1.3 мг/кг), 2.5 раза – для подмаренника настоящего (0.67–1.7 мг/кг) и полыни холодной (0.51–1.3 мг/кг) до 3.8 раза – для хвоща полевого (0.90–3.45 мг/кг). Разные виды в одном и том же месте произрастания – подмаренник настоящий и гвоздика разноцветная – различались по содержанию ванадия в 2.8 раза (1.7 и 0.61 мг/кг соответственно).

Ванадий можно отнести к элементам низкой интенсивности поглощения: КБП его для растений степных фитоценозов колебался от 0.11 до 0.26 (среднее 0.16), луговых недостаточного увлажнения – 0.07–0.31 (0.18), луговых нормального увлажнения – 0.07–0.20 (0.16).

Между накоплением ванадия в растениях и содержанием его в почвах практически отсутствует зависимость: для степных фитоценозов $r = -0.04$, для луговых фитоценозов недостаточного увлажнения $r = -0.23$, для луговых фитоценозов нормального увлажнения $r = 0.11$.

Никель (^{28}Ni)

Никель принимает участие в углеводном, липидном, минеральном и гормональном обмене, стимулирует эритропоэз и иммунную

систему [1]. В растениях никель является составной частью фермента уреазы, катализирующего распад мочевины [2].

Содержание никеля в лекарственных растениях степных фитоценозов варьировало в пределах 0.14–2.19 мг/кг, луговых недостаточного увлажнения – 0.20–8.85 мг/кг, луговых нормального увлажнения – 0.21–5.10 мг/кг, лугово-болотного – 0.70–0.73 мг/кг. Наибольшее отличие в содержании никеля отмечено для растений луговых фитоценозов недостаточного увлажнения (44.3 раза), а наименьшее – для растений лугово-болотного фитоценоза (1.1 раза). Содержание никеля в лекарственных растениях Забайкалья в целом соответствует его концентрации в лекарственных растениях Европейской части (0.4 до 10.0 мг/кг) [14].

Минимальное содержание никеля отмечается в володушке козелецелистной (0.14 мг/кг), полыни холодной и доннике ароматном (0.24 мг/кг), а максимальное – в кровохлебки аптечной (8.85 мг/кг), подмареннике настоящем (4.5 мг/кг), гвоздике разноцветной (3.66 мг/кг), подорожнике большом (3.95 мг/кг) и панцерине шерстистой (2.19 мг/кг).

Один и тот же вид в разных местообитаниях различался по содержанию никеля от 1.4 раза (володушка козелецелистная, 0.14–0.19 мг/кг), 1.9 раза (полынь холодная, 0.24–0.45 мг/кг) до 2.5 раза (хвощ полевой, 0.43–1.08 мг/кг) и 3.8 раза (подмаренник настоящий, 1.18–4.5 мг/кг). Разные виды в одном и том же месте произрастания – подмаренник настоящий и гвоздика разноцветная – различались по содержанию никеля в 1.2 раза (4.5 и 3.66 мг/кг соответственно).

Никель относится к элементам низкой интенсивности поглощения: КБП его в степных фитоценозах варьировал от 0.13 до 0.30 (среднее 0.20), в луговых недостаточного увлажнения – 0.08–0.54 (0.31), в луговых нормального увлажнения – 0.14–0.71 (0.47). В лугово-болотном ландшафте никель характеризуется средней интенсивностью поглощения: КБП его для двух видов растений составлял 2.0–2.4. Это обусловлено тем, что в лугово-болотной почве содержание никеля значительно ниже (5.0 мг/кг), чем в минеральных почвах степных и луговых фитоценозов (14–39 мг/кг).

Между накоплением никеля в растениях и содержанием его в почвах выявлена сред-

няя положительная зависимость для степных фитоценозов ($r = 0.76$) и отсутствие связи для луговых фитоценозов недостаточного увлажнения ($r = -0.08$) и нормального увлажнения ($r = 0.17$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена значительная неоднородность в накоплении условно необходимых микроэлементов в лекарственных растениях, что обусловлено как их физиологической значимостью, биологическими особенностями растений и избирательностью поглощения микроэлементов из питательной среды, так и эколого-геохимическими факторами, определяющими биодоступность элементов. Содержание микроэлементов в 21 изученном виде лекарственных растений изменялись в следующих пределах, мг/кг сухого вещества: Si 700–13 300 (среднее 4326 ± 512), Ti 8.8–73 (28 ± 2.6), B 2.1–70 (13.7 ± 3.6), Li 1.3–22.2 (5.76 ± 1.40), Ni 0.14–8.85 (1.81 ± 0.33), V 0.42–7.28 (1.47 ± 0.21). Наименьший коэффициент вариации (59 %) отмечен для титана, а наибольший (130 %) – для бора. По интенсивности биологического поглощения из почвы бор относится к группе интенсивного поглощения (КБП = 6.2–8.3), литий – среднего (1.1–2.3), никель – слабого (0.13–1.30), титан и ванадий – очень слабого поглощения (0.02–0.39). Установлены неоднозначные корреляционные зависимости между содержанием микроэлементов в лекарственных растениях и их концентрацией в почвах: для степных аридных ландшафтов – сильная положительная связь для Ti, Ni, слабая отрицательная – для V; для луговых ландшафтов недостаточного увлажнения – средняя положительная для Li, B, слабая отрицательная – для Ti, V; для луговых ландшафтов нормального увлажнения – слабая положительная для V, Ni и отрицательная для Ti.

Выявлены растения, концентрирующие микроэлементы в повышенных количествах: Li – тысячелистник обыкновенный, панцерина шерстистая, подорожник большой; B – сабельник болотный, полынь эстрагон, хвощ полевой; Si – хвощ полевой, подорожник большой, панцерина шерстистая; Ti – панцерина шерстистая, полынь эстрагон; V – по-

дорожник большой, панцерина шерстистая, полынь эстрагон; Ni – панцерина шерстистая, подорожник большой, кровохлебка аптечная. По способности концентрировать группу элементов выделяются: панцерина шерстистая – пять из шести изученных микроэлементов (Li, Si, Ti, V, Ni), подорожник – четыре (Li, Si, V, Ni), полынь эстрагон – три (B, Ti, V). Минимальное содержание микроэлементов характерно для володушки козелецелистной (Si, Ti, V, Ni) и красоднева малого (Li, B, Si, Ti).

Установлено, что один и тот же вид растения в разных экологических условиях значительно различается по содержанию микроэлементов, а разные виды растений в одном биотопе накапливают разные количества микроэлементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ребров В. Г., Громова О. А. Витамины, макро- и микроэлементы. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.
- 2 Битюцкий Н. П. Необходимые микроэлементы растений. СПб.: ДЕАН, 2005.
- 3 Вернадский В. И. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1938. Т. 18, № 1. С. 19.
- 4 Кашин В. К. // Химия уст. разв. 2009. Т. 17, № 3. С. 379.
- 5 Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995.
- 6 Почвенные ресурсы Забайкалья / отв. ред. В. М. Корсунов. Новосибирск: Наука, 1989.
- 7 Базилевич Н. И., Титлянова А. А., Смирнов В. В., Родин Л. Е., Нечаева Н. Г., Левин Ф. И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978.
- 8 Кашин В. К. // Геохимия. 1998. № 3. С. 313.
- 9 Иванов Г. М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007.
- 10 Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990.
- 11 Ловкова М. Я., Соколова С. М., Бузук Г. Н. // Докл. РАН. 2007. Т. 412, № 5. С. 713.
- 12 Ягодин Б. А., Ступакова Г. А., Виноградова С. Б. // Агрехимия. 1989. № 7. С. 116.
- 13 Добровольский В. В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003.
- 14 Ловкова М. Я., Соколова С. М., Бузук Г. Н., Быховский В. Я., Пономарева С. М. // Прикладная биохимия и микробиология. 1999. Т. 35, № 5. С. 578.
- 15 Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
- 16 Жолнин А. В. // Тр. Биогеохим. лаб. Т. 24. М.: Наука, 2003. С. 289.
- 17 Carvajal M., Alcaraz C. // J. Plant Nutr. 1998. Vol. 21, No. 4. P. 655.
- 18 Стеблевская Н. И., Полякова Н. В., Медков М. А. // Раст. ресурсы. 2009. Т. 45, Вып. 3. С. 102.