

УДК 581.192:634.738

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ *VACCINIUM VITIS-IDAEA* В СВЕТЛОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ ИКАТСКОГО ХРЕБТА

© Л.В. Афанасьева*, Т.А. Аюшина, Ю.А. Рупышев, Т.М. Харпухаева

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

Рассмотрены особенности накопления микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) в листьях *Vaccinium vitis-idaea*, произрастающей в разных типах светлохвойных лесов Икатского хребта (Северное Прибайкалье). Содержание микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом с использованием спектрофотометра «АAnalyst 400 PerkinElmer». По величине накопления в листьях микроэлементы образуют следующий ряд: Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni ≥ Co > Cd. Отмечено, что в большей степени условия произрастания влияют на содержание в листьях Fe, Cu, Pb, Co, Cd. Выявлена прямая корреляционная зависимость между содержанием потенциально подвижных кислоторастворимых форм Cr, Mn, Fe, Cu в почве и в листьях брусники ($r = 0,48-0,76$). На основе коэффициентов накопления выделены элементы сильного накопления растениями *V. vitis-idaea* из почвы – Mn, Cu, Zn, а также элементы слабого накопления и среднего захвата – Fe, Cr, Ni, Pb, Co, Cd. Установлено, что листья *V. vitis-idaea* являются «сверх»-концентраторами марганца и хрома и умеренными накопителями кобальта.

Ключевые слова: *Vaccinium vitis-idaea*, листья, микроэлементы, Икатский хребет.

Работа выполнена в рамках проекта № гос. регистрации 0337-2016-0001.

Введение

Листья брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L. – сем. *Vacciniaceae* DC. ex Perleb) благодаря наличию комплекса биологически активных веществ (БАВ: фенольные соединения, органические кислоты, витамины, микроэлементы) широко применяются в народной и традиционной медицине в качестве моче- и желчегонного, антибактериального, противовоспалительного, иммуномодулирующего средства [1].

Несмотря на достаточную изученность биохимического состава листьев брусники [2–4] вопрос об уровне варьирования в них микроэлементов в зависимости от условий произрастания остается слабоизученным [5–7]. Между тем известно, что многие лекарственные растения являются концентраторами биологически важных микроэлементов и их комплексов, усиливающих терапевтический эффект основного действующего вещества. Многообразие условий произрастания может влиять на накопление микроэлементов в растениях, что отражается на синтезе тех или иных БАВ [8]. Поэтому с практической точки зрения для отбора хозяйственно ценных популяций лекарственных растений помимо изучения их биохимического состава важно определять и уровень накопления микроэлементов. На основе элементного химического состава растений также оценивается возможность их использования в качестве лекарственного сырья [9].

Афанасьева Лариса Владимировна – кандидат биологических наук, e-mail: afanl@mail.ru

Аюшина Туяна Аюшеевна – кандидат биологических наук, e-mail: tuyana2602@mail.ru

Рупышев Юрий Алексеевич – кандидат биологических наук, e-mail: rupyshev@mail.ru

Харпухаева Татьяна Михайловна – кандидат биологических наук, e-mail: takhar@mail.ru

Данные об уровне накопления химических элементов в фотосинтезирующих органах растений используют при мониторинге окружающей среды [10]. Благодаря широкому ареалу и высокой адаптационной способности *V. vitis-idaea* часто выступает в качестве биоиндикатора состояния техногенно загрязняемых лесных экосистем [11, 12]. Одной из

* Автор, с которым следует вести переписку.

важных задач таких исследований является поиск «фоновых» (референтных) концентраций и уровня их варьирования в естественных условиях произрастания. В этом плане лесные экосистемы Северного Прибайкалья, учитывая их значительную удаленность от промышленных зон и слабую антропогенную нарушенность, представляют значительный интерес.

Цель данной работы – изучить особенности накопления микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) в листьях *V. vitis-idaea*, произрастающей в светлохвойных лесах Икатского хребта (Северное Прибайкалье).

Экспериментальная часть

Натурные исследования выполнены в 2015 г. на западном макросклоне Икатского хребта, вытянутого с северо-востока на юго-запад и обрамляющего с востока Баргузинскую котловину. Для территории исследования характерны расчлененный рельеф (диапазон высот от 550 до 2500 м над уровнем моря), резко континентальный климат: средняя температура января $-27,8^{\circ}\text{C}$, июля $+15,1^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков варьирует от 250 мм у подножия хребта до 600 мм на вершинах и наветренных склонах, при этом основная часть их выпадает в июле-августе [13]. Район исследований находится в границах прерывистой криолитозоны. Основными типами почв в лесах являются дерново-подбуры, подзолы и литоземы [14]. Почвы слабогумусированные, имеют укороченный профиль с неотчетливой текстурной организацией (мощность в среднем составляет 60–70 см), развиваются на легких по гранулометрическому составу и щебнистых породах. Лесная растительность (600–1200 м) образована комплексом южносибирских формаций светлохвойных пород и достаточно разнородна по составу и строению. В лесостепном поясе преобладают сосновые леса (*Pinus sylvestris*), в горно-таежном поясе – лиственничные (*Larix dahurica*).

Сбор листьев *V. vitis-idaea* проводили в конце вегетационного сезона (середина сентября) на пробных площадях (ПП) размером 0,25 га по общепринятым методикам [15]. ПП были заложены в разных типах леса, где *V. vitis-idaea* выступает доминантом или содоминантом травяно-кустарничкового яруса. На каждой ПП делались геоботанические и лесотаксационные описания, краткая характеристика ПП приведена в таблице 1.

На ПП методом квадрата отбирали пять точечных образцов, состоящих из 3–5 растений средневозрастного генеративного состояния. Одновременно отбирали почвенные образцы в перегнойно-аккумулятивном горизонте на глубину 0–20 см.

Таблица 1. Краткая характеристика пробных площадей (ПП)

ПП	Тип леса	Краткая характеристика
ПП-1	Лиственничник багульниково-брусничный	Склон юго-восточной экспозиции, $h=1167$ м н.у.м., 9Л1Б+К, сомкнутость крон деревьев 0,4–0,5. Подлесок образован <i>Ledum palustre</i> L., единично встречается <i>Vaccinium uliginosum</i> L. Травяно-кустарничковый ярус (общее проективное покрытие около 75%) формируют <i>V. vitis-idaea</i> , <i>Festuca ovina</i> L. и <i>Pyrola rotundifolia</i> L. В лишайниковом ярусе преобладают виды рода <i>Cladonia</i> , <i>Cetraria</i> , <i>Peltigera</i> . Проективное покрытие <i>V. vitis-idaea</i> 60–65%. Почва дерново-подбур. $\text{pH}_{\text{KCl}}=3,4$
ПП-2	Лиственничник бруснично-лишайниковый	Водораздельная возвышенность, $h=1159$ м н.у.м., 10Л+Б, сомкнутость крон деревьев 0,3–0,4. Подлесок образован <i>L. palustre</i> , <i>V. uliginosum</i> и единичными экземплярами <i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel. В травяно-кустарничковом ярусе (общее проективное покрытие около 75%) преобладает <i>V. vitis-idaea</i> , <i>F. ovina</i> . В мохово-лишайниковом ярусе доминируют <i>Hylocomium splendens</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> , виды рода <i>Cladonia</i> , <i>Peltigera</i> . Проективное покрытие <i>V. vitis-idaea</i> 65–70%. Почва – подзол. $\text{pH}_{\text{KCl}}=3,8$
ПП-3	Лиственничник брусничный	Склон юго-восточной экспозиции, $h=956$ м н.у.м., 10Л, сомкнутость крон деревьев 0,7–0,8. В подлеске встречаются одиночные кусты <i>Spiraea media</i> Franz Schmidt, <i>V. uliginosum</i> . В травяно-кустарничковом ярусе (общее проективное покрытие около 40%) присутствует <i>V. vitis-idaea</i> , <i>F. ovina</i> L., <i>P. rotundifolia</i> L., <i>Artemisia tanacetifolia</i> L., единично <i>Aegopodium alpestre</i> Ledeb. Проективное покрытие <i>V. vitis-idaea</i> 25–30%. Почва – дерново-подбур. $\text{pH}_{\text{KCl}}=3,7$
ПП-4	Сосняк брусничный	Склон северо-западной экспозиции, $h=948$ м н.у.м., 9С1Л+О+Б, сомкнутость крон деревьев 0,5–0,6. Подлесок редкий, образован <i>Rhododendron dahuricum</i> L. и <i>Rosa acicularis</i> Lindley. В травяно-кустарничковом ярусе (общее проективное покрытие около 40%) преобладает <i>V. vitis-idaea</i> , <i>Berginia crassifolia</i> (L.) Tritsch., присутствует <i>F. ovina</i> , <i>P. rotundifolia</i> , <i>Linnaea borealis</i> L. В мохово-лишайниковом покрове преобладают зеленые мхи – <i>Rhytidium rugosum</i> , <i>Dicranum polysetum</i> . Проективное покрытие <i>V. vitis-idaea</i> 25–30%. Почва – литозем. $\text{pH}_{\text{KCl}}=5,2$

В лабораторных условиях листья высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего измельчали и просеивали. Концентрации микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «AAnalyst 400 PerkinElmer». В растительных образцах – после предварительного сухого озоления проб в муфельной печи при температуре 450 °С [16]. Из почвы извлекались потенциально подвижные (кислоторастворимые) формы металлов раствором 1Н HNO₃, при соотношении почвы к кислоте 1 : 10, время экстракции 1 ч [17]. Расчет концентраций элементов в образцах сделан на абсолютно сухое вещество.

При оценке интенсивности накопления химических элементов листьями растений из почвы были рассчитаны коэффициенты накопления (K_n) – отношение содержания элемента в листьях растений к содержанию его подвижных форм в почве. Этот показатель близок к коэффициенту биологического поглощения, но в отличие от него отражает не потенциальную, а актуальную биогеохимическую подвижность элементов [18]. По K_n элементы были разделены на группы, выделенные А.И. Перельманом и Н.С. Касимовым: 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 $0,01 > K_n \geq 0,001$ [18].

О концентрировании элементов судили путем сравнения их содержания в листьях со средними концентрациями в растениях сходных зон произрастания (величина кларка), взятыми из литературы [19]. При содержании элементов в количестве, превышающем кларк в 2–9 раз, растения относятся к умеренным накопителям, а при превышении на 1–2 порядка и более – к «сверх»-концентраторам элементов [8].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартных методов [20] и пакета программ Statistica 8.0. Для оценки достоверности различий средних значений исследуемых элементов использовали непараметрический критерий Краскела-Уоллиса.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных показал, что концентрации микроэлементов в листьях *V. vitis-idaea* в районе исследований варьировали от 0,05 мг/кг (Cd) до 576 мг/кг (Mn) (табл. 2). В разных типах леса выявлены определенные различия в их количественном содержании. Так, в лиственничнике багульниково-брусничном листья характеризуются более высоким уровнем марганца, железа, меди, никеля, кадмия; в лиственничнике брусничном – хрома и кобальта; в сосняке брусничном – цинка. В целом вариабельность концентрации большей части металлов, оцениваемая коэффициентами вариации (C_V), по градации [20], относится к группе нормальной (C_V до 40%), только для железа, меди и кадмия отмечен значительный уровень изменчивости ($C_V = 44–56\%$).

Ряды накопления микроэлементов, построенные на основе их концентраций в листьях, в разных типах леса похожи и имеют следующий вид: Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni ≥ Co > Cd. Некоторые отличия наблюдаются в лиственничнике и сосняке брусничном, где никель перемещается в сторону меньшей концентрации.

Таблица 2. Содержание микроэлементов в листьях *V. vitis-idaea* и в почвах (кислоторастворимые формы) в светлохвойных лесах Икатского хребта, мг/кг

Пробная площадь (ПП)	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Co	Cd
ПП-1	$\frac{576^{a*}}{161^b}$	$\frac{60,8^a}{204^a}$	$\frac{15,6}{10,2^b}$	$\frac{6,5^a}{2,6^a}$	$\frac{2,6}{3,6^b}$	$\frac{2,1^a}{5,9}$	$\frac{0,7^a}{2,1^b}$	$\frac{0,6^b}{2,5}$	$\frac{0,13^a}{0,3^a}$
ПП-2	$\frac{485^b}{106^c}$	$\frac{18,6^c}{159^b}$	$\frac{16,6^a}{15,4^a}$	$\frac{2,7^c}{1,9^b}$	$\frac{2,5}{4,6^a}$	$\frac{1,2^b}{6,2}$	$\frac{0,5^b}{1,6^c}$	$\frac{0,5^b}{2,3}$	$\frac{0,08^b}{0,2^b}$
ПП-3	$\frac{525^b}{197^a}$	$\frac{27,1^b}{210^a}$	$\frac{13,8^b}{11,7^b}$	$\frac{3,5^b}{2,5^a}$	$\frac{2,9^a}{4,0^b}$	$\frac{1,8^a}{6,1}$	$\frac{0,5^b}{4,3^a}$	$\frac{0,9^a}{2,4}$	$\frac{0,06^c}{0,3^a}$
ПП-4	$\frac{514^b}{164^b}$	$\frac{27,3^b}{195^a}$	$\frac{17,1^a}{11,6^b}$	$\frac{2,5^c}{1,6^c}$	$\frac{2,3^b}{2,9^c}$	$\frac{1,2^b}{6,3}$	$\frac{0,5^b}{1,4^c}$	$\frac{0,6^b}{2,1}$	$\frac{0,05^c}{0,2^b}$
$C_V, \%$ *	9	56	9	49	10	29	18	24	44

Примечание. В числителе – концентрация элемента в листьях, в знаменателе – концентрация элемента в почве. Буквами отмечены статистически значимые различия при $p < 0,05$, где $a > b > c$. C_V – коэффициент вариации.

Основным источником поступления минеральных элементов в растения является почва. Величина потенциально подвижных форм металлов в почвенном растворе позволяет судить не только об актуальной, но и о перспективной обеспеченности растений элементами. Отмечено, что дерново-подзолы характеризуются более высоким содержанием меди и кадмия, подзол – цинка и хрома. В литоземе концентрации меди, хрома, никеля и кобальта были самыми низкими, что возможно связано с их меньшей подвижностью в слабокислой среде [10]. Сопоставление данных по содержанию микроэлементов в почве с их концентрациями в листьях *V. vitis-idaea* позволило выявить прямые корреляционные связи среднего и высокого уровня значимости для хрома, марганца, железа, меди ($r = 0,48-0,76$). Отсутствие зависимости между содержанием в почвах и листьях брусники таких токсичных металлов, как свинец и кадмий может свидетельствовать о хорошей буферной способности почв по отношению к этим металлам, а также существованию адаптационных механизмов, препятствующих избыточному их поступлению в ассимиляционные органы.

Количественной мерой интенсивности накопления химических элементов растениями является коэффициент накопления (K_n), отражающий степень биофильности элементов, а также интенсивность их вовлечения в биологический круговорот. На основании полученных данных были выявлены элементы сильного накопления – марганец, цинк, медь ($K_n = 1,1-4,6$), а также элементы слабого накопления и среднего захвата – железо, хром, никель, свинец, кобальт, кадмий ($K_n = 0,1-0,8$) (табл. 3). При этом отмечено, что в лиственничнике багульниково-брусничном интенсивность накопления меди и железа *V. vitis-idaea* была выше, чем в остальных типах леса, тогда как марганец интенсивнее накапливался в листьях растений из лиственничника бруснично-лишайникового.

При сопоставлении наших данных с величинами кларка (табл. 4) обнаружено, что листья брусники в «сверх»-дозах накапливают марганец и хром – микроэлементы, участвующие в обмене фенольных соединений, которыми богато это растение [2, 3]. Они также играют важную роль в этиологии многочисленных заболеваний, связанных с нарушением в организме человека микроэлементного равновесия. Известно, что дефицит марганца приводит к хрупкости костей, нарушению образования хрящей, дерматитам, хрома – к развитию сахарного диабета II типа, нарушению углеводного и жирового обмена и развитию атеросклероза [21]. По отношению к кобальту брусника может быть отнесена к умеренным накопителям. Кобальт участвует в обмене жирных кислот, фолиевой кислоты, углеводов, в составе витамина B₁₂ в процессе кроветворения, нарушение которого приводит к развитию анемии. Учитывая полученные данные, листья *V. vitis-idaea* могут быть рекомендованы для коррекции и профилактики дефицита этих микроэлементов.

Таблица 3. Коэффициенты накопления (K_n) микроэлементов в листьях *V. vitis-idaea*

Элемент	ПП-1	ПП-2	ПП-3	ПП-4
Mn	3,6	4,6	2,6	3,1
Fe	0,3	0,1	0,1	0,1
Zn	1,5	1,1	1,2	1,5
Cu	2,5	1,4	1,4	1,6
Cr	0,7	0,5	0,7	0,8
Pb	0,4	0,2	0,3	0,2
Ni	0,3	0,3	0,1	0,4
Co	0,2	0,2	0,4	0,3
Cd	0,4	0,4	0,2	0,3

Жирным шрифтом выделены элементы сильного накопления ($K_n > 1$).

Таблица 4. Географическая изменчивость содержания микроэлементов в листьях *V. vitis-idaea*, мг/кг

Регион	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Co	Cd
Северное Прибайкалье*	530	35	16	3,8	2,6	1,6	0,5	0,7	0,08
Южное Прибайкалье [7]	840	70	19	2,9	2,5	1,9	1,8	0,4	0,7
Кольский полуостров [5]	2070	108	29	6,3	1,2	0,1	6,7	0,2	0,01
Московская область [8]	1346	100	31	5,8	0,2	...	1,3	0,6	...
Северная Европа [11]	1200	37	26	4,1	0,1	0,2	0,7	0,1	0,07
$C_r, \%$	49	49	27	31	91	98	99	64	151
Величина кларка [19]	44	100	50	5	0,15	2,5	3,5	0,3	0,2

Примечание. * – среднее значение для района исследований; в квадратных скобках приводится номер источника из списка литературы.

Сравнение концентраций со значениями, приводимыми в литературе, показало, что в Северном Прибайкалье в листьях *V. vitis-idaea* накапливается меньше марганца, железа, никеля, чем в европейской части ареала и в Южном Прибайкалье. При этом содержание хрома в них было значительно выше, чем в европейской части (табл. 4). В целом, наиболее высокий уровень варьирования листьев в пределах ареала отмечен для кобальта, хрома, свинца, никеля и кадмия ($C_V = 64\text{--}151\%$), тогда как диапазон изменчивости эссенциальных микроэлементов (марганец, железо, цинк и медь) соответствует нормальному уровню или незначительно выходит за пределы его верхней границы.

Для оценки экологической безопасности листьев лекарственных растений в настоящее время используют разработанные для БАД на растительной основе нормы предельно допустимых концентрации токсичных элементов – Pb (6,0 мг/кг сухой массы) и Cd (1,0 мг/кг сухой массы) [22]. Установлено, что содержание этих элементов в листьях, собранных на обследованной территории, ПДК не превышало и они могут быть использованы в лекарственных целях.

Выводы

В ходе проведенных исследований были определены средние концентрации микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Cd) в листьях *Vaccinium vitis-idaea* L., произрастающей в разных типах светлых лесов Икатского хребта. Установлено, что в большей степени условия произрастания влияют на накопление в листьях Fe, Cu, Pb, Co, Cd.

Выявлена корреляционная связь между содержанием потенциально подвижных кислоторастворимых форм Cr, Mn, Fe, Cu в почве и в листьях брусники ($r = 0,48\text{--}0,76$). На основе коэффициентов накопления выделены элементы сильного накопления растениями из почвы – Mn, Cu, Zn, а также элементы слабого накопления и среднего захвата – Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Cd. Отмечено, что в Северном Прибайкалье листья *V. vitis-idaea* являются «сверх»-концентраторами марганца и хрома и умеренными накопителями кобальта.

Список литературы

1. Дикорастущие полезные растения России / под ред. А.Л. Буданцева. СПб., 2001. 663 с.
2. Ek S., Kartimo H., Mattila S., Tolonen A. Characterization of phenolic compounds from lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) // J. agric. food chem. 2006. Vol. 54(26). Pp. 9834–9842.
3. Марсов Н.Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, черники и клюквы: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Пермь, 2006. 24 с.
4. Radulovic N., Blagojevic P., Palic R. Comparative study of the leaf volatiles of *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. and *Vaccinium vitis-idaea* L. (Ericaceae) // Molecules. 2010. Vol. 15(9). Pp. 6168–6185.
5. Steinnes E., Lukina N., Nikonov V., Aamlid D., Royset O. A gradient study of 34 elements in the vicinity of a copper-nickel in the Kola Peninsula // Environ. monit. assess. 2000. Vol. 60. N1. Pp. 71–88.
6. Артемкина Н.А. Содержание фенольных соединений в *Vaccinium vitis-idaea* L. сосновых лесов Кольского полуострова // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 153–160.
7. Афанасьева Л.В., Кашин В.К. Накопление и распределение микроэлементов в надземной и подземной частях *Vaccinium vitis-idaea* (ERICACEAE) в Южном Прибайкалье // Растительные ресурсы. 2016. Т. 52. №3. С. 114–126.
8. 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.
9. WHO (World Health Organization). Quality control methods for medicinal plants materials reused draft update. QAS/05, 131/Rev. 1. 2005. 27 p.
10. Рассеянные элементы в бореальных лесах / отв. ред. А.С. Исаев. М., 2004. 616 с.
11. Gjengedal E., Martinsen Th., Steinnes E. Background levels of some major, trace and rare earth elements in indigenous plant species growing in Norway and the influence of soil acidification, soil parent material, and seasonal variation on these levels // Environ. monit. assess. 2015. N5. Pp. 187–386.
12. Shaw G. Concentrations of twenty-eight elements in fruiting shrubs downwind of the smelter at Flin Flon, Manitoba // Environ. pollut. (series A). 1981. N25. Pp. 197–209.
13. Байкал. Атлас / ред. Г.И. Галазий. М., 1993. 160 с.
14. Корсунов А.В. Лесные почвы бассейна реки Ина Икатского хребта Байкальского региона: эколого-географический анализ почвенного покрова и свойства почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 1999. 28 с.
15. Методы изучения лесных сообществ. СПб., 2002. 240 с.
16. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 430 с.
17. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
18. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 768 с.
19. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, 2011. 505 p.
20. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М., 1990. 296 с.
21. Здоровье России: атлас / под ред. Л.А. Бокерия. М., 2007. 254 с.
22. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 180 с.

Поступило в редакцию 13 апреля 2017 г.

После переработки 14 мая 2017 г.

*Afanasyeva L.V.**, *Ayushina T.A.*, *Rupyhev Yu.A.*, *Kharpukhaeva T.M.* FEATURES OF TRACE ELEMENTS ACCUMULATION IN *VACCINIUM VITIS-IDAEA* LEAVES IN THE LIGHT-CONIFEROUS FORESTS OF IKATSKIY RANGE (BAIKAL REGION)

Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Sakhyanova, 6, Ulan-Ude, 670047 (Russia), e-mail.ru: afanl@mail.ru

The aim of our study was to determine the trace elements content (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, and Cd) in *Vaccinium vitis-idaea* leaves grown in the light-coniferous forests of Ikatskiy range. Element content was measured by atomic absorption spectrometry (AAS, AAnalyst 400 PerkinElmer). Results obtained indicated that the metals concentrations in the leaves ranged from 0,05 (Cd) to 576 (Mn) ppm. The row of the elements accumulation in the leaves is: Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni ≥ Co > Cd. According to the coefficients of accumulation leaves acted as accumulators of Mn, Cu, Zn (CA > 1) and excluders of Fe, Cr, Ni, Pb, Co, Cd (CA < 1). Significant correlations were found between content acid-soluble forms Cr, Mn, Fe, Cu in the soil and leaves ($r = 0,48-0,76$). The toxic trace element (Pb, Cd) analysis demonstrated that their content was safe for human consumption.

Keywords: *Vaccinium vitis-idaea*, leaves, trace elements, Ikatskiy range.

References

1. Dikorastushchie poleznye rasteniia Rossii [Wild plants of Russia], ed. A.L. Budantsev. St. Petersburg, 2001, 663 p. (in Russ.).
2. Ek S., Kartimo H., Mattila S., Tolonen A. *J. agric. food chem.*, 2006, vol. 54(26), pp. 9834–9842.
3. Marsov N.G. *Fitokhimicheskoe izuchenie i biologicheskaya aktivnost' brusniki, cherniki i kliukvy: avtoref. dis. ... kand. farm. nauk.* [Phytochemical study and biological activity of cranberries, blueberries and cranberries: avtoref. dis. ... Candidate of Pharmaceutical Sciences.]. Perm', 2006, 24 p. (in Russ.).
4. Radulovic N., Blagojevic P., Palic R. *Molecules*, 2010, vol. 15(9), pp. 6168–6185.
5. Steinnes E., Lukina N., Nikonov V., Aamlid D., Royset O. *Environ monit. assess.*, 2000, vol. 60, no. 1, pp. 71–88.
6. Artemkina N.A. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2010, no. 3, pp. 153–160. (in Russ.).
7. Afanas'eva L.V., Kashin V.K. *Rastitel'nye resursy*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 114–126. (in Russ.).
8. Lovkova M.Ia., Sokolova S.M., Buzuk G.N. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiia*, 1999, vol. 35, no. 5, pp. 578–589. (in Russ.).
9. WHO (World Health Organization). *Quality control methods for medicinal plants materials reused draft update*, QAS/05, 131/Rev. 1, 2005, 27 p.
10. *Rasseiannye elementy v boreal'nykh lesakh* [Scattered elements in boreal forests], ed. A.S. Isaev. Moscow, 2004, 616 p. (in Russ.).
11. Gjengedal E., Martinsen Th., Steinnes E. *Environ. monit. assess.*, 2015, no. 5, pp. 187–386.
12. Shaw G. *Environ pollut (series A)*, 1981, no. 25, pp. 197–209.
13. *Baikal. Atlas* [Baikal. Atlas], ed. G.I. Galazii. Moscow, 1993, 160 p. (in Russ.).
14. Korsunov A.V. *Lesnye pochvy basseina reki Ina Ikatskogo khrehta Baikal'skogo regiona: ekologo-geograficheskii analiz pochvennogo pokrova i svoistva pochv: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk.* [Forest Soils of the Ina River Basin of the Ikat Range of the Baikal Region: Ecological and Geographic Analysis of Soil Cover and Soil Properties: a rez. dis. ... Candidate of Biological Sciences.]. Ulan-Ude, 1999, 28 p. (in Russ.).
15. *Metody izucheniia lesnykh soobshchestv.* [Methods of studying forest communities]. St. Petersburg, 2002, 240 p. (in Russ.).
16. *Metody biokhimicheskogo issledovaniia rastenii.* [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad, 1987, 430 p. (in Russ.).
17. *Teoriia i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical soil analysis], ed. L.A. Vorob'eva. Moscow, 2006, 400 p. (in Russ.).
18. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiia landshafta.* [Geochemistry of the landscape]. Moscow, 1999, 768 p. (in Russ.).
19. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soil and plants*, Boca Raton, 2011, 505 p.
20. Zaitsev G.N. *Matematika v eksperimental'noi botanike.* [Mathematics in experimental botany]. Moscow, 1990, 296 p. (in Russ.).
21. *Zdorov'e Rossii: atlas* [Health of Russia: Atlas], ed. L.A. Bokeriia. Moscow, 2007, 254 p. (in Russ.).
22. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniia bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov.* [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. Moscow, 2001, 180 p. (in Russ.).

Received April 13, 2017

Revised May 14, 2017

* Corresponding author.