УДК 634.743:543.42

Т.В. Астракова, Н.В. Хитова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЯГОДАХ ОБЛЕПИХИ

Изучено содержание микроэлементов *Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, Cr* и других в ягодах облепихи, произрастающей на территории бывшего плодопитомника г. Кемерово и на рекультивированных землях угольных разрезов Кузнецкого бассейна «Байдаевский» и «Моховский» Беловского района. Определение проводилось методом атомно-эмиссионной спектрометрии с возбуждением спектров в дуге переменного тока (АЭС ДР) на спектрометре *PGS*-2 (*Carl Zeiss Jena*, Германия). В результате исследования было установлено, согласно нормам СанПиНа, значительное превышение по свинцу (в 3–8 раз выше допустимого уровня). Обнаружено повышенное содержание в ягодах облепихи и других микроэлементов, а именно: железа, марганца, и для некоторых образцов – хрома, бария и кобальта. Сделан вывод о необходимости экологического мониторинга растительной продукции с техногеннозагрязненных и урбанизированных территорий.

Ионы тяжелых металлов, облепиха, атомно-эмиссионная спектрометрия, рекультивированные территории.

Введение

Многие ионы тяжелых металлов (ТМ) (*Fe, Cu, Zn, Mo, Cr* и др.), являясь микроэлементами, входят в состав ферментов, гормонов, витаминов, биологически активных веществ в качестве комплексообразователей или активаторов, выполняя важные биологические функции в объектах живой природы. Однако в концентрациях, превышающих необходимое содержание, ионы ТМ проявляют сильные токсические свойства. Механизмы природного самоочищения, действующие по отношению к веществам органической природы, зачастую неэффективны для удаления избытка ионов тяжелых металлов. Загрязнение растительных продуктов питания ТМ может происходить при выращивании сельскохозяйственных культур на полях, расположенных вблизи промышленных предприятий, шахт, разрезов, а также в непосредственной близости от крупных городов. Попадая по пищевой цепи в организм человека, ионы ТМ способны вызывать нарушения баланса элементов и быть причиной патологических изменений.

Основной задачей исследования было определение содержания ионов тяжелых металлов в ягодах разных сортов облепихи с целью оценки уровня безопасности по основным регламентируемым ТМ-токсикантам. Плоды облепихи были собраны на территориях отработанных земельных участков угольных разрезов, подвергнутых рекультивации, а также на территории бывшего плодопитомника областного центра Кузбасса. Нас интересовал вопрос: происходит ли накопление токсичных ионов тяжелых металлов в ягодах облепихи, если растения произрастают на почвах рекультивированных угольных разрезов или на территориях, прилегающих к крупным промышленным центрам?

По данным источника [1], эксплуатация названных разрезов была завершена еще в конце 60-х годов XX века. В 1970 г. впервые в Кузбассе на территории бывших разрезов, на землях, нарушенных открытыми горными работами, была проведена лесная рекультивация. Особенностью вновь созданных посадок являлось отсутствие внесения какого-либо плодородного субстрата. Одной из основных культур, использованных для высаживания на отвалах вскрышных горных пород, была облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides*), способная произрастать на специфических субстратах породных отвалов. Это растение часто выступает пионером зарастания техногенных постпромышленных территорий. Корни облепихи закрепляют поверхность угольных отвалов, улучшая экологическую обстановку. Благодаря птицам, облепиха быстро распространяется на новые территории, появляясь даже на значительном удалении от участков искусственных посадок, в результате – площадь зарастания быстро увеличивается. За все время в Кузбассе на породных отвалах создано около 3 тыс. га насаждений облепихи [2]. Ареал распространения этой культуры стал вполне сопоставим с облепишниками в регионах её естественного произрастания. Облепиха является поливитаминным пищевым продуктом, она обильно плодоносит, её плоды употребляют в пищу в свежем и консервированном виде. Из ягод готовят облепиховый сок, мармелад, варенье, начинки для конфет, кисели, желе, плоды облепихи используют для приготовления вина, настоек, наливок, прохладительных напитков, повсеместно применяют для получения ценного лекарственного продукта – облепихового масла.

Объект и методы исследования

Для исследования были собраны плоды облепихи разных сортов: «Дар Катуни», «Масличная», «Витаминная», «Новость Алтая», «Золотой початок». Отбор и подготовка проб осуществлялись по стандартной методике [3] на участках бывших разрезов «Байдаевский» и «Моховский», расположенных в Беловском районе Кемеровской области, а также на территории бывшего плодопитомника

г. Кемерово. Ягоды были собраны в период созревания в первой половине сентября 2010 г. По каждому сорту и месту произрастания готовились усредненные пробы образцов. Точную навеску ягод высушивали до постоянной массы при температуре 105 °С. По данным гравиметрического анализа определяли массу сухого остатка и содержание влаги (%, масс.) в образцах облепихи (табл. 1).

Таблица 1

Массовая доля влаги в плодах облепихи, %

Сорт облепихи	Плодопитомник, г. Кемерово	Разрез «Байдаевский», г. Белово	Разрез «Моховский, г. Белово
«Дар Катуни»	87,6	89,3	89,2
«Масличная»	86,9	83,3	85,5
«Витаминная»	87,9	87,7	87,3
«Новость Алтая»	–	88,0	86,6
«Золотой початок»	–	85,2	86,4

Определение элементов *Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, As, Ag, V, Fe, Cr, Mn, Ba, Co* в ягодах облепихи проводилось с применением атомно-эмиссионной спектрометрии с возбуждением спектров в дуге переменного тока [4]. В работе использовали дифракционный атомно-эмиссионный спектрометр *PGS*-2 (*Carl Zeiss Jena*, Германия) с регистрацией спектров при помощи фотодиодной линейки (НПО «Оптоэлектроника»). Пробы предварительно прокаливали до постоянного веса при температуре 500 °С. Среднее содержание ТМ определяли в сухих ягодах по результатам трех определений и пересчитывали на сырой исходный продукт с учетом данных гравиметрического анализа, приведенных в табл. 1. Погрешность определения элементов составляла ±5 %. Данные исследования представлены в диаграммах на рис. 1–3 и в табл. 2.

Содержание ТМ в исследуемых образцах сравнивалось с нормами по содержанию химических веществ в пищевых продуктах, согласно СанПиН 2.3.2.2871-11 и СанПиН 2.3.2.1078-01, а также ТР ТС 021/2011.

Результаты и их обсуждение

Миграция токсических элементов из почв в растительные объекты процесс многофакторный и неоднозначный. Так, в работах [5, 6] были выявлены некоторые закономерности накопления токсичных ТМ в растениях, произрастающих на урбанизированных территориях. Отмечено, что *медь, цинк, свинец* являются приоритетными загрязняющими веществами почв, уровень аккумуляции, подвижность, неравномерность распределения которых зависит от функционального использования территории. Содержание этих элементов в почвах и растениях зависит от количества органического углерода в почве, наличия подвижных форм фосфатных соединений. Значительное влияние на миграцию элементов оказывает кислотность почв и другие факторы.

В настоящее время территории бывших угольных разрезов «Байдаевский» и «Моховский» состоят из смеси вскрышных пород и дерново-подзолистых почв и не содержат специфически вредных веществ, которые могли бы вымываться или выноситься из данного субстрата. Кроме того, остатки угля в верхних слоях почвы, окисляясь под действием кислорода воздуха и микроорганизмов, образуют гумусовые соединения (органический углерод), которые способствуют связыванию ионов ТМ в неподвижные формы [6]. Однако бывшие угольные разрезы практически прилегают к территории города – районного промышленного центра и находятся в зоне техногенного загрязнения завода по производству цинка.

Рис. 1. Содержание ионов меди (II) в плодах облепихи (ПДК (Cu(II) = 5 мг/кг)

Рис. 2. Содержание ионов цинка (II) в плодах облепихи (ПДК (Zn(II) = 10 мг/кг)

Данные, представленные на диаграммах (рис. 1, 2), показывают, что содержание меди и цинка во всех исследованных образцах облепихи не превышает ПДК по этим элементам в сырой ягоде. При этом следует отметить, что по содержанию меди максимальные значения превосходят минимальные более чем в 3 раза, тогда как по содержанию цинка интервал разброса значений составляет примерно 50 % независимо от места отбора проб. Среднее содержание меди в образцах ягод, собранных на разных территориях, практически одинаково, хотя есть различия в зависимости от сорта. Так, в плодопитомнике – 2,5 мг/кг, на разрезе «Байдаевский» – 2,6 мг/кг, разрезе «Моховский» – 2,6 мг/кг.

Среднее содержание цинка в образцах ягод, собранных в плодопитомнике – 7,1 мг/кг; на территориях разреза «Байдаевский» – 7,5 мг/кг и разреза «Моховский» – 6,9 мг/кг. Приведенные данные также свидетельствуют о достаточно близких значениях по содержанию цинка (в пределах погрешности), но

вызывает некоторую обеспокоенность общая близость значений к границе ПДК.

Рис. 3. Содержание ионов свинца (II) в плодах облепихи (ПДК (Pb(II) = 0,04 мг/кг)

По содержанию свинца (рис. 3) практически во всех образцах отмечено превышение ПДК в 3–8 раз. Среднее содержание свинца в ягодах из плодопитомника – 1,7 мг/кг; с территорий разреза «Байдаевский» – 1,9 мг/кг, разреза «Моховский» – 2,3 мг/кг, что составляет примерно от 4 до 6 ПДК. Следует отметить более высокое содержание свинца в ягодах облепихи, произрастающей в зонах рекультивированных земель, что является показателем более высокой техногенной нагрузки данных территорий.

Повышенное содержание свинца в плодах облепихи, очевидно, обусловлено антропогенными факторами, одним из которых является использование этилированного автомобильного топлива. Соединения свинца способны накапливаться в почве и поступать из почвы в растения [5, 7, 8], кроме того, летучие соединения свинца с потоками воздушных масс могут перемещаться далеко от источников выбросов. Это приводит к общему загрязнению свинцом среды обитания.

По результатам данного исследования невозможно сказать однозначно, что именно привело к повышению содержания свинца в плодах облепихи: повышенное содержание соединений свинца в почвах, в воздухе или аккумулирующая способность облепихи по отношению к этому элементу? Какая часть ягоды содержит наибольшее количество свинца: кожица, мякоть или косточка? Все эти вопросы требуют дальнейших исследований и уточнений.

Сравнение значений по содержанию меди, цинка и свинца в ягодах облепихи в зависимости от сорта показывает, что в целом плоды сортов «Новость Алтая» и «Золотой початок» характеризуются более низким содержанием данных элементов, тогда как плоды сортов «Дар Катуни» и «Масличная» – более высоким.

Кроме меди, цинка и свинца исследовалось содержание и других микроэлементов в плодах облепихи. Содержание ртути, мышьяка и кадмия оказались на уровне следовых количеств во всех образцах ягод, что составило примерно 0,01 ПДК ртути; 0,01 ПДК мышьяка (ПДК(*Hg*) = ПДК(*As*) = 0,01мг/кг) и 0,001 ПДК кадмия (ПДК(*Cd*) = 0,001мг/кг). Серебро и ванадий в ягодах облепихи данным методом обнаружены не были.

Содержание элементов железа, хрома, марганца, бария, кобальта в ягодах облепихи представлено в табл. 2.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в плодах облепихи, мг/кг

Сорт облепихи	Почвы	*Fe*	*Cr*	*Mn*	*Ba*	*Co*
«Дар Катуни»	Плодо питомник	124	0	124	12	0,1
«Масличная»		92	0	92	13	0,1
«Витаминная»		121	0	85	0	0
Среднее значение		***112***	***0***	***100***	***8***	***0,1***
«Дар Катуни»	Разрез «Байдаевский»	320	1,1	74	11	0,1
«Масличная»		500	3,3	117	17	0,2
«Витаминная»		123	0,62	86	0	0
«Новость Алтая»		120	0	84	0	0,1
«Золотой початок»		148	0	74	0	0,2
Среднее значение		***242***	***0,2***	***87***	***6***	***0,1***
«Дар Катуни»	Разрез «Моховский»	324	5,4	108	32	0,1
«Масличная»		145	0	72	0	0
«Витаминная»		123	0,62	86	0	0
«Новость Алтая»		134	1,3	40	0	0,1
«Золотой початок»		95	0,41	68	14	0,1
Среднее значение		***164***	***1,5***	***75***	***9***	***0,1***

На основании приведенных в табл. 2 данных можно сделать вывод, что в среднем в ягодах облепихи, выросшей на рекультивированных землях, содержание ионов железа выше, чем в образцах ягод из плодопитомника, что может быть обусловлено более высоким содержанием железа в почвах бывших угольных разрезов. Образцы ягод с рекультивированных земель содержат также повышенные концентрации ионов хрома. Практически все исследованные образцы плодов облепихи содержат повышенные концентрации ионов марганца независимо от места произрастания. Для ряда образцов повышено также содержание токсичных микроэлементов бария и кобальта.

Таким образом, в целом ягоды облепихи, собранные с территорий бывших угольных разрезов, содержат больше ионов железа, хрома и свинца, однако высокими показателями содержания железа, марганца, бария, кобальта, меди, цинка и свинца характеризуются и плоды облепихи, собранные на территории бывшего плодопитомника г. Кемерово. Меньшее содержание микроэлементов характерно для сортов «Новость Алтая» и «Золотой початок», большее – для сортов «Дар Катуни» и «Масличная».

Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод, что плоды облепихи не только поливитаминный, но и полимикроэлементный продукт, содержащий различные микроэлементы в значительном избытке. К сожалению, их перечень включает такие высокотоксичные элементы, как свинец и др. Вероятно, потребность в полезных микроэлементах можно регулировать нормой потребления ягод облепихи, тогда как содержание свинца необходимо минимизировать, используя доступные методы и средства. Так, например, при промывании поверхности плодов проточной водой, по данным источника [9], общее содержание ионов свинца в них может снижаться более чем на 50 %.

В настоящее время существуют высокотехнологичные экспресс-методы определения содержания различных микроэлементов в растительном сырье и продуктах питания, но практически нет публикаций, в которых бы рассматривались вопросы взаимного влияния природных соединений исследуемых микроэлементов: усиливается или, наоборот, ослабляется их токсическое воздействие при совместном присутствии в биологической системе, которую невозможно воссоздать, используя модельные установки и неорганические компоненты.

Несомненно, экологический фактор существенно влияет на элементный состав растений и их плодов. Данные, полученные в настоящем исследовании, свидетельствуют о необходимости экологического мониторинга содержания ТМ в растительных пищевых продуктах и в продуктах, полученных на основе переработки растительного сырья, особенно в тех случаях, когда для их выращивания используются территории, подверженные техногенным воздействиям или находящиеся в непосредственной близости от промышленных центров.

Список литературы

1. Фатеева, В. Рукотворный памятник природы / В. Фатеева // Уголь Кузбасса: электронный научно-практический журнал. – 2012. – № 2. – Режим доступа: http://www.uk42.ru/index.php?id=4.

2. Николайченко, И.В. Естественное лесовозобновление на отвалах угольных разрезов / И.В. Николайченко // Экобюллетень ИНЭкА. – 2004. – № 5(100). – Режим доступа: http://ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0100&pg=005.

3. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 16 с.

4. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-адсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 13 с.

5. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю.В. Алексеев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с.

6. Дабахов, М.В. Аккумуляция биогенных элементов в почвах урбанизированных ландшафтов / М.В. Дабахов, В.И. Титова //Агрохимия. – 2004. – № 2. – С. 74–79.

7. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 150 с.

8. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение / под ред. М.М. Овчаренко. – М., 1997. – 290 с.

9. Донченко, Я.В. Безопасность пищевой продукции / Я.В. Донченко, В.Д. Надыкта. – М.: Пищепромиздат, 2001. – 528 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел/факс: (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

T.V. Astrakova, N.V. Khitova

DETERMINATION OF THE HEAVY METAL IONS IN SEA-BUCKTHORN BERRIES

The work included the microelement-content analysis of the sea-buckthorn berries from the former fruit tree nursery of Kemerovo and the remediated soils of the «Baydaevsky» and the «Mokhovsky» opencast coal mines (Kuzbass, Belovsky district). Microelements, studied for content, included Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, Cr and a number of others. The determination was carried out by a method of atomic emission spectrometry with spectrum excitation in the alternating-current arc. The experiment was conducted on the PGS-2 spectrometer (Carl Zeiss Jena, Germany). The results yielded a significant lead surplus. From 3- to 8-fold lead exceedance against 2 the Sanitary Regulations and Norms was detected. The sea-buckthorn berries also proved to have high concentration of iron, manganese, and for some samples, of chrome, barium and cobalt. The conclusion implies the necessity of ecological monitoring of the vegetation products from the industrial and urban sites in consideration.

Heavy metal ions, sea-buckthorn, atomic emission spectrometry, remediated soils.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology,
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7 (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

Дата поступления: 16.12.2013