

УДК 634.73:581.192

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *VACCINIUM ULIGINOSUM* L., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

© Л.В. Афанасьева*, В.К. Кашин

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

Определены средние концентрации и диапазоны варьирования девяти микроэлементов в растениях голубики обыкновенной в лесном и болотном экотопах южного Прибайкалья. Основным депонирующим металлы органом являются корни, в которых накапливаются Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, в стеблях аккумулируются Cr, Cd и Zn, в листьях – Co. 100 г сырых ягод голубики могут обеспечить 30–48% суточной потребности организма человека в Mn, Cr и Co.

Ключевые слова: голубика обыкновенная, ягоды, листья, стебли, корни, микроэлементы, экотоп

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (грант № 12-05-00020-а).

Введение

Голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L. – сем. *Vacciniaceae* DC. Ex Perleb) – ценное пищевое и лекарственное растение. Плоды и листья голубики широко используются в народной медицине как противовоспалительное, жаропонижающее, общеукрепляющее средство, что связано с содержанием в них целого комплекса биологически активных соединений [1]. Ягоды этого растения высоко ценятся на международном рынке, в связи с чем ее культивированием занимаются во многих зарубежных странах [2, 3]. В России голубика имеет широкий естественный ареал: в европейской и азиатской части встречается повсеместно на мшистых влажных почвах, торфяных болотах, в заболоченных сосновых и лиственничных лесах [4, 5].

Голубика обыкновенная характеризуется широким диапазоном внутривидовой изменчивости морфологических признаков вегетативных органов [2, 3] и биохимического состава ягод в зависимости от эколого-географических условий [6]. При этом специальных исследований по изучению элементного состава, особенностей накопления химических элементов в органах этого растения ранее не проводилось. В то же время это представляет не только теоретическое, но и важное практическое значение в связи с тем, что в настоящее время отмечается дефицит целого ряда макро- и микроэлементов в питании населения России [7]. Поэтому поиск природных ресурсов для коррекции (фитотерапии) недостатка жизненно важных микроэлементов является весьма актуальным, особенно в регионах с распространением эндемических заболеваний человека, обусловленных их дефицитом. При этом, с одной стороны, необходим поиск биообъектов-концентраторов жизненно необходимых элементов, с другой – контроль содержания токсических элементов. Территория, где проводились исследования, относится к региону с полиэлементными биогеохимическими эндемиями.

Цель работы – определить содержание девяти микроэлементов и особенности их аккумуляции в

Афанасьева Лариса Владимировна – научный сотрудник, кандидат биологических наук, тел.: (3012)43-32-56, e-mail: afanl@mail.ru

Кашин Владимир Капсимович – ведущий научный сотрудник, доктор биологических наук, старший научный сотрудник

надземных и подземных органах голубики обыкновенной, произрастающей в двух различных экотопах на территории южного Прибайкалья, а также рассчитать количество микроэлементов, которое может поступить в организм человека с ягодами.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Методика исследований

Материал для исследований был собран в фазу полного созревания ягод (конец июля) на территории южного Прибайкалья в двух наиболее распространенных сообществах голубики, отличающихся условиями произрастания (табл. 1) и содержанием микроэлементов в почвах (табл. 2).

На каждой пробной площади размером 0,2 га конвертным методом отбирали пять точечных образцов, состоящих из 5–7 растений. Растения разделяли на отдельные органы (корни, стебли, листья, ягоды), корни тщательно очищали от видимых примесей, промывали вначале в проточной, затем в дистиллированной воде. В лабораторных условиях для определения влажности отбирали средние образцы в 3-кратной повторности и высушивали в сушильном шкафу до постоянного веса при температуре 100–105 °С.

Основную часть образца высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего измельчали и просеивали. Для измельчения почвенных образцов использовали фарфоровые ступки, растительные образцы размалывались на электрической мельнице. Просеивание проб почвы производилось через сито с диаметром отверстия 1 мм, растений – 0,5 мм. Перед выполнением аналитических работ для проб проводилось квартование, после чего в них определялась гигроскопическая влажность, для растений температура высушивания составляла 60 °С, для почв – 105 °С [8–10].

Таблица 1. Характеристика мест произрастания голубики обыкновенной

Пробная площадь (ПП)	Местоположение сообщества	Характеристика условий произрастания
ПП-1 (болотный экотоп)	Иркутская обл., Слюдянский р-н, урочище Красный ручей	Широта N = 51030', долгота E = 104012'. 0,5 км от побережья оз. Байкал, северный склон хребта Хамар-Дабан, голубично-сфагновое облесенное болото, 6КЗБ1С, сомкнутость крон 0,2, почва торфяная эвтрофная
ПП-2 (лесной экотоп)	Республика Бурятия, Кабанский р-н, село Мишиха	Широта N = 51038', долгота E = 105034'. Северный склон хребта Хамар-Дабан, елово-сосновый голубично-зеленомошный лес, 7ЕЗС, сомкнутость крон 0,3–0,4, почва подбур грубогумусированный

Таблица 2. Содержание микроэлементов в надземных и подземных органах голубики обыкновенной, мг/кг сухого вещества (n = 5 для каждой ПП)

ПП	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Co	Cd
ягоды									
ПП-1	79±4,5	22±2,5	7,5±0,3	2,9±0,2	1,9±0,1	1,5±0,3	0,58±0,04	0,28±0,05	0,12±0,02
ПП-2	84±5,7	25±2,6	9,6±0,2	2,7±0,2	2,0±0,2	1,8±0,2	0,65±0,07	0,35±0,03	0,15±0,01
<i>M±δ*</i>	82±5,9	24±2,8	8,5±0,9	2,8±0,2	1,9±0,1	1,6±0,2	0,63±0,07	0,31±0,04	0,14±0,01
<i>CV,%**</i>	7	12	11	7	5	13	11	13	7
листья									
ПП-1	364±32	86±8,1	15,7±1,7	4,4±0,6	3,2±0,3	3,9±0,3	2,6±0,3	0,76±0,15	0,22±0,02
ПП-2	521±29	135±8,4	25,7±1,7	4,1±0,3	2,6±0,6	5,5±0,2	3,1±0,5	0,93±0,15	0,20±0,01
<i>M±δ</i>	443±87	110±27	20,8±5,6	4,2±0,5	2,9±0,5	4,7±0,9	2,7±0,4	0,85±0,16	0,20±0,02
<i>CV, %</i>	20	25	27	12	17	19	15	19	10
стебли									
ПП-1	682±18	104±3,4	37,2±1,4	5,3±0,3	3,5±0,2	7,4±0,2	2,9±0,2	0,13±0,01	0,42±0,03
ПП-2	719±45	112±9,1	37,7±1,6	4,9±0,3	3,3±0,1	7,2±0,2	3,4±0,3	0,15±0,01	0,38±0,03
<i>M±δ</i>	701±21	108±7,5	37,5±1,5	5,1±0,3	3,4±0,2	7,3±0,2	3,2±0,3	0,14±0,01	0,40±0,02
<i>CV, %</i>	3	7	4	6	6	3	9	7	5
корни									
ПП-1	737±11	180±5,4	5,1±0,3	5,2±0,4	3,6±0,3	2,9±0,3	3,8±0,2	0,72±0,07	0,24±0,02
ПП-2	834±34	212±11	6,7±0,4	5,6±0,6	4,7±0,2	5,9±0,3	6,5±0,4	0,77±0,02	0,39±0,04
<i>M±δ</i>	786±56	195±17	5,9±0,3	5,4±0,6	4,2±0,5	4,4±1,6	5,2±1,4	0,74±0,06	0,32±0,09
<i>CV, %</i>	7	9	5	11	12	36	27	8	28
почва									
ПП-1	387±9,2	199±4,6	20,8±1,4	3,6±0,4	4,2±0,2	6,1±0,2	5,4±0,2	0,88±0,05	0,28±0,01
ПП-2	574±32	386±12	22,4±1,3	4,1±0,2	6,6±0,3	8,2±0,2	7,6±0,1	1,85±0,07	0,58±0,02

* *M±δ* – среднее ± стандартное отклонение, ** *CV* – коэффициент вариации

Определение содержания микроэлементов в растениях проводилось после предварительного сухого озоления проб в муфельной печи при температуре 450 °С. Из почв подвижные формы микроэлементов извлекались раствором 1Н HNO₃, при соотношении почвы к кислоте 1 : 10, время экстракции – 1 ч [10, 11]. В полученных растворах определяли Mn, Fe, Zn, Cu, Co, Ni, Cr, Pb, Cd атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Perkin Elmer». Все анализы выполнены в 5-ти кратной повторности.

Для оценки интенсивности накопления металлов в растениях рассчитывали коэффициент накопления (*K_n*) – отношение содержания элемента в органах растений к содержанию его подвижных форм в почве, и коэффициент корневого барьера (*K_{кб}*) – отношение величин содержания элементов в корне растения и надземных органах [11]. Статистическая обработка данных проводилась с помощью стандартных пакетов Microsoft Exel 2007 и Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

В связи с разной физиологической значимостью микроэлементов и избирательностью поглощения из почв, их содержание в растениях существенно различается. Средние концентрации изучаемых нами микроэлементов изменялись в растениях голубики от 0,12 (Cd) до 834 (Mn) мг/кг, т.е. на три математических порядка (табл. 2).

По абсолютному содержанию в ягодах голубики микроэлементы можно условно подразделить на следующие группы: элементы низкой концентрации – Cd, Co, Pb (0,12–0,65 мг/кг); элементы средней концентрации – Cr, Ni, Cu, Zn (1,5–9,6 мг/кг); элементы повышенной концентрации – Fe, Mn (22–84 мг/кг). В листьях, стеблях и корнях дополнительно можно выделить группу элементов высокой концентрации, накапливающихся более 100 мг/кг – Fe, Mn (104–834 мг/кг). Кроме того, цинк здесь переходит в группу повышенного накопления (за исключением корней), а свинец – среднего. Ряды накопления микроэлементов (по степени снижения содержания) в надземных и подземных органах голубики представлены в таблице 3.

Анализ распределения микроэлементов по органам голубики показал, что наибольшим содержанием Mn, Fe, Cu, Ni, Pb отличаются корни, при этом наблюдается постепенное снижение содержания этих элементов в ряду: корни>стебли>листья>ягоды. В листьях накапливается Co, в стеблях – Zn, Cr и Cd. Ягоды содержат наименьшее количество микроэлементов, что, с одной стороны, может быть связано с невысокой потребностью в них, а с другой – существованием механизмов, регулирующих накопление и распределение металлов между корнями и надземными органами [12]. В данном случае корни играют роль барьера между почвой и надземными органами, предотвращая поступление большого количества элементов в надземные части. Подтверждением этого служат результаты расчета коэффициента корневого барьера (табл. 3). Значения коэффициента выше единицы указывают на наличие барьера при поступлении элементов в надземную часть растений.

Из данных таблицы видно, что только цинк безбарьерно поступает в надземные органы, в том числе и ягоды. Отсутствие корневого барьера при его поглощении различными растениями отмечают многие исследователи и связывают эту особенность с важной ролью металла в процессах плодоношения и формирования семян [13]. Практически безбарьерно поступают в листья Cr и Co, а в стебли – Cd. Для остальных металлов преимущественным является барьерный тип накопления.

Наряду с барьерными механизмами, ограничивающими поступление микроэлементов в надземные органы, на уровень их содержания в надземной части оказывает влияние и степень подвижности элементов в почвах, которая зависит от кислотно-щелочной и окислительно-восстановительной обстановки [14, 15].

Таблица 3. Ряды накопления микроэлементов в надземных и подземных органах голубики обыкновенной и коэффициент корневого барьера (*K_{кб}*)

Орган растения	Ряд накопления									
	<i>K_{кб}</i>									
Ягоды	<u>Mn</u> > <u>Fe</u> > <u>Zn</u> > <u>Cu</u> > <u>Ni</u> > <u>Cr</u> ≥ <u>Pb</u> > <u>Co</u> > <u>Cd</u> 10 8,1 0,7 1,9 2,2 2,8 8,3 2,4 2,3									
Листья	<u>Mn</u> > <u>Fe</u> > <u>Zn</u> > <u>Cu</u> ≥ <u>Cr</u> > <u>Ni</u> > <u>Pb</u> > <u>Co</u> > <u>Cd</u> 1,8 1,8 0,3 1,3 0,9 1,4 1,9 0,9 1,6									
Стебли	<u>Mn</u> > <u>Fe</u> > <u>Zn</u> > <u>Cr</u> > <u>Cu</u> > <u>Ni</u> ≥ <u>Pb</u> > <u>Cd</u> > <u>Co</u> 1,1 1,8 0,2 0,6 1,1 1,2 1,6 0,8 5,3									
Корни	Mn > Fe > Zn > Cu > Pb ≥ Ni ≥ Cr > Co > Cd									

Поэтому один и тот же вид растений в разных местообитаниях способен накапливать существенно различающиеся концентрации микроэлементов. При малом содержании элемента в почве растение интенсивно поглощает имеющееся количество доступных для него форм этого элемента. И только в случае высокого содержания элемента в почве начинают срабатывать механизмы регуляции.

При сопоставлении данных о содержании металлов в растениях голубики из разных экотопов обнаружено, что вариабельность содержания микроэлементов в растениях голубики, согласно градации, приводимой в [16], относится к группе нормальной ($CV =$ до 40%). Относительным постоянством концентраций микроэлементов характеризуются репродуктивные органы, химический состав которых находится под строгим генетическим контролем [17], а также стебли, выполняющие в основном транспортную функцию – коэффициенты вариации не превышали 13% (табл. 2). Более широкий диапазон варьирования концентрации ряда микроэлементов обнаружен в листьях ($CV = 20–27\%$) и корнях ($CV = 27–36\%$). Отмечено, что в лесном экотопе листья голубики содержат в 1,4–1,6 раза больше Mn, Fe, Zn и Cr, а корни – в 1,6–2,0 раза больше Cr, Pb и Cd, чем в болотном экотопе.

Для оценки интенсивности поглощения химических элементов растениями голубики из почвы были рассчитаны коэффициенты накопления (табл. 4.). Обнаружена значительная вариабельность значений этого коэффициента в надземных и подземных органах голубики. При этом интенсивность поглощения микроэлементов репродуктивными органами намного ниже вегетативных. К элементам среднего биологического захвата ($10 > K_n > 1$) вегетативными органами голубики могут быть отнесены Zn, Cu, Mn, Cr.

Чтобы оценить экологическую безопасность ягод голубики, данные по концентрации тяжелых металлов сравнивали со значениями ПДК нормируемых элементов, разработанных для чая и лекарственных растений: Pb (6 мг/кг) и Cd (1 мг/кг) [18]. Обнаружено, что содержание этих элементов в ягодах голубики из изучаемых экотопов было значительно ниже их ПДК.

Для определения возможности обеспечения организма человека микроэлементами нами было рассчитано их количество, которое содержится в 100 г сырых ягод голубики. При суточной потребности организма взрослого человека в жизненно необходимых микроэлементах [19] 100 г сырых ягод голубики могут обеспечить ее от 1,3% цинком до 60% никелем (табл. 5). Следует отметить, что в ягодах микроэлементы находятся в органически связанной, т.е. в наиболее доступной и усвояемой форме [20]. Особый интерес представляет значительное удовлетворение потребности организма в хrome (45%), кобальте (30%) и марганце (48%). Хром является составной частью фермента инсулина, основная роль которого – регуляция уровня сахара в крови. Дефицит хрома в рационах питания населения многих регионов из-за рафинирования и технологической обработки продуктов приводит к развитию сахарного диабета II типа. Листья голубики, используемые в лекарственных целях и накапливающие хром в повышенных количествах (см. табл. 2), также могут быть источником этого элемента.

Кобальт, входя в состав витамина B₁₂, участвует в процессах кроветворения. Наиболее характерными признаками его дефицита являются анемии, дегенерация костного мозга, нарушение функций нервной системы. Дефицит марганца приводит к хрупкости костей, нарушению образования хрящей, дерматитам и др. [21].

Таблица 4. Коэффициенты накопления микроэлементов в надземных и подземных органах голубики обыкновенной

Элемент	Ягоды		Листья		Стебли		Корни	
	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2	ПП-1	ПП-2
Mn	0,2	0,1	0,9	0,9	1,8	1,3	1,9	1,5
Fe	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	0,3	0,9	0,5
Zn	0,4	0,4	0,8	1,1	1,8	1,7	0,2	0,3
Cu	0,8	0,7	1,2	1,0	1,5	1,2	1,4	1,4
Cr	0,2	0,2	0,6	0,7	1,2	0,9	0,5	0,7
Pb	0,1	0,1	0,5	0,4	0,5	0,4	0,7	0,9
Ni	0,5	0,3	0,8	0,4	0,8	0,5	0,9	0,7
Co	0,3	0,2	0,9	0,5	0,1	0,1	0,8	0,4
Cd	0,4	0,3	0,8	0,3	1,5	0,7	0,9	0,7

Таблица 5. Возможность использования ягод голубики в качестве источников микроэлементов для удовлетворения потребности взрослого человека

Элемент	Суточная потребность, мг/сут. [19]	Концентрация элемента, мг/100 г сырого вещества	% от суточной потребности	Верхний допустимый уровень мг/сут [19]
Mn	2,5	1,2	48	11
Fe	10	0,34	3,4	45
Zn	12	0,16	1,3	40
Cu	1,5	0,05	3,3	5
Co	0,01	0,003	30	0,03
Cr	0,05	0,022	45	0,25
Ni	0,035	0,021	60	...
Pb	...	0,007	...	2,33

Примечание: ... нет данных.

Выводы

Определены средние концентрации и диапазоны варьирования девяти микроэлементов в надземных и подземных органах голубики обыкновенной, произрастающей в лесном и болотном экотопах. По уровню содержания выделены элементы повышенной (высокой) концентрации – Mn, Fe, средней – Cr, Ni, Cu, Zn и низкой – Cd, Co, Pb. Отмечено, что в большей степени различия условий произрастания сказываются на содержании микроэлементов в листьях и корнях голубики.

Установлено, что основным депонирующим металлы органом у голубики являются корни – в них происходит аккумуляция Mn, Fe, Cu, Ni, Pb. В стеблях в большей степени накапливаются Cr, Cd и Zn, в листьях – Co. Ягоды голубики по сравнению с другими органами характеризуются самым низким содержанием всех рассмотренных микроэлементов, тем не менее они могут служить важным источником для организма человека жизненно необходимых микроэлементов – Mn, Cr, Co.

Список литературы

1. Дикорастущие полезные растения России / под ред. А.Л. Буданцева. СПб., 2001. 663 с.
2. Снакина Т.И. Интродукция голубики топяной в Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2007. 18 с.
3. Голубика высокорослая: оценка адаптационного потенциала при интродукции в условиях Беларуси / под ред. В.И. Парфенова. Минск, 2007. 442 с.
4. Тимошок Е.Е. Экология и биология брусничных в Сибири. Томск, 2006. 216 с.
5. Конобеева А.А. Брусничные в Центрально-Черноземном регионе. Мичуринск-научоград, 2007. 230 с.
6. Василевская Т.И., Рупасова Ж.А., Решетников В.Н. Формирование биохимического состава плодов видов семейства *Ericaceae* при интродукции в условиях Беларуси. Минск, 2011. 307 с.
7. Здоровье России: атлас / под ред. Л.А. Бокерия. М., 2007. 254 с.
8. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 430 с.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М., 1992. 40 с.
10. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
11. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М., 2001. 689 с.
12. 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, №1. С. 3–26.
13. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. СПб., 2011. 368 с.
14. Баргаль Н. Биогеохимия наземных растений. М., 2005. 457 с.
15. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
16. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М., 1990. 296 с.
17. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск, 1985. 128 с.
18. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001. 180 с.
19. Методические рекомендации № 2.3.1. 1915-04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М., 2004. 34 с.
20. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М. Почему растения лечат. М., 1989. 225 с.
21. Румянцев Е.В., Антипина Е.В., Чистяков Ю.В. Химические основы жизни. М., 2007. 560 с.

Поступило в редакцию 5 марта 2012 г.

После переработки 12 июля 2012 г.

Afanasiyeva L.V.* , Kashin V.K. CONTENT OF TRACE ELEMENTS IN *VACCINIUM ULIGINOSUM* L. GROWING IN SOUTHERN BAIKAL REGION

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

The average concentrations and ranges of variation of nine trace elements was determined in plant of *Vaccinium uliginosum* growing in the forest and bog ecotopes of southern Baikal region. It was found that roots accumulate the most amount Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, stems differ with accumulation of Cr, Cd, Zn, and leaves accumulate Co. We have concluded that 100 g berries of *Vaccinium uliginosum* can provide up to 30–48% of daily human nutrient requirement of Mn, Cr and Co.

Keywords: Vaccinium uliginosum, berry, leaves, stems, roots, trace elements, ecotope.

References

1. *Dikorastushchie poleznye rasteniia Rossii / pod red. A.L. Budantseva.* [Useful Wild Plants of Russia. Ed. A.L. Budantsev]. St. Petersburg, 2001, 663 p. (in Russ.).
2. Snakina T.I. *Introduktsiia golubiki topiano v Zapadnoi Sibiri: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk.* [Introduction blueberry swamp in Western Siberia: the summary of Candidate of Biological Sciences thesis.]. Novosibirsk, 2007, 18 p. (in Russ.).
3. *Golubika vysokoroslaia: otsenka adaptatsionnogo potentsiala pri introduktsii v usloviakh Belarusi / pod red. V.I. Parfenov.* [Blueberry: assessing adaptive capacity at introduction in Belarus. Ed. V.I. Parfenova]. Minsk, 2007, 442 p. (in Russ.).
4. Timoshok E.E. *Ekologiia i biologiia brusnichnykh v Sibiri.* [Ecology and biology of cranberry in Siberia]. Tomsk, 2006, 216 p. (in Russ.).
5. Konobeeva A.A. *Brusnichnye v Tsentral'no-Chernozemnom regione.* [Cranberry in the Central Black Earth region]. Michurinsk, 2007, 230 p. (in Russ.).
6. Vasilevskaia T.I., Rupasova Zh.A., Reshetnikov V.N. *Formirovanie biokhimicheskogo sostava plodov vidov semeistva Ericaceae pri introduktsii v usloviakh Belarusi.* [Formation of the biochemical composition of fruits of species of the family Ericaceae when introduced in Belarus]. Minsk, 2011, 307 p. (in Russ.).
7. *Zdorov'e Rossii: Atlas / pod red. L.A. Bokeriia.* [Russian Health: Atlas / Ed. L.A. Boqueria]. Moscow, 2007, 254 p. (in Russ.).
8. *Metody biokhimicheskogo issledovaniia rastenii.* [Methods of Biochemical Plant Research]. Leningrad, 1987, 430 p. (in Russ.).
9. *Metodicheskie ukazaniia po opredeleniiu tiazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodii i produktii rasteniievodstva.* [Guidelines for the determination of heavy metals in farmland soils and crop production]. Moscow, 1992, 40 p. (in Russ.).
10. *Teoriia i praktika khimicheskogo analiza pochv / pod red. L.A. Vorob'evoi.* [The theory and practice of chemical analysis of soil. Ed. L.A. Vorobeveva]. Moscow, 2006, 400 p. (in Russ.).
11. *Praktikum po agrokhimii / pod red. V.G. Mineeva.* [Workshop on Agricultural Chemistry / Ed. V.G. Mineev]. Moscow, 2001, 689 p. (in Russ.).
12. Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. *Fiziologiia rastenii*, 2008, vol. 55, no. 1, pp. 3–26. (in Russ.).
13. Bitiutskii N.P. *Mikroelementy vysshikh rastenii.* [Trace elements of higher plants]. St. Petersburg, 2011, 368 p. (in Russ.).
14. Bargal'i R. *Biogeokhimiia nazemnykh rastenii.* [Biogeochemistry of terrestrial plants]. Moscow, 2005, 457 p. (in Russ.).
15. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniakh.* [Trace elements in soils and plants]. Moscow, 1989, 439 p. (in Russ.).
16. Zaitsev G.N. *Matematika v eksperimental'noi botanike.* [Mathematics in Experimental Botany]. Moscow, 1990, 296 p. (in Russ.).
17. Il'in V.B. *Elementnyi khimicheskii sostav rastenii.* [Elemental chemical composition of plants]. Novosibirsk, 1985, 128 p. (in Russ.).
18. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniia bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov.* [San-Pin 2.3.2.1078-01. Hygienic safety and nutritional value of foods]. Moscow, 2001, 180 p. (in Russ.).
19. *Metodicheskie rekomendatsii № 2.3.1. 1915-04. Rekomenduemye urovni potrebleniia pishchevykh i biologicheski aktivnykh veshchestv.* [Guidelines № 2.3.1. 1915-04. Recommended levels of food consumption and biologically active substances]. Moscow, 2004, 34 p. (in Russ.).
20. Lovkova M.Ia., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M. *Pochemu rasteniia lechat.* [Why plants are treated]. Moscow, 1989, 225 p. (in Russ.).
21. Rumiantsev E.V., Antina E.V., Chistiakov Iu.V. *Khimicheskie osnovy zhizni.* [Chemical basis of life]. Moscow, 2007, 560 p. (in Russ.).

Received March 5, 2012

Revised July 12, 2012

* Corresponding author.