

УДК 634.11(571.54)

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ ЯГОДНОЙ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

© *Е.В. Чупарина*^{1*}, *М.В. Баханова*², *С.Д. Шиrapова*²

¹ *Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, ул. Фаворского, 1А, Иркутск, 664033 (Россия), e-mail: lchup@igc.irk.ru*

² *Бурятский государственный университет, ул. Смолина, 24, Улан-Удэ, 670000 (Россия)*

В статье приводятся результаты изучения составов плодов яблони ягодной *Malus baccata* (L.) Borkh, собранной в Республике Бурятия с природных и антропогенно измененных территорий. Изучены составы почв, на которых яблони произрастают. Используя метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), в исследуемых образцах определили содержание 20 элементов: Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Pb и Ba. Установлено, что содержание оксидов основных элементов в аллювиально-железистых природных почвах ниже, чем в почвах урбанизированных территорий, кроме оксидов MnO, TiO₂ и Fe₂O₃, характерных для этого типа почв. В почвах, собранных с городских улиц, среди микроэлементов преобладают Cu, Zn, Ba и Pb, источником поступления которых является городской транспорт. Изучено распределение элементов в разных органах яблони. В плодах содержится больше эссенциальных P, K, Cu и Rb по сравнению с листьями, в то время как в листьях были обнаружены более высокие концентрации потенциально токсичных Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr и Ba. Содержание элементов во всех образцах плодов яблони ягодной значительно ниже токсичных или избыточных концентраций, установленных для наземных растений.

Ключевые слова: яблоня ягодная *Malus baccata* (L.) Borkh., плоды, почва, элементный состав, урбанизированные и природные территории.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту ИГХ СО РАН IX.127.1.2. (0350-2016-0027) и при финансовой поддержке гранта БГУ № 18-04-0502 «Генетический полиморфизм и адаптивные физиолого-биохимические стратегии у различных экологических форм яблони ягодной в условиях Байкальской Сибири». Аналитические результаты получены с использованием материально-технической базы ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии СО РАН.

Введение

Экологические проблемы антропогенно измененных территорий, в том числе сельскохозяйственных ландшафтов, привлекают внимание исследователей. Усиление отрицательного воздействия на почву и произрастающих на ней культур связано, прежде всего, с низким научно-техническим уровнем аграрного производства, усилением интенсификации и химизации сельского хозяйства и рядом других причин. Большой интерес вызывает изучение плодовых культур с точки зрения исследования их способности накапливать химические элементы в разных условиях произрастания и влияния составов почвы на формирование растений.

Чупарина Елена Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: lchup@igc.irk.ru

Баханова Милада Викторовна – доцент кафедры ботаники, e-mail: milada2015@bk.ru

Шиrapова Сэндэма Доржиевна – доцент кафедры экологии и природопользования,
e-mail: sendema.shirapova@gmail.com

Ведь потребителей кроме полезных качеств сельхозпродукции волнуют вопросы безопасности для здоровья.

Яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.), многолетнее плодовое растение, широко распро-

* Автор, с которым следует вести переписку.

странена в лесостепной зоне юга Байкальской природной территории. Она является ценным пищевым и лечебным плодовым растением, требуется постоянная работа по сохранению и улучшению ее разнообразия, особенно в резко континентальных условиях региона. Вкусовые качества и пищевая ценность яблок зависят от содержания в них сахаров, органических кислот, полифенолов и других веществ [1]. Яблоня ягодная популярна в народной медицине, где настой или отвар сушеных и свежих плодов назначают при простудных заболеваниях как противохолерическое средство, при заболеваниях легких и малокровии, рекомендуют как общеукрепляющее и регулирующее обмен веществ средство [2, 3]. В плодах яблони ягодной содержатся витамин С, органические кислоты, флавоноиды, дубильные вещества, микроэлементы [1, 4, 5]. По разнообразию органических соединений плоды дикорастущих яблонь превосходят даже большинство культурных сортов. Полученные из литературных источников данные часто касаются морфологии, биоразнообразия видов и изучения органических веществ [6–9]. Однако физиологическое действие растительных препаратов на организм обусловлено не только веществами органического происхождения, но также их минеральным составом [10], который для большинства растений Восточной Сибири на сегодняшний день неизвестен. Лишь в отдельных работах приводятся данные по содержанию химических элементов в плодах яблони из других географических районов страны. В основном внимание исследователей привлекает содержание тяжелых металлов [11–14]. Так, в работе [12] представлены результаты определения Pb, As, Cd, Hg и Zn в *Malus baccata*. Авторы А.М. Русанов и др. [13] изучили загрязнение плодов яблони *M. baccata* var. *macrocarpa* Borkh с городских улиц Оренбурга металлами Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb и Cd. Близость промышленных предприятий к месту отбора проб и интенсивный транспортный поток явились причинами высоких концентраций изучаемых элементов в яблоне, превышающих предельно допустимые концентрации. Обеспеченность плодовых растений, произрастающих на скелетных почвах Крыма, необходимыми элементами питания изучал Н.Е. Опанасенко [15]. С этой целью в листьях нескольких плодовых деревьев, в том числе сорта Ренет Симиренко, были определены содержания оксидов Si, P, Mg, S, K, Ca, Fe и элементного азота N в образцах растений и в почвах. Листья яблони *Malus domestica* Borkh. были предметом изучения в работе [16]. В другой работе изучено изменение калия и кальция в плодах яблони сорта Имрус в зависимости от дозы используемых для подкормки препаратов [17]. Макро- и микроэлементный состав яблок разных селекционных сортов был определен в публикации [18]. Приведены коэффициенты вариации содержания элементов, установлены особенности накопления элементов в плодах в зависимости от сорта. Авторы [19] определяли содержание Na, Mg, Al, K, Sc, Cr, Mn, Fe, Br, Zn, Sb и La в плодах и семенах разных фруктов Ирана, в том числе в яблоне *Malus domestica* L. Были изучены особенности элементных составов разных фруктов.

Обзор литературы показал, что имеются лишь отдельные данные по составам рода *Malus* и состоянию почв в ценопопуляциях. Сведения по качеству плодов разрознены и фрагментарны, а в условиях Бурятии подобного рода исследования проводятся впервые. Определенный интерес представляет изучение распределений элементов между органами яблони – листьями и плодами. Поэтому выполненная работа имеет новизну и практическую значимость в лечебной медицине, селекции и интродукции яблони, при экологических изучениях.

Цель работы – определение содержания эссенциальных и потенциально токсичных элементов в почвах и образцах яблони, собранных с природных и урбанизированных территорий Республики Бурятия, для изучения изменения составов в зависимости от места произрастания, а также распределения элементов между разными органами яблони.

Экспериментальная часть

В качестве материала для исследования были взяты плоды и листья яблони ягодной *Malus baccata* в фазу плодоношения в 2017 г. из местообитаний на территории Республики Бурятия (природные территории) и Улан-Удэ (городская местность), а также почвенные образцы с этих участков (рис. 1, 2).

Места сбора образцов естественных территорий (рис. 1) характеризуются отсутствием источников загрязняющих веществ. Они расположены вдали от автомагистралей, однако пробы с участков 2, 3, 4 и 6 отбирались на расстоянии 100–400 м от железной дороги и автомобильной трассы. Несколько десятилетий назад исследуемые участки были задействованы для сельскохозяйственной деятельности, в настоящее время их используют в качестве пастбищ для крупнорогатого скота и сенокосов.

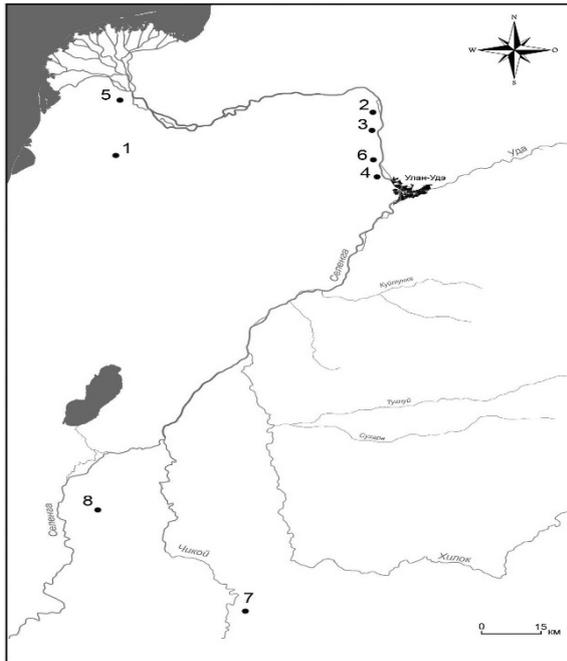


Рис. 1. Места сбора образцов с удаленных от города участков: 1 – Романово, 2 – Бурлаково, 3 – Курдюмка, 4 – Сотниково, 5 – Ньюки, 6 – Ошурково, 7 – Мурочи, 8 – Нуртухум



Рис. 2. Места сбора в городе Улан – Удэ: 1 – ул. Геологическая, 2 – ул. Балтахинова, 3 – ул. Ранжурова (рядом с гостиницей Гэсэр); 4 – ул. Смолина (рядом с главным корпусом БГУ)

Площадка 1 располагается в низкой террасе долины р. Селенги, почвы бурая луговая на аллювиальных отложениях. Площадки 2 и 6 – надпойменная терраса (на обочине дороги), на площадке 2 почва коричневая лесная супесчаная на аллювиальных отложениях, на 6 – каштановая лесостепная тяжелая суглинистая на делювиальных отложениях, площадка 3 – прирусловая часть поймы р. Селенга, почва там бурая лесная суглинистая на аллювиальных отложениях. Место отбора 4 располагается в подгорном шлейфе к долине Селенги (почва бурая лесная суглинистая на иллювиальных отложениях). Участок 5 – коренной борт высокой террасы р. Селенга (светло-каштановые луговые суглинстые на аллювиальных отложениях), 7 – на правой надпойменной террасе реки Чикой, в 3 км к востоку от основного русла (почва светло-каштановая сухостепная суглинистая на иллювиальных отложениях), 8 – на песчаных склонах отрогов Боргойского хребта. Здесь встречаются почвы горно-каштановые, мучнисто-карбонатные, глубоко промерзающие на склонах и песчаные мерзлотно-луговые, аллювиально-луговые глубоко промерзающие на ультраосновных осадочных интрузивных горных породах (базальты, габбро).

Для сравнения были взяты образцы с улиц г. Улан-Удэ (рис. 2), характеризующихся интенсивным движением транспорта и влиянием жизнедеятельности человека: Геологическая, Балтахинова, Ранжурова (возле гостиницы Гэсэр), Смолина (возле главного корпуса Бурятского государственного университета).

Почвенно-растительные комплексы на территории г. Улан-Удэ формируются на легких щебенистых пылеватых лессовидных суглинках, супесях и песках, для которых характерны легкий гранулометрический состав и значительная мощность рыхлых отложений.

Из каждого образца почвы и растения, взятого в одном и том же месте, было отобрано по три подобразца, которые были независимо подготовлены к анализу и измерены. Таким образом, каждый представленный результат является средним из трех параллельных определений. Плоды яблони, удалив из них косточки, разрезали на мелкие кусочки. Листья также резали на части. Измельченные растения сушили на воздухе в течение 7–10 дней. Далее растительный материал измельчали в ручной кофемолке и истирали в агатовой ступке до порошка. Из 0.5 г листьев и плодов прессовали таблетки-излучатели на подложке из борной кислоты. Почвенные образцы сушили в сушильном шкафу при 105 °С течение 2 ч. Из высушенного материала удалили корешки и другие органические остатки. Материал растирали в яшмовой ступке, просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Брали навески 2 г почвы и 0.2 г синтетического воска, используемого как связующее вещество. Вещества перемешивали в ступке в течение 3 минут. Прессовали таблетку-излучатель на подложке из борной кислоты,

которую непосредственно облучали рентгеновскими лучами. Содержание элементов в растительных и почвенных образцах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с волновой дисперсией [20]. Измерения были выполнены на волновом рентгеновском спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия), позволяющем последовательно измерять аналитические линии элементов. Источником возбуждения атомов элементов служила рентгеновская трубка с Rh-анодом. Были измерены интенсивности линий элементов: Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba и Pb.

Полученные экспериментальные данные были обработаны методами математической статистики [21–23] с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2003. Проверку нормальности распределения данных в выборках выполняли по критерию Уилка-Шапиро. При сравнении между собой значений из разных выборок для выявления статистически значимых различий применили критерии Стьюдента для нормально распределенных данных и критерий Манна-Уитни в случае аномального распределения. Были рассчитаны средние арифметические и их погрешности, медианные значения, коэффициенты вариации значений в выборках и первый и третий квартили интерьерного ряда [21, 24].

Обсуждение результатов

Как известно, элементный состав растений определяется, в первую очередь, составом почвы. В таблице 1 представлены результаты исследований по содержанию элементов в почве из мест естественного (I) произрастания яблони ягодной и в условиях городской среды (II). Над чертой для одних элементов, значения в выборке для которых показали нормальность распределения согласно критерию Уилка-Шапиро, дано среднее содержание элемента в почве и его стандартное отклонение в скобках. Под чертой для всех исследуемых элементов дан интервал содержания (минимальное и максимальное значение в выборке). Звездочкой отмечены элементы, для которых в качестве среднего была рассчитана медиана и в скобках приведены значения первого и третьего квартилей. Рассчитанные коэффициенты критерия Уилка-Шапиро для этих элементов оказались ниже или близки к табличным значениям, следовательно, данные в выборках не подчиняются нормальному закону распределения случайных величин. Также в отдельных столбцах таблицы указаны коэффициенты вариации значений в исследуемых выборках. В последнем столбце приведены кларковые значения компонентов в почвах селитебных территорий (населенные пункты) [25].

Анализ данных таблицы 1 показал, что, в целом, почвы урбанизированной и природной среды имеют близкие составы. Поскольку почвы супесчаные и суглинистые, основные компоненты в них SiO_2 и Al_2O_3 . Достаточно много содержится натрия, магния, калия, фосфора и железа. Содержание щелочных элементов Na, K и Rb в рассматриваемых почвах (табл. 1), а также оксидов Mg, Al, P, и Fe превышает кларковые значения.

Скорее всего, это связано с повышенной щелочностью этих почв. Содержание остальных элементов ниже кларков. Таким образом, макрокомпонентные составы соответствуют особенностям аллювиально-железистых почв, представленных на рассматриваемых участках.

Сравнение дисперсий, принадлежащих разным выборкам, по t-критерию и критерию Манна-Уитни показало, что различия между содержанием оксидов Na, Mg, Al, Si, P, K и Mn и элементов S и Ni в почвах природных и урбанизированных территорий носят случайный характер. В то же время расхождения значимы между содержанием оксидов Ca, Ti, Fe и микроэлементов Cr, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba и Pb.

Несмотря на то, что различия между содержанием большинства макрокомпонентов незначимы, среднее содержание оксидов Na, Si, P, K и Ca и серы в почвах городской агломерации выше, чем в сельской местности. Это может быть связано, прежде всего, со строительной деятельностью. Ведь основные составляющие строительных материалов – это кремний и кальций и другие сопутствующие им элементы. Указанные выше компоненты могут поступать в почвы города из разных источников: сточных вод, в том числе коммунальных, бытового мусора, выбросов тепловых станций, работающих на угле и других [25, 26]. В то же время содержание Al_2O_3 и TiO_2 различается незначительно, а что касается оксидов MnO и Fe_2O_3 , то их больше в природной почве. Самое высокое содержание этих металлов были получены в образцах почвы, собранных с участков 2–4 и 6, расположенных в нескольких сотнях метров от автомагистрали и железнодорожных путей. Средние значения для микроэлементов Cr и Ni, имеющих химическое родство с Fe и Mn, также немного выше в природных почвах.

Таблица 1. Содержание элементов в почвенных образцах

Компонент	I		II		Кларк в почве [25]
	Содержание, % n=10	V, %	Содержание, % n=4	V, %	
Na ₂ O	1.97 (0.40) 1.39–2.71	20	2.13 (0.45) 1.67–2.71	21	0.78
MgO	*1.48 (1.41; 1.81) 0.83–2.24	29	*1.61 (1.18; 1.83) 0.37–2.03	52	1.31
Al ₂ O ₃	*13.33 (13.17; 13.79) 11.88–14.11	5	*13.41 (12.62; 13.71) 11.04–13.81	10	7.22
SiO ₂	*57.37 (51.51; 64.28) 47.68–70.89	14	*61.46 (57.58; 66.30) 53.58–73.18	13	61.823
P ₂ O ₅	0.387 (0.114) 0.192–0.590	30	0.435 (0.156) 0.226–0.602	36	0.275
S	*0.079 (0.071; 0.089) 0.035–0.186	50	*0.093 (0.079; 0.116) 0.074–0.146	32	0.120
K ₂ O	3.19 (0.33) 2.62–3.72	10.5	3.97 (0.62) 3.37–4.83	16	1.614
CaO	*3.25 (2.85; 3.37) 2.54–5.95	29	*3.90 (3.39; 4.76) 2.64–6.60	39	7.526
TiO ₂	*0.784 (0.762; 0.846) 0.517–0.934	15	*0.765 (0.572; 0.853) 0.238–0.870	44	0.793
MnO	0.081 (0.029) 0.041–0.135	36	0.061 (0.016) 0.042–0.076	26	0.094
Fe ₂ O ₃	*7.24 (5.93; 7.85) 3.69–9.69	25	*6.36 (4.52; 7.50) 2.13–7.77	46	3.189
Элемент	Содержание, мкг/г		Содержание, мкг/г		
Cr	43 (13) 21–67	30	38 (16) 17–53	41	80
Ni	21 (9) 8–36	43	19 (8) 5–23	55	33
Cu	*18 (8; 26) 5–32	58	*22 (13; 31) 11–33	50	39
Zn	*71 (42; 96) 22–109	46	*103 (68; 142) 68–159	44	158
Rb	*84 (79; 90) 18–129	33	*95 (92; 101) 86–117	13	58
Sr	365 (75) 275–533	21	362 (45) 302–410	13	458
Zr	157 (46) 96–246	29	153 (58) 73–213	38	255.6
Pb	*18 (16; 19) 14–20	13	*28 (19; 36) 18–38	37	54.5
Ba	*677 (655; 700) 639–963	14	*725 (715; 734) 707–735	2	853

Что касается микроэлементного состава в целом, то места отбора с городских улиц выделяются содержанием Cu, Zn Rb, Ba и Pb. Наличие большей части этих элементов в почвах городских улиц обусловлено, прежде всего, загрязнением городской среды продуктами работы городского транспорта [27, 28]. Rb и Ba могут попадать с коммунальными водами [26]. Уровни содержания элементов Sr и Zr сравнимы в образцах из удаленных от города территорий и с городских участков.

Рассмотрим вариации содержания внутри интервалов. Видно, что менее всего варьирует содержание Al, Si, K и Ba в образцах природных и урбанизированных почв, значение коэффициента вариации V изменяется от 2 до 16%. Для остальных элементов значение V изменяется от 13 до 58%. Также очевидно, что вариации содержания Mg, Al, P, K, Ca, Ti, Fe, Cr, Ni и Pb в почвах городской среды значительно выше по сравнению с природными территориями. В условиях урбанизированного влияния природные механизмы в почвах нарушаются, как и изменяется их элементный баланс [28, 29]. Почвы становятся обедненными одними элементами и обогащаются другими. Способность к обмену элементами, сорбционная емкость также изменяется.

Результаты определения содержания элементов в плодах яблони ягодной приведены в таблице 2. В числителе даны средние арифметические значения, в скобках – относительное стандартное отклонение. В знаменателе приведен интервал значений в выборке. Для данных, помеченных звездочкой в числителе, даны медианные значения и в скобках – первый и третий квартили. Также таблица содержит коэффициенты вариаций исследуемого содержания элементов в сравниваемых выборках и избыточное или вызывающее эффект токсичности содержание, установленное авторами [26, 30] для наземной растительности. В последнем столбце таблицы для сравнения дано содержание элементов в плодах, взятое из нескольких литературных источников и относящееся к разным видам яблони. Сравнение дисперсий по t-критерию и критерию Манна-Уитни показало, что различия между содержанием Mg, P, S, Cu, Zn, Rb, Sr и Ba в плодах яблони, собранных с природных и урбанизированных территорий, не случайны, а могут быть обусловлены специфическими особенностями и действием факторов урбанизированной среды. Для остальных элементов различия носят случайный характер. Сравнение средних показателей между собой (табл. 2) свидетельствует о значительном превышении содержания элементов от Na до Ca, а также Fe и Zn в плодах из урбанизированной местности. Содержание элементов Ti, Mn и Cu одного уровня, а Rb, Sr и Ba – выше в плодах сельской местности.

Таблица 2. Содержание элементов в плодах яблони ягодной, мкг/г воздушно-сухой массы

Элемент	Содержание элемента, мкг/г				Избыточное содержание	Литературные данные [11, 13, 14, 19]
	I (n=14)	V, %	II (n=8)	V, %		
Na	*44 (29; 62) 17–99	35	*67 (36; 85) 8–93	55	–	15–587
Mg	1385 (170) 1150–1640	12	1840 (300) 1470–2360	16	>15000	297–1976
Al	*56 (28; 153) 3–170	75	*115 (75; 164) 8–290	76	500*	3.2
Si	*217 (137; 424) 87–467	52	*359 (237; 470) 99–734	59	–	–
P	2189 (248) 1880–2760	11	2600 (400) 2060–3200	14	>10000	–
S	*950 (730; 1060) 660–1230	13	*1340 (1180; 1490) 990–1510	15	>30000	–
K	16171 (2092) 11950–19040	12	17824 (2520) 13090–21140	14	>60000	4995–9610
Ca	4199 (1030) 2750–6010	24	4775 (1173) 3220–7020	25	>50000	135–700
Ti	*5 (2; 6) 2–8	45	*5 (2; 7) 2–9	57	50–200	–
Mn	14 (2) 11–18	16	16 (3) 11–20	19	300–500	0.5–55.51
Fe	49 (29) 7–96	53	74 (29) 28–118	39	>500	9.3–172
Cr	< 2–2		< 2–2		5–30	0.045–3.93
Ni	< 1–2		< 1–2		10–100	0.19–10.25
Cu	5 (1) 3–7	19	6 (1) 4–8	21	20–100	0.8–51.46
Zn	9 (2) 5–13	25	12 (3) 9–18	27	100–400	0.2–35.7
Rb	*13 (8; 24) 5–41	52	*6 (2; 6) 5–8	30	–	–
Sr	*34 (29; 36) 18–42	21	*26 (24; 31) 21–44	26	–	–
Zr	< 1		< 1		7.5*	–
Pb	< 3		< 3		5–10*	0.09–1.63
Ba	23 (13) 4–35	55	8 (6) 3–19	77	>500	–

Примечание: почвы из мест естественного произрастания яблони (I) и городских территорий (II); «←» – значения отсутствуют; * – приведено ПДК для растений.

Содержание Cr, Ni, Zr и Pb в *Malus baccata* ниже пределов обнаружения этих элементов методикой РФА. Содержание элементов в яблоне в природных и урбанизированных условиях изменяется достаточно широко. Коэффициенты вариации в обоих случаях достигают 75–77%. В литературе имеется подтверждение значительных вариаций составов яблони разных видов [11, 13, 14, 19]. Это обусловлено, прежде всего, особенностями среды произрастания [31]. Транспортное загрязнение вызывает повышение уровней Fe и Zn в растениях, в то время как источниками остальных компонентов является пылевая составляющая и выбросы от строительной, цементной и других видов промышленности.

Из таблицы 2 следует, что содержание всех элементов в образцах плодов ниже токсичных уровней концентраций элементов для растений. Таким образом, с позиций элементного минерального состава, употребление плодов в пищу является безопасным. Кроме того, наличие в составе таких важных компонентов, как оксиды магния, фосфора, калия, кальция, серы, и микроэлементов Cr, Mn, Cu, Zn и Rb, подчеркивают важность плодов яблони ягодной для здорового питания. Сравнение с литературными данными (последний столбец таблицы) показало, что в литературе имеются данные для ограниченного числа элементов. В опубликованных работах интервалы содержания Na, Mn, Fe, Cr, Ni, Cu и Zn более широкие, чем получены в данном исследовании. Содержание Mg, K и Ca оказалось более высоким в плодах яблони ягодной, произрастающей в Бурятии. Возможно, причинами являются различия между исследуемыми сортами яблони и условиями произрастания. Данные для Si, P, S, Ti, Rb, Sr, Zr и Ba в просмотренных литературных источниках отсутствуют.

На рисунке 3 дано распределение некоторых элементов по органам растения (между листьями и плодами). Диаграмма представляет медианные значения в выборках для образцов яблони, собранных с территорий, удаленных от города. Для образцов из городской среды было получено аналогичное распределение с небольшими особенностями относительно Na и Zn, которые обсуждаются ниже. Планками обозначены верхний и нижний квартили.

Как видно, в плодах яблони природных территорий накапливаются натрий, фосфор, калий, медь и рубидий. В образцах городской среды преобладающими оказались эти же элементы, кроме натрия. Медианное содержание натрия в плодах и листьях, собранных на городских улицах, и межквартильные интервалы почти не отличались друг от друга. В листьях обеих территорий установлено значительно больше Mg, Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr и Ba. По сере, хрому, никелю, цирконию и свинцу различий не выявлено, поскольку содержание последних четырех элементов ниже предела обнаружения, а медианное содержание серы достаточно близко. Полученное распределение по органам яблони можно объяснить с позиций их биохимических функций в организме и физиологических потребностей растения. Калий – один из немногих элементов питания, который необходим плодовым растениям в большом количестве в любой период развития, особенно в период плодоношения. Он является электролитическим элементом [32] и активно участвует в углеводном и азотном обмене, в регулировании обеспеченности клеток водой [33]. Фосфор входит в состав протоплазмы и клеточного ядра, играет большую роль в иммунитете растений и сохранении материнских признаков у потомства. Он накапливается в семенах и служит резервом при прорастании [34]. Рубидий способен замещать K в процессах метаболизма [26], неудивительно, что он содержится в больших количествах в плодах. Медь влияет на устойчивость к заболеваниям, контролирует процессы образования ДНК и РНК, что влияет на репродуктивность растений [26].

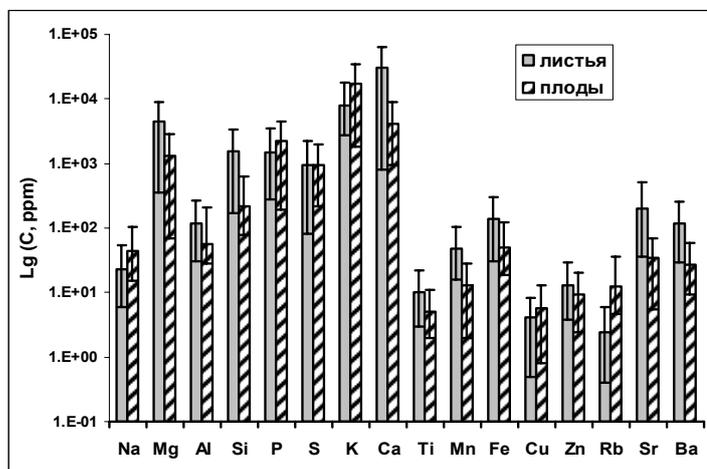


Рис 3. Распределение элементов между листьями и плодами яблони ягодной, собранной на природных участках

Поступление тяжелых металлов в генеративные органы ограничивается защитными механизмами растений. Определенный вывод в отношении Zn сделать трудно, так как в данной работе получено различное распределение этого металла между органами для образцов из сельской и городской местности. В яблоне природных территорий Zn больше оказалось в листьях, а в образцах с городских улиц – в плодах. Другими исследователями [26] также отмечались флуктуации цинка в разных органах растений в разные сроки вегетационного периода. Общеизвестно, что магний – обязательное составляющее звено хлорофилла листьев [35]. Кремний оказывает существенное влияние на рост и развитие растений, повышает урожайность и улучшает качество продукции. Этот элемент вместе со стронцием придает листьям механическую прочность, укрепляет стенки клеток, обеспечивая жесткость [26]. Кальция больше в листьях. Он способствует целостности клеточных мембран и водоудерживающей способности протоплазмы [5]. Алюминий повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды: засухе, резкому понижению температуры, засоленности почв [36]. Титан относится к числу наиболее распространенных в природе элементов, и в частности – в растительном мире. Титан – сильный восстановитель. Поэтому предполагают, что он играет определенную роль в фотосинтезе, а может быть, и в фиксации молекулярного азота [37]. Железо активно участвует в процессах обмена веществ, активизирует дыхание, влияет на образование хлорофилла в листьях [33, 37]. Марганец обнаруживается в больших количествах в листьях растений, в плодах его мало [26]. Марганец, как и железо, участвует в окислительно-восстановительных реакциях [32]. Барий относится к элементам, избирательно накапливающимся в отдельных органах: обычно в более значительных количествах он накапливается в листьях, меньше – в плодах [38].

Выводы

Впервые определено содержание эссенциальных и потенциально токсичных элементов Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba и Pb в почвах и образцах яблони ягодной *Malus baccata* (L.) Borkh., собранных в разных местах Республики Бурятия. Изучено распределение макро- и микроэлементов в вегетативных (листьях) и генеративных (плодах) органах растения. Сравнение макрокомпонентных составов почвенных образцов, отобранных с урбанизированных и природных территорий, показало, что в городской агломерации содержание SiO₂, P₂O₅, K₂O и CaO превышает показатели природных ландшафтов. На городских улицах в почвах содержание микроэлементов Cu, Zn, Rb, Ba и Pb выше, чем в почвах естественных территорий. Источниками поступления этих элементов могут служить городской транспорт и строительная отрасль.

Содержание элементов в яблоне в природных и урбанизированных условиях варьирует значительно (коэффициенты вариации достигают 77%). В плодах, собранных с улиц г. Улан-Удэ, концентрация элементов от Na до Ca и Fe, Zn выше, чем в плодах из мест, удаленных от города. Несмотря на это, содержание всех исследуемых элементов в образцах плодов ниже токсичных уровней концентрации элементов, установленных для наземных растений, что доказывает безопасность яблони в лечебных и пищевых целях. В плодах *Malus baccata* накапливаются эссенциальные P, S, K и Rb, а в листьях – Mg, Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr и Ba.

Список литературы

1. Савельев Н.И., Юшков А.Н., Акимов М.Ю. и др. Биохимический состав и антиоксидантная активность плодов яблони // Вестник МичГАУ. 2010. №2. С. 12–15.
2. Телятьев В.В. Полезные растения Восточной Сибири. Иркутск, 1985. 384 с.
3. Турова А.Д., Сапожникова Э.Н. О пользе яблок // Наука и жизнь. 1988. №8. С. 64–67.
4. Дудниченко Л.Г., Кривенко В.В. Плодовые и ягодные растения-целители. Киев, 1987. 112 с.
5. Петрова В.П. Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений. Киев, 1986. 286 с.
6. Kumar Ch., Singh S.K., Pramanick K.K. et al. Morphological and biochemical diversity among the *Malus* species including indigenous Himalayan wild apples // Scientia Horticulturae. 2018. Vol. 233. Pp. 204–219. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.01.037.
7. Su H., Ma H., Lyu D. Effects of calcium on mitochondrial function and antioxidant defense in roots of apple rootstock (*Malus baccata* Borkh.) under rapid changes in temperature // Research journal of biotechnology. 2016. Vol. 11. N3. Pp. 55–63.
8. Rudikovskii A.V., Dudareva L.V., Stolbikova A.V. et al. Effect of growth conditions on lipid and fatty acid composition of dwarf and tall forms of Siberian crabapple (*Malus baccata* L.) // Contemporary problems of ecology. 2013. Vol. 6. N4. Pp. 434–440. DOI: 10.1134/S1995425513040082.
9. Джураева Ф.К., Мурсалимова Г.Р., Мережко О.Е. Биохимический состав плодов яблони в качестве генетического источника для селекции на Южном Урале // Сборник научных работ «Плодоводство и ягодоводство России». М., 2014. Т. 40, ч. 2. С. 105–111.

10. Исаев Ю.А. Лечение микроэлементами, металлами и минералами. Киев, 1992. 118 с.
11. Alagic S.Č., Tošić S.B., Dimitrijević M.D., Petrović J.V., Medić D.V. Chemometric evaluation of trace metals in *Prunus persica* L. Batech and *Malus domestica* from Minicevo (Serbia) // Food Chemistry. 2017. Vol. 217. Pp. 568–575. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.006.
12. Begum H.A., Hamayun M., Zaman Kh et al. Heavy metal analysis in frequently consumable medicinal plants of Khyber Paktunkhwa, Pakistan // Pakistan journal of botany. 2017. Vol. 49. N3. Pp. 1155–1160.
13. Русанов А.М., Савин Е.З., Нигматянова С.Э., Нигматянов М.М., Грудинин Д.А., Степанова М.А. Содержание тяжелых металлов в плодах яблони в городских условиях // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. Т. 120. №1. С. 148–151.
14. Kalkisim O., Ozdes D., Okcu Z., Karabulut B., Senturk H.B. Determination of Pomological and Morphological Characteristics and Chemical Compositions of Local Apple Varieties Grown in Gumushane, Turkey // Erwerbs-Obstbau. 2016. Vol. 58. N1. Pp. 41–48. DOI: 10.1007/s10341-015-0256-4.
15. Опанасенко Н.Е. Химический состав листьев плодовых культур на скелетных почвах Крыма // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. Ялта, 2008. Т. 130. С. 153–163.
16. Babalar M., Sokri M.S., Lesani H., Asgari M.A., Barker A.V. Effects of Nitrate: Ammonium Ratios on Vegetative Growth and Mineral Element Composition in Leaves of Apple // Journal of Plant Nutrition. 2015. Vol. 38. N14. Pp. 2247–2258. DOI: 10.1080/01904167.2014.964365.
17. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Ветрова О.А. О возможности взаимного влияния компонентов некорневых подкормок на элементный состав плодов яблони // Научные труды Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства. Краснодар, 2015. Т. 8. С. 145–152.
18. Мотылева С.М. Полиэлементный состав плодов некоторых сортов яблони селекции ГНУ «ВНИИСПК» // Аграрный вестник Урала. 2010. Т. 75. №9. С. 66–70.
19. Pourimani R., Fathivand A., Meighani E. Determination of trace elements in the seeds of fruits using instrumental neutron activation analysis (INAA) in Arak, IR Iran // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2018. Vol. 315. N1. Pp. 89–93. DOI: 10.1007/s10967-017-5634-y.
20. Чупарина Е.В., Мартынов А.М. Применение неструктивного РФА для определения элементного состава лекарственных растений // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66. №4. С. 399–405.
21. Смагунова А.Н., Карпукова О.М. Методы математической статистики в аналитической химии: учебное пособие. Ростов-на-Дону, 2012. 346 с.
22. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для студентов вузов. М., 2007. 478 с.
23. Гиниятуллин К.Г. Статистическая обработка результатов научных исследований: краткий конспект лекций. Казань, 2014. 103 с.
24. Фалин Г.И., Фалин А.И. Квартили в описательной статистике // Математика. 2011. №15. С. 8–14.
25. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону, 2013. 388 с.
26. Кабата-Пендиас А., Кабата-Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
27. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород: учебное пособие. Пермь, 2009. 132 с.
28. Литвенкова И.А. Экология городской среды: урбоэкология: курс лекций. Витебск, 2005. 163 с.
29. Виноградова С.С. Буферная емкость почв как их способность к подщелачиванию // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 1. С. 102–109.
30. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск, 2001. 229 с.
31. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебное пособие для геогр., биол., геолог., с.-х. спец. вузов. М., 1998. 413 с.
32. Markert B. The biological system of the elements (BSE) for terrestrial plants (glycophytes) // The science of the total environment. 1994. Vol. 155. Pp. 221–228. DOI: 10.1016/0048-9697(94)90501-0.
33. Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. №3. С. 25–32.
34. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия. М., 1984. 304 с.
35. Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И., Макрушин Н.М. и др. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений: учебник для студентов высш. учеб. заведений. М., 2000. 640 с.
36. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. СПб., 2002. 244 с.
37. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л., 1974. 324 с.
38. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М. и др. Почему растения лечат. М., 1989. 256 с.

Поступила в редакцию 12 декабря 2018 г.

После переработки 19 марта 2019 г.

Принята к публикации 24 марта 2019 г.

Для цитирования: Чупарина Е.В., Баханова М.В., Ширапова С.Д. Характеристика элементных составов плодов яблони ягодной в условиях произрастания на почвах Республики Бурятия // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 185–195. DOI: 10.14258/jcrpm.2019031911.

Chuparina E.V.^{1*}, *Bakhanova M.V.*², *Shirapova S.D.*² SOME FEATURES OF THE ELEMENT COMPOSITIONS OF *MALUS BACCATA* FROM THE NATURAL AND URBANIZED PLACES OF BURYATIA REGION

¹ *Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, ul. Favorskogo, 1A, Irkutsk, 664033, (Russia), e-mail: lchup@igc.irk.ru*

² *Buryat State University, ul. Smolina, 24, Ulan-Ude, 670000 (Russia)*

The article presents the results of studying the composition of *Malus baccata* (L.) Borkh, collected in natural and anthropogenically modified environment of the Republic of Buryatia. We have analyzed the distribution of elements in different organs of *Malus baccata*. The content of elements Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Pb и Ba in soil and *Malus* samples was determined by the method of X-ray fluorescence (XRF). It was found that the content of oxides of the basic elements in alluvial and ferruginous soils is lower than in the soils of urbanized territories, except for MnO, TiO₂ and Fe₂O₃ oxides, which are characteristic for this type of soil. The greatest amount of Cu, Zn, Ba and Pb has been found in the soils collected from urban streets. The main reason is the urban transport. Fruits contain more essential elements P, K, Cu and Rb compared to leaves, while the leaves contain higher concentrations of potentially toxic Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr, and Ba. The content of elements in all samples of *Malus baccata* is significantly lower than toxic or excessive concentrations established for land plants.

Keywords: *Malus baccata* (L.) Borkh., fruits, soil, elemental composition, urbanized and natural areas.

References

1. Savel'yev N.I., Yushkov A.N., Akimov M.Yu. i dr. *Vestnik MichGAU*, 2010, no. 2, pp. 12–15. (in Russ.).
2. Telyat'yev V.V. *Poleznye rasteniya Vostochnoy Sibiri*. [Useful plants of Eastern Siberia]. Irkutsk, 1985, 384 p. (in Russ.).
3. Turova A.D., Sapozhnikova E. N. *Nauka i zhizn'*, 1988, no. 8, pp. 64–67. (in Russ.).
4. Dudnichenko L.G., Krivenko V.V. *Plodovyye i yagodnyye rasteniya-tseliteli*. [Fruit and berry healing plants]. Kiev, 1987, 112 p. (in Russ.).
5. Petrova V.P. *Biokhimiya dikorastushchikh plodovo-yagodnykh rasteniy*. [Biochemistry of wild fruit plants]. Kiev, 1986, 286 p. (in Russ.).
6. Kumar Ch., Singh S.K., Pramanick K.K. et al. *Scientia Horticulturae*, 2018, vol. 233, pp. 204–219. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.01.037.
7. Su H., Ma H., Lyu D. *Research journal of biotechnology*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 55–63.
8. Rudikovskii A.V., Dudareva L.V., Stolbikova A.V. et. al. *Contemporary problems of ecology*, 2013, vol. 6, no. 4, pp. 434–440. DOI: 10.1134/S1995425513040082.
9. Dzhurayeva F.K., Mursalimova G.R., Merezhko O.Ye. *Sbornik nauchnykh rabot «Plodovodstvo i yagovodstvo Rossii»*. [Collection of scientific papers “Fruit growing and berry growing in Russia”]. Moscow, 2014, vol. 40, part 2, pp. 105–111. (in Russ.).
10. Isayev Yu.A. *Lecheniye mikroelementami, metallami i mineralami*. [Treatment with trace elements, metals and minerals]. Kiev, 1992, 118 p. (in Russ.).
11. Alagic S.Č., Tošić S.B., Dimitrijević M.D., Petrović Je.V., Medić D.V. *Food Chemistry*, 2017, vol. 217, pp. 568–575. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.006.
12. Begum H.A., Hamayun M., Zaman Kh et al. *Pakistan journal of botany*, 2017, vol. 49, no. 3, pp. 1155–1160.
13. Rusanov A.M., Savin Ye.Z., Nigmatyanova S.E., Nigmatyanov M.M., Grudinina D.A., Stepanova M.A. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, vol. 120, no. 1, pp. 148–151. (in Russ.).
14. Kalkisim O., Ozdes D., Okcu Z., Karabulut B., Senturk H.B. *Erwerbs-Obstbau*, 2016, vol. 58, no. 1, pp. 41–48. DOI: 10.1007/s10341-015-0256-4.
15. Opanasenko N.Ye. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. [Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden]. Yalta, 2008, vol. 130, pp. 153–163. (in Russ.).
16. Babalar M., Sokri M.S., Lesani H., Asgari M.A., Barker A.V. *Journal of Plant Nutrition*, 2015, vol. 38, no. 14, pp. 2247–2258. DOI: 10.1080/01904167.2014.964365.
17. Leonicheva Ye.V., Royeva T.A., Leont'yeva L.L., Vetrova O.A. *Nauchnyye trudy Severo-Kavkazskogo zonal'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva i vinogradarstva*. [Scientific works of the North Caucasian Zonal Scientific Research Institute of Horticulture and Viticulture]. Krasnodar, 2015, vol. 8, pp. 145–152. (in Russ.).
18. Motyleva S.M. *Agrarnyy vestnik Urala*, 2010, vol. 75, no. 9, pp. 66–70. (in Russ.).
19. Pourimani R., Fathivand A., Meighani E. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2018, vol. 315, no. 1, pp. 89–93. DOI: 10.1007/s10967-017-5634-y.
20. Chuparina Ye.V., Martynov A.M. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2011, vol. 66, no. 4, pp. 399–405. (in Russ.).
21. Smagunova A.N., Karpukova O.M. *Metody matematicheskoy statistiki v analiticheskoy khimii: uchebnoye posobiye*. [Methods of mathematical statistics in analytical chemistry: a teaching aid]. Rostov-na-Donu, 2012, 346 p. (in Russ.).
22. Gmurman V.Ye. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnoye posobiye dlya studentov vuzov*. [Probability theory and mathematical statistics: a textbook for university students]. Moscow, 2007, 478 p. (in Russ.).
23. Giniyatullin K.G. *Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov nauchnykh issledovaniy. Kratkiy konspekt lektsiy*. [Statistical processing of research results. Short lecture notes]. Kazan', 2014, 103 p. (in Russ.).
24. Falin G.I., Falin A.I. *Matematika*, 2011, no. 15, pp. 8–14. (in Russ.).

* Corresponding author.

25. Alekseyenko V.A., Alekseyenko A.V. *Khimicheskiye elementy v geokhimicheskikh sistemakh. Klarki pochv selitebnykh landshaftov*. [Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soil in residential landscapes]. Rostov-na-Donu, 2013, 388 p. (in Russ.).
26. Kabata-Pendias A., Kabata-Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. [Microelements in soils and plants]. Moscow, 1989, 439 p. (in Russ.).
27. Samofalova I.A. *Khimicheskiy sostav pochv i pochvoobrazuyushchikh porod: uchebnoye posobiye*. [The chemical composition of soils and parent rocks: a training manual]. Perm', 2009, 132 p. (in Russ.).
28. Litvenkova I.A. *Ekologiya gorodskoy sredy: urboekologiya. Kurs lektsiy*. [Ecology of the urban environment: urban ecology. Lecture course]. Vitebsk, 2005, 163 p. (in Russ.).
29. Vinogradova S.S. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*. 2013, vol. 1, pp. 102–109. (in Russ.).
30. Il'in V.B., Syso A.I. *Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti*. [Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region]. Novosibirsk, 2001, 229 p. (in Russ.).
31. Dobrovolskiy V.V. *Osnovy biogeokhimii. Uchebnoye posobiye dlya geogr., biol., geolog., s.-kh. spets. vuzov*. [Fundamentals of biogeochemistry. Textbook for geogr., Biol., Geologist., S.-kh. specialist. universities]. Moscow, 1998, 413 p. (in Russ.).
32. Markert B. *The science of the total environment*, 1994, vol. 155, pp. 221–228. DOI: 10.1016/0048-9697(94)90501-0.
33. Protasova N.A., Belyayev A.B. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 2001, vol. 7, no. 3, pp. 25–32. (in Russ.).
34. Smirnov P.M., Muravin E.A. *Agrokimiya*. [Agrochemistry]. Moscow, 1984, 304 p. (in Russ.).
35. Tretyakov N.N., Koshkin Ye.I., Makrushin N.M. i dr. *Fiziologiya i biokimiya sel'skokhozyaystvennykh rasteniy. Uchebnik dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy*. [Physiology and biochemistry of agricultural plants. Textbook for students of higher. textbook. institutions]. Moscow, 2000, 640 p. (in Russ.).
36. Chirkova T.V. *Fiziologicheskiye osnovy ustoychivosti rasteniy*. [Physiological basis of plant resistance]. St. Petersburg, 2002, 244 p. (in Russ.).
37. Shkol'nik M.Ya. *Mikroelementy v zhizni rasteniy*. [Trace elements in plant life]. Leningrad, 1974, 324 p. (in Russ.).
38. Lovkova M.Ya., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M. i dr. *Pochemu rasteniya lechat*. [Why plants are treated]. Moscow, 1989, 256 p. (in Russ.).

Received December 12, 2018

Revised March 19, 2019

Accepted March 24, 2019

For citing: Chuparina E.V., Bakhanova M.V., Shirapova S.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 185–195. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019031911.

