

УДК 581.192

НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *ARCTOSTAPHYLOS UVA-URSI*

© 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

Основной целью исследований было определение содержания микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Cd) в надземных и подземных частях *Arctostaphylos uva-ursi*, произрастающей в двух типах леса в Прибайкальском районе Республики Бурятия. Концентрации микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «AAnalyst 400 PerkinElmer». Установлено, что основным депонирующим металлы органом у этих растений являются корни. На основе средних концентраций составлены ряды накопления микроэлементов, которые в листьях, стеблях и корнях имеют похожую последовательность – Mn>Fe>Zn>Cr>Cu>Pb>Ni>Co>Cd, в ягодах на первое место в ряду перемещается цинк. Расчет коэффициентов корневого барьера показал, что для всех рассмотренных микроэлементов характерным является барьерный тип накопления. Интенсивность накопления металлов выше в корнях, по сравнению с надземными органами. Благодаря высокому уровню аккумуляции хрома растения *Arctostaphylos uva-ursi* могут служить перспективным источником этого элемента для лечения и профилактики диабета и атеросклероза.

Ключевые слова: *Arctostaphylos uva-ursi*, надземные и подземные органы, микроэлементы, 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

Толокнянка обыкновенная (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel., сем. Ericaceae) широко применяется в комплексной терапии заболеваний мочевого пузыря и мочевыводящих путей. Ее листья и побеги оказывают диуретическое, антисептическое, противовоспалительное и вяжущее действие, обусловленное наличием фенольных соединений арбутина, гидрохинона, флавоноидов [1]. В качестве лекарственного растительного сырья в России используются листья и побеги толокнянки, за рубежом – только листья. Они применяются в виде моносырья или в составе растительных сборов, например, «Бруснивер-Т», «Стопал» и др. [2]. Несмотря на достаточную изученность биохимического состава листьев толокнянки [3–6] вопрос об уровне варьирования в них микроэлементов в зависимости от условий произрастания остается слабоизученным [7–9], а данные об их распределении по органам растений вообще отсутствуют. Актуальность таких исследований определяется тем, что, с одной стороны, химические элементы и их комплексы с органическими соединениями могут обеспечить необходимый фармакологический эффект, а с другой – их повышенное содержание в лекарственных растениях нередко является причиной токсического воздействия на организм.

Цель данной работы – изучить особенности накопления и распределения микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd) в растениях *Arctostaphylos uva-ursi*.

Экспериментальная часть

Афанасьева Лариса Владимировна – кандидат биологических наук, e-mail: afanl@mail.ru
Аюшина Туяна Аюшеевна – кандидат биологических наук, e-mail: tuayana2602@mail.ru

Исследования проведены в 2016 г. в Прибайкальском районе Республики Бурятия на юго-восточном песчаном побережье оз. Байкал (данные пес-

* Автор, с которым следует вести переписку.

ки аллювиального и эолового происхождения), где в разреженных сосновых лесах обнаружены сплошные заросли *Arctostaphylos uva-ursi*. Растения были собраны в двух типах леса на пробных площадях размером 0.25 га в конце вегетационного сезона (начало сентября). Краткая характеристика ПП приведена в таблице 1.

На каждой ПП методом квадрата отбирали пять точечных образцов, состоящих из 3–5 растений средневозрастного генеративного состояния. Растения разделяли на отдельные органы: корни (анализировали придаточные корни подземных побегов), стебли, листья, ягоды. 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 трехкратной повторности после их высушивания в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105 °С. Основную часть растительных и почвенных образцов высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего измельчали и просеивали.

Концентрации микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Cd) определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «АAnalyst 400 PerkinElmer». Сухие растительные образцы (ягоды, листья, стебли, корни) массой 2–3 г (точность навески 0.00001 г) помещали в платиновые чашки и озоляли в муфельной печи при температуре 450 °С 4 ч [10]. Полученную золу растворяли в 2 мл концентрированной HCl и количественно переносили с небольшим объемом дистиллированной воды в мерную колбу на 50 мл. Из почвы извлекались кислоторастворимые (потенциально подвижные) формы металлов раствором 1Н HNO₃, при соотношении почвы к кислоте 1 : 10, время экстракции – 1 ч. Определение кислотности почвенного раствора (рН_{вод}) производили потенциометрически [11]. Все анализы выполнялись в трехкратной повторности. Расчет концентрации микроэлементов в растительных и почвенных образцах сделан на абсолютно сухое вещество.

Для оценки интенсивности накопления химических элементов растениями *Arctostaphylos uva-ursi* 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 ($0.01 > K_n \geq 0.001$) [12]. Значения $K_{кб} > 1$ указывают на наличие барьера при поступлении элементов в надземную часть растений [13].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартных методов [14] и пакета программ Statistica 8.0. Для оценки достоверности различий средних значений исследуемых показателей использовали непараметрический критерий Манна-Уитни.

Таблица 1. Краткая характеристика пробных площадей

Пробная площадь (ПП)	Краткая характеристика ПП
ПП-1	Окрестности с. Горячинск, 800 м от береговой линии оз. Байкал. Сосняк толокнянковый, 10С, подлесок отсутствует. Сомкнутость крон деревьев 0.4–0.5. Проективное покрытие <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> 55–60%. Почва – псаммозем, рН _{вод} =6.4.
ПП-2	р. Безымянная, 700 м от береговой линии оз. Байкал. Сосняк толокнянково-лишайниковый, 10С, подлесок редкий образован <i>Rhododendron dahuricum</i> L. и <i>Rosa acicularis</i> Lindley. Сомкнутость крон деревьев 0.3–0.4. Проективное покрытие <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> 30–40%, лишайников (<i>Cladonia arbuscula</i> , <i>Cladonia pyxidata</i>) – 50–60%. Почва – псаммозем, рН _{вод} =6.0.

Результаты и их обсуждение

Наиболее высокие концентрации микроэлементов отмечены в корнях *Arctostaphylos uva-ursi*, при этом для марганца, железа, цинка, свинца, никеля, кобальта и кадмия наблюдается постепенное снижение содержания в ряду: корни > стебли > листья > ягоды (акропетальное распределение) (табл. 2). Для меди и хрома эта тенденция нарушается – их содержание в ягодах было в 1.2–1.4 раза выше по сравнению с листьями. Ряды накопления микроэлементов, построенные на основе средних концентраций, в листьях, стеблях и корнях похожи, тогда как в ягодах цинк перемещается в начало ряда.

Сравнительный анализ содержания микроэлементов в *Arctostaphylos uva-ursi* из разных типов леса показал, что в сосняке толокнянковом в ягодах содержится достоверно больше железа и хрома, в листьях – железа, цинка, хрома, в стеблях – хрома, в корнях – кадмия, тогда как в сосняке толокнянково-лишайниковом ягоды характеризуются более высокой концентрацией никеля, стебли и корни – железа, никеля, свинца и кобальта ($n=10, P<0.05$). При этом следует отметить, что в целом изменчивость уровня накопления большей части металлов, оцениваемая коэффициентами вариации (C_V) относится к группе нормальной (C_V до 40%) [14]. В значительной степени условия произрастания влияют на накопление хрома в стеблях ($C_V=46\%$) и свинца в корнях *Arctostaphylos uva-ursi* ($C_V=45\%$).

Известно, что концентрация химических элементов в растениях определяется их биологическими особенностями, наличием функциональных барьеров на границах корень – стебель, стебель – лист, стебель – репродуктивные органы, а также зависит от концентрации их подвижных форм в почве [15]. Расчет коэффициентов корневого барьера показал, что для всех рассмотренных микроэлементов характерным является барьерный тип накопления (табл. 3).

Таблица 2. Содержание микроэлементов ($M \pm m$ мг/кг сухого вещества, $n = 10$) в надземных и подземных органах *Arctostaphylos uva-ursi* и в почве

Пробная площадь (ПП)	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Co	Cd
Ягоды $Zn > Mn \geq Fe > Cr > Cu > Pb > Ni > Co \geq Cd$									
ПП-1	17.1±1.3	13.9* ±1.7	18.6±1.8	2.5±0.6	0.6 ±0.3	4.9 ±1.2	0.9±0.1	0.3±0.1	0.03±0.01
ПП-2	14.9±1.2	9.5 ±1.6	15.1±2.2	2.4±0.4	0.8 ±0.4	3.1 ±1.8	0.8±0.1	0.2±0.1	0.02±0.01
$C_V, \%^{**}$	10	27	15	3	20	32	8	8	10
Листья $Mn > Fe > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Co > Cd$									
ПП-1	52.2±2.4	41.4 ±3.1	36.4 ±2.4	1.8±0.2	1.2±0.4	4.1 ±0.3	1.6±0.3	0.3±0.1	0.05±0.01
ПП-2	59.6±3.6	29.5 ±7.8	20.9 ±2.5	1.9±0.6	1.3±0.2	2.3 ±0.8	1.5±0.4	0.4±0.2	0.04±0.01
$C_V, \%$	10	24	38	4	6	40	5	8	15
Стебли $Mn > Fe > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Co > Cd$									
ПП-1	165.9±9.4	105.3 ±4.2	60.6±1.9	3.1±0.3	1.2 ±0.1	9.3 ±0.2	1.6 ±0.1	0.4 ±0.1	0.08±0.1
ПП-2	187.3±12.8	162.8 ±7.5	65.4±2.2	2.8±0.6	1.6 ±0.4	4.7 ±0.8	2.6 ±0.2	0.6 ±0.1	0.09±0.1
$C_V, \%$	9	30	6	7	20	46	34	28	15
Корни $Mn > Fe > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Co > Cd$									
ПП-1	451.8±12.5	151.1 ±1.5	80.8±1.2	4.6±0.6	1.4 ±0.1	14.8±0.1	1.7 ±0.2	0.5±0.1	0.16 ±0.01
ПП-2	460.4±8.6	201.5 ±8.6	84.4±3.2	4.3±1.1	1.8 ±0.2	12.7±0.4	3.3 ±0.4	0.7±0.1	0.11 ±0.01
$C_V, \%$	6	20	3	5	18	11	45	24	26
Почва									
ПП-1	24.1 ±3.2	235.4±4.6	2.1 ±1.3	0.4 ±0.4	0.4 ±0.2	1.2 ±0.2	1.5 ±0.2	0.4±0.1	0.06±0.1
ПП-2	37.3 ±1.2	255.9±12	1.7 ±1.4	0.3 ±0.2	0.6 ±0.3	0.9 ±0.2	1.8 ±0.1	0.4±0.1	0.05±0.1
$C_V, \%$	30	6	15	20	28	20	13	8	13
Величина Кларка [16]	240	200	50	10	2.0	1.8	2.5	1.0	0.05
ПДК [18]	–	–	–	–	–	–	6.0	–	1.0

Примечание. * – жирным шрифтом выделены концентрации элементов, для которых различия между типами леса достоверны при $P < 0.05$; ** C_V – коэффициент вариации.

Таблица 3. Коэффициент корневого барьера в растениях *Arctostaphylos uva-ursi*

Элемент	Коэффициент корневого барьера					
	Ягоды		Листья		Стебли	
	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2
Mn	26.4	30.8	8.7	7.7	2.7	2.5
Fe	10.9	21.2	3.6	6.8	1.4	1.2
Zn	4.3	5.6	2.2	4.0	1.3	1.3
Cu	1.8	1.8	2.6	2.3	1.5	1.5
Cr	3.0	4.1	3.6	5.5	1.6	2.7
Pb	1.9	4.1	1.1	2.2	1.1	1.3
Ni	2.3	2.3	1.2	1.4	1.2	1.1
Co	1.7	3.5	1.7	1.8	1.3	1.2
Cd	5.3	5.5	3.2	2.8	2.0	1.2

Наиболее высокие значения коэффициентов отмечены для ягод (за исключением меди и хрома), что связано с существованием защитных механизмов, обеспечивающих безопасную концентрацию металлов в репродуктивных органах.

Количественной мерой интенсивности накопления химических элементов растениями из почвы является коэффициент накопления (K_n), отражающий степень биофильности элементов, а также интенсивность их вовлечения в биологический круговорот. В целом, псаммоземы характеризуются низким содержанием микроэлементов, что связано с их минералогическим, легким гранулометрическим составом и невысоким содержанием органического вещества. В то же время в растениях *Arctostaphylos uva-ursi* концентрации некоторых металлов на порядок превышают их содержание в почве, что свидетельствует об активном процессе накопления. Так, к элементам энергичного накопления в корнях *Arctostaphylos uva-ursi* относятся Mn, Zn, Cu, Cr ($K_n=12.3-49.6$), в стеблях и листьях – Zn ($K_n=12.3-38.5$). К элементам сильного накопления в корнях относятся Pb, Ni, Co, Cd ($K_n=1.1-3.5$), стеблях – Mn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Cd ($K_n=1.1-9.3$), в листьях – Mn, Cu, Cr, Ni ($K_n=1.6-6.3$), ягодах – Zn, Cu, Cr, Ni ($K_n=1.3-8.9$), остальные элементы слабо накапливаются и средне захватываются ($K_n = 0.1-0.9$) (табл. 4). Отмечено, что интенсивность накопления марганца и никеля растениями *Arctostaphylos uva-ursi* в сосняке толокнянковом была выше, а меди, напротив, ниже, чем в сосняке толокнянково-лишайниковом.

Таблица 4. Коэффициенты накопления микроэлементов в растениях *Arctostaphylos uva-ursi*

Элемент	Коэффициент накопления							
	Ягоды		Листья		Стебли		Корни	
	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2
Mn	0.7	0.4	2.2	1.6	6.9	5.0	18.7	12.3
Fe	0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	0.6	0.6	0.8
Zn	8.8	8.9	17.3	12.3	28.8	38.5	38.5	49.6
Cu	6.3	8.0	4.5	6.3	7.8	9.3	11.5	14.3
Cr	4.1	3.4	3.4	2.6	7.8	5.2	12.3	14.1
Pb	0.6	0.4	1.0	0.8	1.1	1.4	1.1	1.8
Ni	1.5	1.3	3.0	2.2	3.0	2.7	3.5	3.0
Co	0.8	0.5	0.8	1.0	1.0	1.5	1.3	1.8
Cd	0.5	0.4	0.8	0.8	1.3	1.8	2.7	2.2

Примечание: жирным шрифтом выделены элементы сильного накопления ($K_n > 1$).

При сопоставлении наших данных с величинами Кларка, обнаружено, что в растениях *Arctostaphylos uva-ursi* концентрация хрома в 1.3–8.2 раза превышает среднее его содержание в растительности суши, следовательно, они могут служить перспективным источником этого элемента и использоваться в комплексной терапии при лечении, а также профилактики диабета и атеросклероза. Известно, что дефицит этого элемента является одной из причин развития сахарного диабета II типа, нарушения углеводного и жирового обмена и развития атеросклероза [17].

Сравнение содержания свинца и кадмия в собранных листьях толокнянки с их предельно допустимыми концентрациями для БАД на растительной основе [18] показало, что собранное на обследованной территории сырье экологически безопасно и может быть использовано в лекарственных целях.

Выводы

В ходе проведенных исследований были определены средние концентрации микроэлементов (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Cd) и выявлены особенности их распределения в растениях *Arctostaphylos uva-ursi*, произрастающей Прибайкальском районе Республики Бурятия. Наиболее высоким содержанием микроэлементов отличаются корни растений, при этом для марганца, железа, цинка, свинца, кобальта и кадмия наблюдается постепенное снижение концентрации в ряду: корни>стебли>листья>ягоды.

Расчет коэффициентов корневого барьера показал, что для всех рассмотренных микроэлементов характерным является барьерный тип накопления. Интенсивность накопления металлов выше в корнях, по сравнению с надземными органами.

Обнаружено, что растения *Arctostaphylos uva-ursi* могут служить перспективным источником хрома и использоваться в комплексной терапии при лечении, а также профилактики диабета и атеросклероза.

Список литературы

1. Фармакогнозия. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения: учебное пособие / под ред. Г.П. Яковлева. СПб., 2013. 848 с.
2. Ковалева Т.Ю. Требования отечественной и зарубежных фармакопей по стандартизации листьев толокнянки обыкновенной // Фармация. 2011. №5. С. 53–56.
3. Охрименко Л.П., Калинин Г.И., Дмитрук С.Е. Сравнительное исследование толокнянки, брусники и близких к ним видов, произрастающих в Республике Саха (Якутия) // Химия растительного сырья. 2005. №1. С. 31–36.
4. Dombrowicz E., Zadernowski R., Swiatek L. Phenolic acids in leaves of *Arctostaphylos uva-ursi* L., *Vaccinium vitis-idaea* L. and *Vaccinium myrtillus* L. // Pharmazie. 1991. Vol. 46. Pp. 680–681.
5. 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. Pp. 6168–6185.
6. Panusa A., Petrucci R., Marrosu G., Multari G., Gallo F.R. UHPLC-PDA-ESI-TOF/MS metabolic profiling of *Arctostaphylos pungens* and *Arctostaphylos uva-ursi*. A comparative study of phenolic compounds from leaf methanolic extracts // Phytochem. 2015. Vol. 115. Pp. 79–88.
7. 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.
8. 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.
9. Shaw G. Concentrations of twenty-eight elements in fruiting shrubs downwind of the smelter at Flin Flon, Manitoba // Environ pollut (series A). 1981. Vol. 25. Pp. 197–209.
10. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии. Йошкар-Ола, 2006. 107 с.
11. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
12. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 768 с.
13. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М., 2001. 689 с.
14. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М., 1990. 296 с.
15. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th. Ed. Boca Raton, 2011. 534 p.
16. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М., 2003. 207 с.
17. Refat M.S., El-Megharbel S.M., Hussien M.A., Hamza R.Z. and et al. Spectroscopic, structural characterizations and antioxidant capacity of the chromium (III) niacinamide compound as a diabetes mellitus drug model // Spectrochim. Acta Part A. 2017. Vol. 173. Pp. 122–131.
18. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 180 с.

Поступило в редакцию 30 января 2018 г.

После переработки 6 февраля 2018 г.

Для цитирования: Афанасьева Л.В., Аюшина Т.А. Накопление и распределение микроэлементов в растениях *Arctostaphylos uva-ursi* // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 123–128. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033693.

*Afanasyeva L.V.**, *Ayushina T.A.* ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF MICROELEMENTS IN *ARCTOSTAPHYLOS UVA-URSI*

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 main purpose of the study was to determine the microelements content (Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Co, Cd) in the aboveground and underground parts of *Arctostaphylos uva-ursi* grows in two forest types of the Republic Buryatia. Element content was measured by atomic absorption spectrometry (AAS, AAnalyst 400 PerkinElmer). It was found roots accumulate the most amounts of microelements. The row of the elements accumulation in the leaves, stems and roots have a similar sequence: Mn > Fe > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Co > Cd; in berries zinc ranks the first place in the row. The different intensity of elements accumulation by plants from the soil was detected. Due to the high level of chromium accumulation *Arctostaphylos uva-ursi* can serve as a source of this element for the treatment and prevention of diabetes and atherosclerosis.

Keywords: *Arctostaphylos uva-ursi*, aboveground and underground parts of plant, microelements, Republic Buryatia.

References

1. *Farmakognosiia. Lekarstvennoe syr'e rastitel'nogo i zhivotnogo proiskhozhdeniia: uchebnoe posobie* [Pharmacognosy. Medicinal raw materials of plant and animal origin: a textbook], ed. G.P. Iakovlev. St. Petersburg, 2013, 848 p. (in Russ.).
2. Kovaleva T.Iu. *Farmatsiia*, 2011, no. 5, pp. 53–56. (in Russ.).
3. Okhrimenko L.P., Kalinkina G.I., Dmitruk S.E. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2005, no. 1, pp. 31–36. (in Russ.).
4. Dombrowicz E., Zadernowski R., Swiatek L. *Pharmazie*, 1991, vol. 46, pp. 680–681.
5. Radulovic N., Blagojevic P., Palic R. *Molecules*, 2010, vol. 15, pp. 6168–6185.
6. Panusa A., Petrucci R., Marrosu G., Multari G., Gallo F.R. *Phytochem*, 2015, vol. 115, pp. 79–88.
7. Lovkova M.Ia., Sokolova S.M., Buzuk G.N. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiia*, 1999, vol. 35, no. 5, pp. 578–589. (in Russ.).
8. Gjengedal E., Martinsen Th., Steinnes E. *Environ. monit. assess*, 2015, no. 5, pp.187–386.
9. Shaw G. *Environ pollut (series A)*, 1981, vol. 25, pp. 197–209.
10. Voskresenskaia O.L., Aliabysheva E.A., Polovnikova M.G. *Bol'shoi praktikum po bioekologii*. [A large workshop on bioecology]. Ioshkar-Ola, 2006, 107 p. (in Russ.).
11. *Teoriia i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical soil analysis], ed. L.A. Vorob'eva. Moscow, 2006, 400 p. (in Russ.).
12. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiia landshafta*. [Geochemistry of the landscape]. Moscow, 1999, 768 p. (in Russ.).
13. *Praktikum po agrokhemii* [Workshop on agrochemistry], ed. V.G. Mineev. Moscow, 2001, 689 p. (in Russ.).
14. Zaitsev G.N. *Matematika v eksperimental'noi botanike*. [Mathematics in experimental botany]. Moscow, 1990, 296 p. (in Russ.).
15. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants. 4th. Ed.* Boca Raton, 2011, 534 p.
16. Dobrovolskii V.V. *Osnovy biogeokhemii*. [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow, 2003, 207 p. (in Russ.).
17. Refat M.S., El-Megharbel S.M., Hussien M.A., Hamza R.Z. and et al. *Spectrochim. Acta Part A*, 2017, vol. 173, pp. 122–131.
18. *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 January 30, 2018

Revised February 6, 2018

For citing: *Afanasyeva L.V., Ayushina T.A. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 123–128. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpr.2018033693.

* Corresponding author.