

УДК 581.192:577.118:582.71

## ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *ROSA ACICULARIS*

© Л.В. Афанасьева\*, Т.А. Аюшина

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,  
ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 (Россия), e-mail: afanl@mail.ru

Целью исследований было определение содержания и особенностей распределения микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Cd) в надземных и подземных частях *Rosa acicularis*, произрастающей в разных эколого-фитоценологических условиях в Баргузинском районе Республики Бурятия. Концентрации микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «AAAnalyst 400 PerkinElmer». Наиболее высокие концентрации Zn, Cu, Ni и Co отмечены в корнях *R. acicularis*, Mn, Cr, Pb и Cd – в листьях, Fe – в чашелистиках. Ряды накопления микроэлементов в разных органах растений имеют близкую последовательность – Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>Co>Cd. Установлено, что для Zn, Cu, Ni и Co характерным является барьерный тип накопления; Fe, Mn, Cr, Pb и Cd безбарьерно перемещаются в чашелистики и листья. Выявлены элементы сильного накопления в растениях – Zn, Cu, Cr, Cd ( $K_n = 1.0–6.1$ ), кроме того, в листьях, стеблях и корнях к элементам сильного накопления относится Ni, а в стеблях и корнях – Co. Остальные элементы слабо накапливаются и средне захватываются ( $K_n = 0.1–0.9$ ). Отмечено, что плоды *R. acicularis* могут быть использованы в качестве потенциального источника марганца, хрома и кобальта.

*Ключевые слова:* *Rosa acicularis*, микроэлементы, надземные и подземные органы, Республика Бурятия.

*Исследования проводились в рамках государственного задания по теме «Структура разнообразия растительного покрова и ресурсный потенциал модельных видов растений в Байкальском регионе» (№ АААА-А17-117011810036-3).*

### Введение

Шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindley, сем. Rosaceae) – один из наиболее интересных и перспективных с научно-теоретической и хозяйственно-практической точки зрения вид, имеющий циркумбореальный ареал [1]. Он часто встречается в подлеске хвойных и лиственных лесов, на вырубках, в речных поймах, формируя заросли, имеющие промысловое значение. В последние годы кустарник активно используется для рекультивации нарушенных земель, создания защитных насаждений и при озеленении городских парков, скверов, в посадках вдоль автомобильных дорог [2].

Плоды шиповника являются фармакопейным сырьем, которое применяется в качестве поливитаминного, а также желчегонного, противовоспалительного, мочегонного, противосклеротического и общеукрепляющего средства [3, 4]. Они используются в пищевой (кондитерской) и парфюмерно-косметической промышленности [5, 6]. В народной медицине применение находят также вегетативная часть растений и корни. Благодаря наличию фенольных соединений (флавоноиды, катехины), пектиновых веществ, полисахаридов отвары и настои корней, стеблей и листьев *R. acicularis* обладают желчегонными, вяжущими, диуретическими и антисептическими свойствами [7].

Анализ научной литературы свидетельствует о том, что биохимический состав плодов *R. acicularis* хо-

---

Афанасьева Лариса Владимировна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории флористики и геоботаники, e-mail: afanl@mail.ru  
Туяна Аюшевна Аюшина – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биогеохимии и экспериментальной агрохимии, e-mail: tuyana2602@mail.ru

рошо изучен [8–13]. Гораздо меньше данных о содержании макро- и микроэлементов в растениях *R. acicularis*, а также особенностях их накопления в различных органах [14–16]. Учитывая то, что фармакологический эффект лекарственных растений

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

часто зависит от содержания в них тех или иных химических элементов, играющих важную роль в биогенезе биологически активных веществ [17], актуальность таких исследований не вызывает сомнений. Проблема экологической чистоты растительного лекарственного сырья также обуславливает необходимость определения в растениях содержания химических элементов, особенно токсичных, таких как свинец и кадмий.

Цель данной работы – изучить особенности аккумуляции и распределения микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) в растениях *R. acicularis*, произрастающих в разных эколого-фитоценологических условиях в Баргузинском районе Республики Бурятия.

### Экспериментальная часть

Исследования проведены в 2017 г. в Баргузинском районе Республики Бурятия. Растения были собраны на ключевых участках размером не менее 0.25 га в конце вегетационного сезона (последняя декада августа). Краткая характеристика ключевых участков приведена в таблице 1.

На каждом КУ методом квадрата выкапывали пять точечных образцов. Растения разделяли на отдельные органы: корни, стебли, листья, ягоды и объединяли в один смешанный образец. Корни очищали от видимых примесей, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде. Одновременно отбирали почвенные образцы на глубине 0–20 см.

В лабораторных условиях определение влажности образцов проводили в 3-кратной повторности после их высушивания в сушильном шкафу до постоянного веса при температуре 105 °С. Основную часть растительных и почвенных образцов высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего измельчали и просеивали. При анализе плодов шиповника из высушенного гипантия извлекали заключенные в его полость многочисленные семена (орешки), а также отделяли чашелистики, которые у данного вида при отцветании остаются на верхушке плода.

Концентрации микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Cd) определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «AAAnalyst 400 PerkinElmer». Растительные образцы разлагали с помощью системы микроволнового разложения Mars 6. Около 0.5 г сухого образца (точная навеска) помещали в тефлоновые сосуды, добавляли 4 мл концентрированной HNO<sub>3</sub> и 4 мл 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [18]. Из почвы извлекались кислоторастворимые (потенциально подвижные) формы металлов раствором 1Н HNO<sub>3</sub>, при соотношении почвы к кислоте 1 : 10, время экстракции 1 ч. Определение кислотности почвенного раствора (рН<sub>вод</sub>) производили потенциометрически, гумуса – по Тюрину [19].

Для оценки интенсивности накопления химических элементов растениями *R. acicularis* из почвы вычисляли коэффициенты накопления ( $K_n$ ) – отношение содержания элемента в органах растений к содержанию его подвижных форм в почве и корневого барьера ( $K_{кб}$ ) – отношение величин содержания элементов в корне растения и надземных органах.  $K_n$  близок к коэффициенту биологического поглощения, но в отличие от него отражает не потенциальную, а актуальную биогеохимическую подвижность элементов. По  $K_n$  элементы были разделены на группы: 1) энергичного накопления ( $100 > K_n \geq 10$ ); 2) сильного накопления ( $10 > K_n \geq 1$ ); 3) слабого накопления и среднего захвата ( $1 > K_n \geq 0,1$ ); 4) слабого захвата ( $0,1 > K_n \geq 0,01$ ), 5) очень слабого захвата ( $0,01 > K_n \geq 0,001$ ) [20]. Значения  $K_{кб} > 1$  указывают на наличие барьера при поступлении элементов в надземную часть растений.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартных методов [21] и пакета программ Statistica 8.0. Для оценки достоверности различий средних значений исследуемых показателей использовали непараметрический критерий Манна-Уитни.

Таблица 1. Краткая характеристика ключевых участков

Ключевой участок (КУ)	Краткая характеристика
КУ-1	Окрестности с. Усть-Баргузин, высота над уровнем моря 680 м. Лесная просека вдоль линии электропередачи. Кустарниковая заросль из <i>Rosa acicularis</i> . Общее проективное покрытие сообщества 50–60%, <i>R. acicularis</i> 45%. Почва – дерново-подбур, рН <sub>вод</sub> =5.4, гумус 2.4%.
КУ-2	Окрестности с. Баргузин, высота над уровнем моря 720 м. Сосняк рододендроновый, 10С. Общее проективное покрытие травяно-кустарникового яруса 30–40%, <i>R. acicularis</i> 5–10%. Почва – дерново-подбур, рН <sub>вод</sub> =5.6, гумус 1.8%.
КУ-3	Пойма р. Чилир, высота над уровнем моря 650 м. Ивняк редкотравный (доминирует <i>Salix pseudopentandra</i> ). Общее проективное покрытие сообщества 50–60%, <i>R. acicularis</i> 35%. Почва – аллювиальная, рН <sub>вод</sub> =6.7, гумус 4.2%.

### Результаты и их обсуждение

Распределение микроэлементов (МЭ) по органам растений определяется их свойствами и функциями в растительном организме, а также особенностями функционирования различных частей растений. Наиболее высокие концентрации цинка, меди, никеля и кобальта отмечены в корнях *R. acicularis*, при этом для никеля и кобальта характерно постепенное снижение концентрации в ряду корни > стебли > листья > чашелистики > ягоды > семена (табл. 2). Для цинка и меди эта последовательность нарушается в результате большего накопления элементов в семенах и ягодах (корни > стебли > семена > ягоды > листья > чашелистики), что может быть связано с важной их ролью в процессах формирования и развития генеративных органов [22]. В листьях аккумулируются марганец, хром, свинец и кадмий, в чашелистиках – железо, содержание которого в 5.1–6.6 раза превышает его уровень в плодах. Концентрации марганца, свинца и кадмия уменьшается в ряду листья > чашелистики > корни > стебли > ягоды > семена. Для железа и хрома характерна такая же последовательность, за исключением большего накопления первого элемента в чашелистиках и семенах, а второго – в семенах. На основе средних концентраций МЭ в органах растений были построены ряды их накопления. Обнаружено, что в разных органах они имеют близкие последовательности ( $Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Co > Cd$ ), некоторые отличия наблюдаются в перемещении в сторону большей концентрации марганца в ягодах, листьях и стеблях; хрома – в чашелистиках и листьях; никеля – в корнях.

При сравнении концентрации МЭ в растениях из разных мест произрастания обращает на себя внимание в общем сравнительно небольшой диапазон варьирования их содержания ( $C_V$  до 40%). Тем не менее установлено, что на лесной просеке в кустарниковой заросли из *R. acicularis* в чашелистиках и семенах содержится достоверно больше марганца; в чашелистиках и листьях – меди; в то время как концентрация цинка во всех органах была наименьшей ( $n=15$ ,  $P < 0.05$ ). В сосняке рододендроновом достоверно выше в чашелистиках, стеблях и корнях уровень хрома. В кустарниковой заросли в пойме реки растения шиповника характеризуются более низкими концентрациями железа, марганца, свинца и никеля. При этом последовательность МЭ в рядах накопления сохраняется.

Известно, что на уровень содержания химических элементов в растениях значительное влияние оказывает концентрация их подвижных форм в почвах. В пойме реки заросли шиповника формируются на аллювиальных почвах, особенностью которых является чередование песчано-супесчаных наносов аллювия и прогумусированных горизонтов небольшой мощности, а также выраженная задренованность верхнего горизонта. Относительно высокое содержание гумуса в органогенных горизонтах и слабощелочная реакция среды могут понижать растворимость солей металлов в почвенном растворе, в результате чего биодоступность металлов снижается. Анализ концентрации подвижных форм микроэлементов показал, что их уровень в аллювиальной почве в 1.3–2.4 раза ниже, чем в дерново-подбурях, для которых характерна слабокислая реакция среды и низкое содержание гумуса. При проведении корреляционного анализа отмечено, что между содержанием подвижных форм МЭ в почве (за исключением меди и кадмия) и их концентрацией в корнях, стеблях и листьях растений обнаруживаются связи высокого и среднего уровня значимости ( $r = 0.52–0.84$ ), для ягод и семян выявлены корреляционные связи более низкого уровня значимости.

Способность растений поглощать металлы из почвы характеризуется коэффициентом накопления ( $K_n$ ), отражающим степень биофильности элементов, а также интенсивность их вовлечения в биологический круговорот. На основании полученных данных выявлены элементы сильного накопления в растениях – цинк, медь, хром и кадмий ( $K_n = 1.0–6.1$ ). Интересно, что кадмий (один из наиболее токсичных тяжелых металлов) активно поглощается корневыми системами многих растений, довольно быстро транспортируется в надземные части, в том числе в генеративные органы. По своим свойствам элемент близок цинку, но подвижнее его в различных средах. Предполагают, что процесс поглощения кадмия растениями может осуществляться с помощью тех же переносчиков, что и других двухвалентных катионов, таких как  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  или через катионные каналы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  [23]. В листьях, стеблях и корнях к элементам сильного накопления также относится никель, а в стеблях и корнях еще и кобальт (табл. 3). Остальные элементы слабо накапливаются и средне захватываются ( $K_n = 0.1–0.9$ ). Отмечено, что интенсивность накопления марганца, цинка, свинца и кадмия выше у растений на аллювиальной почве, а железа, никеля и кобальта – на дерново-подбурях.

Основным барьером на пути транспорта металлов в надземные органы растений является корневая система. Расчет коэффициентов корневого барьера показал, что для цинка, меди, никеля и кобальта характерным является барьерный тип накопления (табл. 4). В отношении железа, марганца, хрома, свинца и кадмия отмечено барьерное накопление в ягодах, семенах, стеблях и безбарьерное в листьях и чашелистиках.

Преимущественное накопление ряда металлов в отдельных органах, может свидетельствовать о неодинаковой проницаемости аппопласта клеток разных тканей побега и о наличии тканей с выраженными металл-аккумулирующими свойствами [24].

Таблица 2. Содержание микроэлементов ( $M \pm m$  мг/кг сухого вещества,  $n = 15$ ) в надземных и подземных органах *R. acicularis* и в почве

Ключевой участок (КУ)	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Co	Cd
<b>Чашелистики <math>Fe &gt; Mn &gt; Cr &gt; Zn &gt; Pb &gt; Cu &gt; Ni &gt; Co \geq Cd</math></b>									
КУ-1	200±14	<b>106±14</b>	<b>5.2±0.8</b>	<b>4.7±0.2</b>	6.8±2.5	4.8±0.8	3.0±0.4	0.9±0.1	<b>0.5±0.1</b>
КУ-2	192±12	81.4±12	7.3±2.5	3.6±0.6	<b>9.4±1.9</b>	5.1±0.6	2.6±0.2	1.1±0.1	0.7±0.1
КУ-3	<b>98.7±8</b>	70.1±8	6.2±1.4	3.3±0.4	7.5±2.1	<b>3.9±0.6</b>	<b>1.5±0.2</b>	1.0±0.1	0.7±0.1
$C_v^{**}, \%$	34	21	22	19	17	13	34	13	18
<b>Ягоды (Гипантий) <math>Mn &gt; Fe &gt; Zn &gt; Cu &gt; Cr &gt; Pb &gt; Ni &gt; Co &gt; Cd</math></b>									
КУ-1	33.4±2.5	46.8±2.8	<b>7.2±1.6</b>	5.6±0.8	5.4±0.8	2.6±0.5	2.4±0.2	<b>0.7±0.1</b>	0.3±0.1
КУ-2	30.4±1.4	36.8±3.4	13.6±1.6	5.1±0.7	4.2±0.8	3.2±0.4	2.2±0.1	1.0±0.1	<b>0.2±0.1</b>
КУ-3	<b>19.4±1.2</b>	40.7±1.2	10.9±1.4	5.1±0.8	4.5±0.7	<b>2.0±0.2</b>	<b>1.1±0.1</b>	1.0±0.1	0.3±0.1
$C_v, \%$	27	12	35	6	13	22	35	17	22
<b>Семена <math>Fe &gt; Mn &gt; Zn &gt; Cu &gt; Cr &gt; Pb &gt; Ni &gt; Cd \geq Co</math></b>									
КУ-1	40.6±17	<b>22.7±13</b>	<b>7.7±2.2</b>	5.9±1.2	5.6±0.6	1.8±0.1	1.4±0.3	0.2±0.1	<b>0.3±0.1</b>
КУ-2	<b>34.8±0.9</b>	17.8±12	17.7±2.0	5.2±0.4	5.1±1.4	1.4±0.1	1.2±0.4	0.2±0.1	0.2±0.1
КУ-3	32.3±16	16.1±0.9	11.8±18	5.7±0.4	5.2±1.8	1.6±0.1	<b>0.8±0.2</b>	0.2±0.1	0.2±0.1
$C_v, \%$	11	18	23	7	5	11	26	10	25
<b>Листья <math>Mn &gt; Fe &gt; Cr &gt; Zn &gt; Pb &gt; Cu &gt; Ni &gt; Co &gt; Cd</math></b>									
КУ-1	108±18	127±24	<b>5.5±1.0</b>	<b>4.9±0.6</b>	13.6±0.3	5.0±0.1	3.5±0.4	0.9±0.1	<b>0.6±0.1</b>
КУ-2	120±21	124±10	8.3±0.8	4.1±0.6	10.1±0.6	5.8±0.2	3.1±0.2	1.1±0.1	0.7±0.1
КУ-3	<b>84.2±10</b>	92±36	9.4±1.1	3.6±0.4	11.7±0.8	4.7±0.1	<b>1.7±0.2</b>	1.0±0.1	0.8±0.1
$C_v, \%$	18	17	26	16	14	10	35	10	14
<b>Стебли <math>Mn &gt; Fe &gt; Zn &gt; Cu &gt; Cr &gt; Pb &gt; Ni &gt; Co &gt; Cd</math></b>									
КУ-1	50.4±4.2	51.2±6.4	<b>14.5±2.2</b>	7.2±0.3	5.9±1.0	3.8±0.2	3.6±0.2	1.2±0.1	0.4±0.1
КУ-2	48.8±7.5	49.5±0.6	31.2±2.0	8.9±0.6	<b>7.8±0.8</b>	4.2±0.4	3.9±0.4	1.3±0.2	0.5±0.1
КУ-3	39.3±3.6	42.4±1.8	25.5±1.9	8.5±0.4	6.5±0.6	<b>2.9±0.2</b>	<b>1.9±0.1</b>	1.5±0.1	0.4±0.1
$C_v, \%$	13	10	36	10	14	18	34	11	13
<b>Корни <math>Fe &gt; Mn &gt; Zn &gt; Cu &gt; Cr &gt; Ni &gt; Pb &gt; Co &gt; Cd</math></b>									
КУ-1	89.4±15	69.1±125	<b>17.8±32</b>	9.2±0.6	6.2±0.1	4.0±0.3	5.7±0.1	1.6±0.1	<b>0.4±0.1</b>
КУ-2	92.4±86	72.9±2.9	48.2±2.1	11.1±1.1	<b>8.7±0.4</b>	4.4±0.4	4.8±0.2	1.5±0.1	0.6±0.1
КУ-3	<b>54.2±2.4</b>	<b>50.6±86</b>	37.8±12	10.8±0.6	7.2±0.2	3.2±0.3	<b>3.4±0.1</b>	1.7±0.1	0.6±0.1
$C_v, \%$	27	19	45	10	17	15	25	7	22
<b>Почва</b>									
КУ-1	258±36	<b>184±14</b>	<b>4.2±1.3</b>	2.6±0.2	5.3±0.2	7.4±0.2	<b>3.6±0.2</b>	1.1±0.1	0.2±0.1
КУ-2	228±22	<b>148±8</b>	<b>6.8±1.4</b>	<b>4.8±0.4</b>	4.4±0.3	6.8±0.1	<b>2.4±0.2</b>	1.3±0.1	0.2±0.1
КУ-3	205±18	<b>99.3±6.4</b>	<b>5.3±0.6</b>	2.0±0.2	3.8±0.1	<b>3.4±0.1</b>	<b>1.9±0.2</b>	<b>1.7±0.2</b>	<b>0.1±0.1</b>
$C_v, \%$	12	30	24	47	16	37	33	20	20

Примечание. \* – жирным шрифтом выделены концентрации элементов, для которых различия между ключевыми участками достоверны при  $P < 0.05$ ; \*\*  $C_v$  – коэффициент вариации.

Таблица 3. Коэффициенты накопления микроэлементов в растениях *Rosa acicularis*

Элемент	Коэффициент накопления					
	Чашелистики	Ягоды	Семена	Листья	Стебли	Корни
Mn	0.6±0.1	0.3±0.1	0.1±0.1	0.8±0.1	0.3±0.1	0.5±0.1
Fe	0.7±0.1	0.1±0.3	0.2±0.2	0.5±0.1	0.2±0.1	0.3±0.1
Zn	<b>1.2*±0.2</b>	<b>1.9±0.3</b>	<b>2.2±0.1</b>	<b>1.4±0.3</b>	<b>4.3±0.1</b>	<b>6.2±0.1</b>
Cu	<b>1.4±0.2</b>	<b>1.9±0.3</b>	<b>2.1±0.1</b>	<b>1.5±0.2</b>	<b>2.9±0.1</b>	<b>3.7±0.1</b>
Cr	<b>1.8±0.1</b>	<b>1.1±0.1</b>	<b>1.2±0.1</b>	<b>2.6±0.1</b>	<b>1.5±0.1</b>	<b>1.7±0.1</b>
Pb	0.8±0.1	0.5±0.2	0.3±0.4	0.9±0.1	0.7±0.2	0.7±0.2
Ni	0.9±0.2	0.7±0.1	0.5±0.2	<b>1.1±0.1</b>	<b>1.2±0.1</b>	<b>1.8±0.1</b>
Co	0.7±0.1	0.7±0.1	0.1±0.1	0.7±0.1	<b>1.1±0.1</b>	<b>1.2±0.1</b>
Cd	<b>3.7±0.1</b>	<b>1.6±0.1</b>	<b>1.3±0.1</b>	<b>4.1±0.1</b>	<b>2.5±0.1</b>	<b>3.1±0.1</b>

Примечание: использованы усредненные данные для всей выборки, жирным шрифтом выделены элементы сильного накопления ( $K_n > 1$ ).

Расчет концентрации МЭ в 100 г свежих ягод *R. acicularis* показал, что они содержат около 300% рекомендованной для организма взрослого человека суточной нормы хрома и кобальта и почти 70% суточной нормы марганца (табл. 5). В некоторых публикациях [25, 26] плоды шиповника предлагают использовать для лечения и профилактики анемии, однако полученные нами данные свидетельствуют о невысоком содержании в них железа. Учитывая, что кобальт входит в состав цианокобаламина (витамин В<sub>12</sub>), играющего важную роль в формировании эритроцитов (эритропоэзе) [27], плоды *R. acicularis* могут быть рекомендованы в качестве источника этого микроэлемента, в том числе для профилактики анемии. Их можно также использовать для устранения дефицита хрома. Известно, что хром участвует в регуляции обмена углеводов и активности гормона инсулина в качестве «фактора толерантности к глюкозе», минимальное его количество, необходимое для организма здорового человека, составляет 0.05 мг. Однако при тяжелых нагрузках и беременности его потребление должно увеличиваться до 0.15–0.20 мг в сутки [28]. Следует отметить, что по сравнению с плодами других дикорастущих ягодных растений Байкальского региона, изученных нами ранее, плоды *R. acicularis* содержат больше кобальта в 4.2–10.0 раз и хрома в 1.9–7.5 раза. Концентрации железа, меди и цинка в ее плодах близки к таковым в плодах *Hippophae rhamnoides*.

Сравнение содержания свинца и кадмия в плодах *R. acicularis* с их предельно допустимыми концентрациями для БАД на растительной основе [30] показало, что собранное на обследованной территории сырье экологически безопасно и может быть использовано в лекарственных целях.

Таблица 4. Коэффициенты корневого барьера в растениях *Rosa acicularis*

Элемент	Коэффициент корневого барьера				
	Чашелистики*	Ягоды	Семена	Листья	Стебли
Mn	<b>0.8±0.1</b>	1.6±0.1	3.4±0.1	<b>0.6±0.1</b>	1.3±0.1
Fe	<b>0.5±0.1</b>	2.8±0.3	2.2±0.2	<b>0.7±0.1</b>	1.7±0.1
Zn	5.4±0.2	3.2±0.3	2.7±0.1	4.4±0.3	1.5±0.1
Cu	2.8±0.2	2.0±0.3	1.8±0.1	2.5±0.2	1.3±0.1
Cr	<b>0.9±0.1</b>	1.6±0.1	1.4±0.1	<b>0.6±0.1</b>	1.1±0.1
Pb	<b>0.8±0.1</b>	1.5±0.2	2.4±0.4	<b>0.7±0.1</b>	1.1±0.2
Ni	2.0±0.2	2.5±0.1	4.1±0.2	1.7±0.1	1.5±0.1
Co	1.6±0.1	1.8±0.1	8.7±0.1	1.1±0.1	1.7±0.1
Cd	<b>0.8±0.1</b>	2.1±0.1	2.4±0.1	<b>0.8±0.1</b>	1.2±0.1

Примечание. Используются усредненные данные для всей выборки, жирным шрифтом  $K_{\text{кб}} < 1$  (безбарьерное накопление).

Таблица 5. Содержание микроэлементов в плодах дикорастущих ягодных растений Байкальского региона, мг/100 г сырого вещества

Элемент	<i>Rosa acicularis</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Hippophae rhamnoides</i>	Суточная потребность, мг/сут [29]	Верхний допустимый уровень, мг/сут [29]
Mn	1.9	4.1	2.4	1.2	0.4	2.5	11
Fe	1.4	0.6	0.4	0.3	1.6	10	45
Zn	0.4	0.1	0.3	0.2	0.4	12	40
Cu	0.2	0.08	0.1	0.05	0.2	1.5	5
Cr	0.15	0.05	0.03	0.02	0.08	0.05	0.25
Co	0.03	0.005	0.004	0.003	0.007	0.01	0.03

### Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что основным депонирующим микроэлементами органом *R. acicularis* являются корни – в них происходит аккумуляция цинка, меди, свинца, никеля и кобальта, в листьях в большей степени накапливаются марганец, хром и кадмий, в чашелистиках – железо.

Ряды накопления микроэлементов в разных органах растений имеют близкую последовательность – Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>Co>Cd.

Для цинка, меди, никеля и кобальта характерным является барьерный тип накопления; железо, марганец, хром, свинец и кадмий безбарьерно перемещаются в чашелистики и листья и барьерно в генеративные органы и стебли. Выявлены элементы сильного накопления в растениях – Zn, Cu, Cr, Cd ( $K_n = 1.0–6.1$ ), кроме того, в листьях, стеблях и корнях к элементам сильного накопления относится никель, а в стеблях и корнях – кобальт. Остальные элементы слабо накапливаются и средне захватываются ( $K_n = 0.1–0.9$ ).

Отмечено, что плоды *R. acicularis* могут быть использованы в качестве потенциального источника марганца, хрома и кобальта.

## Список литературы

1. Флора Сибири. Т. 8. Rosaceae. Новосибирск, 1988. 200 с.
2. Вараксин Г.С., Кузнецова Г.В. Особенности биологической рекультивации в Норильском промышленном районе // Сибирский лесной журнал. 2016. №2. С. 92–101. DOI: 10.15372/SJFS20160209.
3. Фармакогнозия. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения: учебное пособие / под ред. Г.П. Яковлева. СПб., 2013. 848 с.
4. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. IV. 1926 с.
5. Бачинский А.Г., Децина А.Н. Природные биоцидные добавки // Косметика и медицина. 1998. №1. С. 15–17.
6. Павлова Т.В., Васькина В.А., Косминская Г.И. Использование лекарственных растений в производстве продуктов питания // Пищевая технология. 1999. №1. С. 13–15.
7. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. СПб.; М., 2009. Т. 2. 513 с.
8. Ширко Т.С., Радюк А.Ф. Химический состав плодов видов *Rosa L.*, выращиваемых в Белоруссии // Растительные ресурсы. 1991. Вып. 2. С. 59–66.
9. Шанина Е.В., Рубчевская Л.П. *Rosa acicularis* – источник витаминов // Химия растительного сырья. 2003. №1. С. 65–67.
10. Стародуб О.А., Меняйло Л.Н. Изучение липидов плодов шиповников (*Rosa L.*), произрастающих в разных экологических условиях // Вестник КрасГАУ. 2007. №3. С. 127–130.
11. Тимофеева В.Н., Черепанова Е.С., Башаримова А.В. Аминокислотный состав плодов шиповника и продуктов его переработки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. №5. С. 30.
12. Петрова С.Н., Ивкова А.В. Химический состав и антиоксидантные свойства видов рода *Rosa L.* (обзор) // Химия растительного сырья. 2014. №2. С. 13–19. DOI: 10.14258/jcprpm.1402013.
13. Zhang X., Zhang R., Zhang L., Yu D., Jiang L. Extraction and the fatty acid profile of *Rosa acicularis* seed oil // Journal of oleo science. 2017. Vol. 66 (12). Pp. 1301–1310. DOI: 10.5650/jos.ess17006.
14. Шанина Е.В., Рубчевская Л.П. Минеральный состав биомассы *Rosa acicularis* Lindl. // Известия вузов. Пищевая технология. 2005. №2–3. С. 47–49.
15. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л. Содержание микроэлементов в лекарственных растениях разных экосистем озера Котокельского (Западное Забайкалье) // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 53–59. DOI: 10.14258/jcprpm.201602697.
16. Павлова Е.П. Влияние эколого-фитоценологических факторов на накопление биологически активных веществ в плодах *Rosa acicularis* Lindley и *Rosa davurica* Pallas (Западное Забайкалье): дисс. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2009. 20 с.
17. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н. Особенности элементного состава лекарственных растений, синтезирующих фенольные соединения // Прикладная биохимия и микробиология. 1999. Т. 35. №5. С. 578–589.
18. Седых Э.М. и др. Микроволновое разложение биологических объектов для последующего атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного (с индуктивно связанной плазмой) анализа // Журнал аналитической химии. 1991. Т. 46, вып. 2. С. 292–298.
19. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
20. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 768 с.
21. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М., 1990. 296 с.
22. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. СПб., 2011. 368 с.
23. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петро-заводск, 2007. 170 с.
24. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // Физиология растений. 2008. Т. 55. С. 3–26.
25. Телятьев В.В. Полезные растения Центральной Сибири. Иркутск, 1985. 384 с.
26. Круглов Д.С. Лекарственные средства, применяемые для профилактики и лечения железодефицитных состояний // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. №4. С. 26–41.
27. Румянцев Е.В., Антина Е.В., Чистяков Ю.В. Химические основы жизни. М., 2007. 560 с.
28. Реутин С.В. Роль хрома в организме человека // Вестник Российского университета. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009. №4. С. 50–55.
29. Методические рекомендации № 2.3.1.1915–04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М., 2004.
30. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 180 с.

Поступила в редакцию 5 февраля 2019 г.

После переработки 25 февраля 2019 г.

Принята к публикации 8 апреля 2019 г.

Для цитирования: Афанасьева Л.В., Аюшина Т.А. Особенности аккумуляции микроэлементов в растениях *Rosa acicularis* // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 197–204. DOI: 10.14258/jcprpm.2019035137.

*Afanasyeva L.V.\**, *Ayushina T.A.* FEATURES OF MICROELEMENTS ACCUMULATION IN *ROSA ACICULARIS* PLANTS

*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, ul. Sakh'yanovoy, 6, Ulan-Ude, 670047 (Russia),  
e-mail: afanl@mail.ru*

The purpose of this study was to determine the microelements (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Cd) content and distribution in the aboveground and underground parts of the *Rosa acicularis*, grown in different ecological conditions in the Barguzinsky district (the Republic of Buryatia). Atomic absorption spectrometry was used to determine the concentration of microelements. The highest concentrations of Zn, Cu, Ni, and Co are found in the roots of *R. acicularis*, Mn, Cr, Pb, and Cd in the leaves, and Fe in the sepals. The rows of metal accumulation in different plant parts have a similar sequence – Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Co > Cd. The different intensity of elements accumulation by plants from the soil was detected. It was shown Fe, Mn, Cr, Pb and Cd transfer in vegetative parts of plants without barrier, while Zn, Cu, Ni, and Co are characterized by a barrier type of accumulation. Due to the high level accumulation of Mn, Cr and Co barriers can be used as a potential source of these elements.

*Keywords:* *Rosa acicularis*, microelements, aboveground and underground organs, Republic of Buryatia.

**References**

1. *Flora Sibiri. T. 8. Rosaceae.* [Flora of Siberia. Vol. 8. Rosaceae]. Novosibirsk, 1988, 200 p. (in Russ.).
2. Varaksin G.S., Kuznetsova G.V. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2016, no. 2, pp. 92–101. DOI: 10.15372/SJFS20160209. (in Russ.).
3. *Farmakognosiya. Lekarstvennoye syr'yo rastitel'nogo i zhiivotnogo proiskhozhdeniya: uchebnoye posobiye* [Pharmacognosy. Medicinal raw materials of plant and animal origin: a manual], ed. G.P. Yakovlev. St. Petersburg, 2013, 848 p. (in Russ.).
4. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii XIV izdaniye.* [The State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV edition]. Moscow, 2018, vol. IV, 1926 p. (in Russ.).
5. Bachinskiy A.G., Detsina A.N. *Kosmetika i meditsina*, 1998, no. 1, pp. 15–17. (in Russ.).
6. Pavlova T.V., Vas'kina V.A., Kosminskaya G.I. *Pishchevaya tekhnologiya*, 1999, no. 1, pp. 13–15. (in Russ.).
7. *Rastitel'nyye resursy Rossii: Dikorastushchiye tsvetkovyye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost'.* [Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity]. St. Petersburg, Moscow, 2009, vol. 2, 513 p. (in Russ.).
8. Shirko T.S., Radyuk A.F. *Rastitel'nyye resursy*, 1991, no. 2, pp. 59–66. (in Russ.).
9. Shanina Ye.V., Rubchevskaya L.P. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2003, no. 1, pp. 65–67. (in Russ.).
10. Starodub O.A., Menyaylo L.N. *Vestnik KrasGAU*, 2007, no. 3, pp. 127–130. (in Russ.).
11. Timofeyeva V.N., Cherepanova Ye.S., Basharimova A.V. *Khraneniye i pererabotka sel'khoz syr'ya*, 2008, no. 5, p. 30. (in Russ.).
12. Petrova S.N., Ivkova A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 2, pp. 13–19. DOI: 10.14258/jcprm.1402013. (in Russ.).
13. Zhang X., Zhang R., Zhang L., Yu D., Jiang L. *Journal of oleo science*, 2017, vol. 66 (12), pp. 1301–1310. DOI: 10.5650/jos.ess17006.
14. Shanina Ye.V., Rubchevskaya L.P. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2005, no. 2–3, pp. 47–49. (in Russ.).
15. Sosorova S.B., Merkusheva M.G., Ubugunov L.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 53–59. DOI: 10.14258/jcprm.201602697. (in Russ.).
16. Pavlova Ye.P. *Vliyaniye ekologo-fitosenoticheskikh faktorov na nakopleniye biologicheskii aktivnykh veshchestv v plodakh Rosa acicularis Lindley i Rosa davurica Pallas (Zapadnoye Zabaykal'ye): diss. ... kand. biol. nauk.* [The influence of environmental-phytocenotic factors on the accumulation of biologically active substances in the fruits of *Rosa acicularis* Lindley and *Rosa davurica* Pallas (Western Transbaikalia): Diss. ... cand. biol. sciences]. Ulan-Ude, 2009, 20 p. (in Russ.).
17. Lovkova M.Ya., Sokolova S.M., Buzuk G.N. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1999, vol. 35, no. 5, pp. 578–589. (in Russ.).
18. Sedykh E.M. i dr. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 1991, vol. 46, no. 2, pp. 292–298. (in Russ.).
19. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils], ed. L.A. Vorob'yeva. Moscow, 2006, 400 p. (in Russ.).
20. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta.* [Geochemistry of the landscape]. Moscow, 1999, 768 p. (in Russ.).
21. Zaytsev G.N. *Matematika v eksperimental'noy botanike.* [Mathematics in experimental botany]. Moscow, 1990, 296 p. (in Russ.).
22. Bityutskiy N.P. *Mikroelementy vysshikh rasteniy.* [Trace elements of higher plants]. St. Petersburg, 2011, 368 p. (in Russ.).
23. Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laydinen G.F. *Ustoychivost' rasteniy k tyazhelym metallam.* [Resistance of plants to heavy metals]. Petrozavodsk, 2007, 170 p. (in Russ.).
24. Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. *Fiziologiya rasteniy*, 2008, vol. 55, pp. 3–26. (in Russ.).
25. Telyat'yev V.V. *Poleznyye rasteniya Tsentral'noy Sibiri.* [Useful plants of Central Siberia]. Irkutsk, 1985, 384 p. (in Russ.).

\* Corresponding author.

26. Kruglov D.S. *Nauchnoye obozreniye. Meditsinskiye nauki*, 2017, no. 4, pp. 26–41. (in Russ.).
27. Rumyantsev Ye.V., Antina Ye.V., Chistyakov Yu.V. *Khimicheskiye osnovy zhizni*. [The chemical basis of life]. Moscow, 2007, 560 p. (in Russ.).
28. Reutina S.V. *Vestnik Rossiyskogo universiteta. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2009, no. 4, pp. 50–55. (in Russ.).
29. *Metodicheskiye rekomendatsii № 2.3.1.1915–04. Rekomenduyemyye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskikh aktivnykh veshchestv*. [Methodical recommendations No. 2.3.1.1915-04. Recommended levels of intake of food and biologically active substances]. Moscow, 2004. (in Russ.).
30. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov*. [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. Moscow, 2001, 180 p. (in Russ.).

Received February 5, 2019

Revised February 25, 2019

Accepted April 8, 2019

**For citing:** Afanasyeva L.V., Ayushina T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 197–204. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019035137.