

УДК 57.084.2:577.118:546.06

Элементный состав и интенсивность накопления химических элементов плодами облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.)

Г. М. СКУРИДИН¹, О. В. ЧАНКИНА², А. А. ЛЕГКОДЫМОВ³, Н. В. БАГИНСКАЯ¹, В. К. КРЕЙМЕР¹, К. П. КУЦЕНОГИЙ²

¹Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН,
проспект Лаврентьева, 10, Новосибирск 630090 (Россия)

E-mail: skuridin@bionet.nsc.ru

²Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения РАН,
ул. Институтская, 3, Новосибирск 630090 (Россия)

³Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского отделения РАН,
проспект Лаврентьева, 11, Новосибирск 630090 (Россия)

(Поступила 18.03.13; после доработки 04.09.13)

Аннотация

Исследован элементный состав зрелых плодов сибирской облепихи (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi), произрастающей в эндемичных условиях Западной Сибири. Методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения определено количественное содержание K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb в плодах облепихи и в почве, а также коэффициенты биологического поглощения этих элементов. Установлено, что плоды облепихи в повышенных количествах относительно усредненной земной фитомассы аккумулируют титан, ниобий, хром и цирконий, а в пониженных – марганец, кобальт, ванадий, кальций, свинец, стронций, медь, рубидий, скандий и цинк. Установлено, что плоды облепихи не концентрируют такие токсичные химические элементы, как свинец и мышьяк.

Ключевые слова: элементный состав, синхротронное излучение, плоды облепихи

ВВЕДЕНИЕ

В плодах облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) обнаружен богатый комплекс органических соединений, обладающих биологической активностью [1]. Высокая лечебно-профилактическая эффективность препаратов из облепихи связана с синергизмом их гидрофильных и липофильных компонентов [2]. При этом биологическая активность многих компонентов (ферментов, витаминов, гормонов, пигментов и др.) обусловлена минеральными макро- и микроэлементами, входящими в их состав [3, 4]. Так, например, комплексные соединения микроэле-

ментов с полифенолами облепихи влияют на устойчивость организма к вирусным и бактериальным инфекциям [5].

В этой связи представляется актуальным исследовать, наряду с органической, и минеральную составляющую комплекса активных соединений облепихи. При этом предпочтителен метод, который позволяет в одной пробе материала одновременно определять количественное содержание всех элементов.

Метод рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ) отвечает таким требованиям: с его помощью можно количественно определять содержание элементов от калия до урана в

широком диапазоне концентраций, независимо от их соотношения в пробе. Благодаря высокой интенсивности синхротронного излучения, можно проводить элементный анализ образцов массой от 1 мг с чувствительностью обнаружения 10^{-7} г/г и воспроизводимостью 5–20 % [6, 7]. Это особенно ценно при исследовании облепихи с высокой экологической и наследственной изменчивостью химического состава [1, 8].

Качественный анализ плодов облепихи выявил наличие в них серы, кремния, магния, кальция, железа, марганца, молибдена, титана, бора, алюминия, ванадия, меди, цинка, свинца, никеля и кобальта [9–11]. В то же время количественный минеральный состав плодов сибирской облепихи (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica*) изучен фрагментарно и без учета локальных особенностей концентрирования элементов в почве.

В работе [12] определено содержание калия и магния в плодах сибирской облепихи, интродуцированной в средней полосе России. Авторы [11] сообщают о содержании меди, цинка, марганца и кобальта в плодах дикорастущей облепихи Восточной Сибири. Имеются также некоторые сведения по минеральному составу плодов дикорастущих китайских (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis*) [13, 14] и индийских (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *turkestanica*) [15] разновидностей облепихи. Однако детальных исследований минерального состава плодов сибирских форм *H. rhamnoides* в эндемичных почвенно-климатических условиях юга Западной Сибири до сих пор не проводилось.

Нет данных и о степени накопления отдельных элементов плодами облепихи, хотя эта информация особенно важна при использовании облепихи, культивируемой на рудных отвалах с повышенным содержанием тяжелых металлов [16]. Кроме того, неизвестно, в какой мере плоды сибирской облепихи способны удовлетворить потребности человеческого организма в жизненно необходимых минеральных элементах.

Цель данного исследования – количественное определение минерального состава плодов сибирской облепихи и выявление закономерностей накопления элементов в связи с их содержанием в почве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследованы плоды облепихи четырех сортов селекции ИЦиГ СО РАН, созданных на основе генофонда алтайских популяций: Зарница, Зырянка, Красный факел и Сибирский румянец [17]. С трех растений каждого сорта, произрастающих на общей делянке, отбирали средние пробы плодов в фазе полной зрелости (22 сентября 2010 г.). Цельные плоды обезвоживали в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы и измельчали на мельнице пропеллерного типа ($10\,000\text{ мин}^{-1}$) в течение 30 с. Далее пробы просеивали через капроновое сито с размером ячеек 0.5×0.5 мм, а отсев использовался для определения элементного состава.

В необходимых случаях сравнение полученных результатов с литературными данными проводилось с перерасчетом на сухое вещество плодов.

Одновременно с плодами отбирали пробы почвы массой 300–500 г непосредственно из-под исследуемых растений с глубины наибольшей плотности ризосферы (10–15 см ниже слоя органической подстилки, почвенный горизонт А1–А2). Тип почвы – серая лесная, рН 5.5. Почву обезвоживали при 105 °С до постоянной массы. Во избежание абразивного заноса элементов с металлического ножа мельницы пробы почвы без дополнительного измельчения просеивали через капроновое сито с размером ячеек 0.5×0.5 мм. Отсев использовали для анализа.

Элементный состав плодов и почвы определялся методом РФА-СИ. Измерения проводили на станции элементного анализа в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Новосибирск) на накопителе электронов ВЭПП-3 по методике, описанной в работе [7].

Из гомогенной массы подготовленного к анализу образца в специально сконструированной пресс-форме формировали таблетку массой 30 мг и диаметром 1.0 см. Образец в виде таблетки упаковывался во фторопластовые кольца между двумя химически чистыми пленками толщиной 5 мкм. При облучении образца синхротронным излучением возникает характеристическое флуоресцентное

излучение, которое разлагается в спектр. Время измерения спектра составляет около 300 с.

Концентрации элементов определяли методом внешнего стандарта. В качестве внешних стандартов, как наиболее близких по составу к определяемым образцам, использованы российские стандарты: злаковой травосмеси СОРМ1 ГСО 8242–2003 для растительных тканей и БИЛ-1 ГСО 7126–94 для почвенных образцов.

Исследовали количественное содержание 22 химических элементов: К, Са, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Со, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Мо, Pb.

Интенсивность поглощения живым организмом отдельного химического элемента X определяется коэффициентом его биологического поглощения $КБП_X$ [18] как соотношение концентраций: $КБП_X = C_X/C_{X/п}$, где C_X – концентрация элемента в веществе исследуемого объекта; $C_{X/п}$ – концентрация элемента X в почве.

Потребности человеческого организма в микроэлементах указаны в соответствии с методическими рекомендациями по официальным нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа элементного состава почвы экспериментального участка ИЦиГ СО РАН

и плодов облепихи представлены в табл. 1–3. Видно, что серая лесная почва экспериментального участка ИЦиГ СО РАН очень близка по элементному составу к средней земной почве [20, 21], поэтому сравнение полученных нами данных с концентрацией элементов в средней земной почве и наземной фитомассе [21] вполне корректно.

Кларки элементов в литосфере различаются в миллионы раз, поэтому для удобства элементы по этому показателю разделены на три группы: группу А составляют элементы с концентрацией в земной почве более 100 мкг/г сухого вещества почвы; группу В – с концентрацией от 10 до 100 мкг/г; группу С – элементы с концентрацией менее 10 мкг/г.

Элементы группы А

Железо содержится в плодах в относительно высокой концентрации (более 75 мкг/г), что обусловлено значительной ролью этого элемента в осуществлении основных функций растительных организмов [3]. Несмотря на низкий коэффициент поглощения из почвы (0.35 %), в растениях облепихи, по-видимому, поддерживается необходимый уровень концентрации железа в различных тканях, включая плодовую мякоть. Об этом свидетельствуют и близкие значения $КБП_{Fe}$ для плодов облепихи и для средней фитомассы (см. табл. 1). Аналогичная концентрация железа (69 мкг/г) обнаружена в плодах *H. rh. sinensis*

ТАБЛИЦА 1

Абсолютная концентрация и коэффициент биологического поглощения (КБП) элементов группы А в почве и плодах облепихи

Элементы	Земная почва, мкг/г*	Почва ИЦиГ, мкг/г	КБП _ф , %	Плоды		
				Содержание, мкг/г	КБП, %	СП**, %
Fe	40 000	23525±938	0.35	75.8±15.3	0.33±0.08	5
К	14 000	15462±907	100	13 780±935	89.0±6.2	6
Са	15 000	13033±946	120	1216±106	9.7±1.7	2
Ti	5000	4623±276	0.02	48±1.9	0.11±0.05	н. о.
Mn	1000	772±30	63	17.25±1.11	2.20±0.12	9
Zr	400	348±88	0.2	0.90±0.25	0.33±0.10	н. о.
Sr	250	171±5	10	3.48±0.43	2.06±0.29	н. о.

Примечание. Н. о. – потребность не определена.

* По Bowen, 1966.

** Суточная потребность (СП) человека, покрываемая 100 г свежих плодов.

ТАБЛИЦА 2

Абсолютная концентрация и коэффициент биологического поглощения (КБП) элементов группы В в почве и плодах облепихи

Элементы	Земная почва, мкг/г*	Почва ИЦиГ, мкг/г	КБП _ф , %	Плоды		
				Содержание, мкг/г	КБП, %	СП**, %
Zn	90	45.5±0.9	111	18.8±1.9	41.5±4.9	2
V	90	87.3±9.4	1.8	0.09±0.02	0.11±0.02	11
Cr	70	65.5±6.9	0.3	1.0±0.8	1.35±1.00	20
Ni	50	42.5±2.4	6.0	1.5±0.09	3.62±0.29	н. о.
Rb	35	60.0±3.3	57	10.8±0.3	18.1±1.1	н. о.
Cu	30	20.0±1.1	47	2.8±0.15	14.0±1.6	3
Y	30	23.3±1.2	—	0.39±0.04	1.71±0.28	н. о.
Pb	12	11.3±0.1	23	0.25±0.09	2.13±0.78	н. о.
Nb	10	11.0±1.3	0.2	0.11±0.02	1.00±0.01	н. о.

Примечание. Н. о. — потребность не определена.

* По Bowen, 1966.

** Суточная потребность (СП) человека, покрываемая 100 г свежих плодов.

[13]. Как известно, интенсивность поглощения этого элемента из почвы зависит от ее кислотности [3], поэтому высокое содержание железа в плодах гималайских форм *H. rh. turkestanica* (427–800 мкг/г) и *H. rh. salicifolia* (441 мкг/г) [15], возможно, обусловлено повышенной кислотностью почв горных долин (2600–3200 м). Для точного ответа необходимы дополнительные исследования. 100 г свежих плодов облепихи удовлетворяют суточную потребность человека в железе на 5 %.

Кальций аккумулируется плодами сибирской облепихи довольно слабо: КБП_{Са} для плодов облепихи менее 10 % (при 120 % для фитомассы). При этом концентрация элемента в плодах сибирской и китайской разновидностей облепихи идентична (около 1200 мкг/г) [13], тогда как в плодах гималайских разновидностей *H. rh. turkestanica* и *H. rh. salicifolia* этот показатель существенно выше и составляет 2310–2550 и 2700 мкг/г соответственно [15]. 100 г свежих плодов об-

ТАБЛИЦА 3

Абсолютная концентрация и коэффициент биологического поглощения (КБП) элементов группы С в плодах облепихи

Элементы	Земная почва, мкг/г*	Почва ИЦиГ, мкг/г	КБП _ф , %	Плоды		
				Содержание, мкг/г	КБП, %	СП**, %
Br	10	4.38±0.61	150	6.85±1.30	164±35	н. о.
Co	8.0	9.75±0.25	6.3	0.031±0.027 ^a	0.31±0.21	1
Sc	7.0	4.75±1.65	0.11	0.003***	0.04	н. о.
As	6.0	6.28±0.46	3.3	0.13***	2.1	н. о.
Mo	1.2	0.56±0.13	75	0.25±0.02	52.0±11.1	4
Se	0.4	1.53±0.62	50	0.20±0.03	29.8±17.5	3

Примечание. Н. о. — потребность не определена.

* По Bowen, 1966.

** Суточная потребность (СП) человека, покрываемая 100 г свежих плодов.

*** Концентрация элемента на пределе обнаружения.

лепихи удовлетворяют суточную потребность человека в кальции на 2 %.

Калий из почвенного раствора легко проникает во все ткани, включая плоды облепихи, и его концентрации в облепихе и в почве практически одинаковы. Кроме того, сопоставимы между собой и концентрации этого элемента в плодах сибирской облепихи, растущей в условиях Сибири, в условиях ее интродукции в средней полосе России (12 000–14 000 мкг/г) [12] и в плодах гималайской *H. rh. salicifolia* (около 12 000 мкг/г) [15]. Иное содержание калия установлено в соке плодов других разновидностей – *H. rh. sinensis* (до 20 000 мкг/г) [13] и *H. rh. turkestanica* (9000–10 000 мкг/г) [15], что можно объяснить различиями в его почвенной концентрации. Как известно, калий – один из самых подвижных элементов биосферы, который в виде свободных ионов беспрепятственно проникает во все растительные ткани [21]. По этой причине КБП_К для плодов и земной фитомассы тоже практически одинаковы. Суточная потребность человека в калии удовлетворяется 100 г свежих плодов на 6 %.

Титан. Несмотря на довольно высокое его содержание в почвах (4600 мкг/г), концентрация элемента в растениях весьма незначительна. Тем не менее, интенсивность его аккумуляции плодами облепихи в шесть раз превышает интенсивность его аккумуляции фитомассой. Биологическая роль и потребность человека в титане еще не установлены.

Марганец. Несмотря на близость к железу по многим химическим свойствам [22], этот элемент поглощается наземной фитомассой гораздо интенсивнее железа (63 и 0.35 % соответственно). Однако поступление марганца в плоды облепихи весьма слабое: для плодов КБП_{Мn} = 2.2 %. Определенная нами концентрация марганца в плодах облепихи сибирской *H. rh. mongolica* (17.3 мкг/г) сопоставима с данными работ [11] (13.8 мкг/г) и [13, 14] (12.7–16.7 мкг/г для китайской *H. rh. sinensis*). Суточная потребность человека в марганце удовлетворяется 100 г свежих плодов на 9 %.

Цирконий в плодах облепихи содержится в концентрации 0.9 мкг/г. Несмотря на столь низкое абсолютное содержание, биологическое поглощение этого элемента плодами облепихи в 1.5 раза превышает аналогичный по-

казатель для средней фитомассы, что свидетельствует о повышенном накоплении элемента облепихой. Иных сведений о содержании циркония в облепихе нет, а его биологическая роль не выявлена.

Стронций по химическим свойствам очень близок к кальцию, однако его биологическое поглощение земной фитомассой слабее в 12 раз, а плодами облепихи – в 60 раз по сравнению с поглощением кальция (для плодов КБП_{Ст} = 2.06 %). Концентрации стронция в плодах *H. rh. mongolica* и *H. rh. sinensis* близки между собой и составляют 3.5 и 2.0–4.3 мкг/г соответственно [13, 14]. Суточная потребность человека в этом элементе не определена.

Элементы группы В

Цинк характеризуется высокой интенсивностью накопления среди других элементов этой группы. В плодах сибирской *H. rh. mongolica* его содержание составляет 18.8 мкг/г, что сопоставимо с результатами работы [11] (16.5 мкг/г). В плодах разновидностей *H. rh. sinensis*, *H. rh. turkestanica* и *H. rh. salicifolia* содержание цинка несколько меньше: 6.6–12.5 мкг/г [13–15]. Суточная потребность человека в цинке удовлетворяется 100 г свежих плодов на 2 %.

Ванадий характеризуется низкой интенсивностью поглощения растениями: КБП_V < 2 %. Плоды облепихи поглощают его особенно слабо, и абсолютное содержание ванадия в сухом веществе плодов составляет порядка 0.1 мкг/г. Аналогичный результат получен авторами [13] для *H. rh. sinensis*. Суточная потребность человека в ванадии удовлетворяется 100 г свежих плодов на 11 %.

Хром. Довольно невысокая концентрация этого элемента (1.0 мкг/г в плодах *H. rh. mongolica* и 1.7 мкг/г в плодах *H. rh. sinensis* [13]) обусловлена общей закономерностью слабого накопления его растениями [18, 21]. Тем не менее, в плодах облепихи его содержится в 4.5 раза больше, чем в средней фитомассе, что свидетельствует о способности плодов аккумулировать этот элемент. Суточная потребность человека в хrome удовлетворяется 100 г свежих плодов на 20 %.

Никель. Концентрация этого элемента в плодах *H. rh. mongolica* (1.5 мкг/г) близка к

таковой для *H. rh. sinensis* (2.2 мкг/г) [13]. Плоды облепихи поглощают его в 2–3 раза слабее, чем фитомасса. Суточная потребность человека в никеле официально не установлена.

Медь. Найденная нами концентрация меди (2.8 мкг/г) согласуется с данными для *H. rh. mongolica* (3.7 мкг/г) [11] и сопоставима с данными для китайской *H. rh. sinensis* (3.1 мкг/г) [13] и гималайских разновидностей *H. rh. turkestanica* и *H. rh. salicifolia* (3.1–4.7 мкг/г) [15]. Суточная потребность человека в меди удовлетворяется 100 г свежих плодов на 3 %.

Рубидий. Поглощение этого элемента довольно интенсивное, что обусловлено высокой подвижностью этого щелочного металла: для фитомассы KBP_{Rb} достигает 60 %, для плодов *H. rh. mongolica* – 18 %. Суточная потребность человека в рубидии не определена.

Иттрий присутствует в почве в концентрациях, близких к меди и рубидию. Этот элемент характеризуется слабым биологическим поглощением и низкой концентрацией в плодах облепихи (1.7 % и 0.39 мкг/г соответственно). Биологическая роль иттрия не исследована.

Свинец аккумулируется фитомассой с умеренной интенсивностью ($KBP_{Pb} = 23$ %), а плодами сибирской облепихи – на порядок меньше ($KBP_{Pb} \sim 2$ %). Найденная абсолютная концентрация свинца в сухом веществе плодов равна 0.25 мкг/г. Данные китайских исследователей противоречивы, что может объясняться почвенными особенностями разных провинций Китая: в плодах *H. rh. sinensis* найдено от 0.1 (провинция Шэньси) [14] до 6.0 мкг/г свинца (провинция Шаньси) [13]. Суточная потребность человека в свинце не определена.

Ниобий поглощается фитомассой очень слабо, $KBP_{Nb} = 0.2$ %. Тем не менее, плоды облепихи превосходят фитомассу по этому показателю в пять раз. Биологическая роль ниобия не исследована.

Элементы группы С

Бром аккумулируется фитомассой весьма активно ($KBP_{Br} = 150$ %). Плоды *H. rh. mongolica* накапливают его столь же интенсивно ($KBP_{Br} = 164$ %). Суточная потребность человека в бrome не установлена.

Кобальт. Выявленная в плодах *H. rh. mongolica* концентрация кобальта чрезвычай-

но низкая (0.031 мкг/г) и находится на нижнем пределе обнаружения методом РФА-СИ. Автором [11] установлена концентрация этого элемента в плодах облепихи на уровне 0.082 мкг/г. По данным [14], в плодах *H. rh. sinensis* (провинция Шэньси, Китай) содержание кобальта заметно больше – 0.34 мкг/г. Суточная потребность человека в кобальте удовлетворяется 100 г свежих плодов сибирской облепихи на 1 %.

Молибден присутствует в плодах сибирской облепихи в количестве 0.25 мкг/г. По данным [13, 14], в плодах *H. rh. sinensis* его концентрация в 2–40 раз выше. Суточная потребность человека в молибдене удовлетворяется 100 г свежих плодов сибирской облепихи на 4 %.

Селен. Найденные концентрации селена в плодах *H. rh. mongolica* (0.25 мкг/г) и фитомассе (0.2 мкг/г) практически одинаковы. В то же время, по данным китайских исследователей, в плодах *H. rh. sinensis* его содержится от 10.2 (провинция Шэньси) [14] до 94.3 мкг/г (провинция Шаньси) [13]. Столь высокая концентрация селена в дикорастущей облепихе на территории Китая, возможно, обусловлена большими колебаниями почвенного содержания и нуждается в дополнительном изучении. Суточная потребность человека в селене удовлетворяется 100 г свежих плодов сибирской облепихи на 3 %.

Мышьяк и скандий характеризуются слабой интенсивностью поглощения растениями. Концентрация элементов в плодах столь мала, что находится на пределе обнаружения методом РФА-СИ, поэтому полученные результаты следует считать ориентировочными. Суточная потребность человека в мышьяке и скандии не определена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований, плоды сибирской облепихи слабо поглощают из почвы большинство изученных элементов. Это справедливо для марганца (KBP для плодов в 30 раз ниже, чем для фитомассы), кобальта (более чем в 20 раз), ванадия (в 18 раз), кальция (в 13 раз), свинца (в 11 раз), стронция (в 4.8 раза), меди (в 3.4 раза), рубидия (в 3.2 раза), скандия (в 2.8 раза) и цинка (в 2.7 раза). Причины столь низкого захвата элементов тканями плодов не совсем ясны ввиду того, что ряд представителей этой

группы (марганец, кальций, цинк, медь) являются жизненно необходимыми для растительных организмов [3].

Для другой части элементов характерны сопоставимые значения этого параметра для плодов и фитомассы. Это можно объяснить универсальными и строго ограниченными потребностями всех растительных тканей в жизненно необходимых им элементах (калий, железо, никель, молибден, бром, селен), а также общей барьерной функцией растительных тканей при вынужденном проникновении вредных либо не имеющих существенного фитофизиологического значения элементов, таких как мышьяк [3].

Весьма интересно, что некоторые химические элементы (титан, ниобий, хром и цирконий) отличаются относительно повышенным накоплением в плодах сибирской облепихи. Как показали наши дальнейшие исследования, способность к избирательному накоплению этих элементов характерна не только для плодов, но и для других органов исследованного биологического вида *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* [23]. Вместе с тем, можно утверждать, что плоды облепихи не концентрируют токсичные химические элементы – свинец и мышьяк.

Потребность человека в жизненно необходимых химических элементах сильно варьирует, поэтому ее оценка может быть только ориентировочной [24]. Тем не менее, плоды облепихи могут служить естественным пищевым источником ряда элементов в хорошо усваиваемой биогенной форме.

Таким образом, впервые в плодах облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi), произрастающей в эндемичной климатической зоне Сибири, установлено абсолютное содержание и коэффициенты биологического поглощения комплекса из 22 химических элементов: К, Са, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb. Обнаружены видоспецифические особенности в интенсивности накопления отдельных элементов плодами сибирской облепихи. Они проявляются как превышением (титан, ниобий, хром, цирконий), так и понижением (марганец, кобальт, ванадий, кальций, свинец, стронций, медь, рубидий, скандий, цинк) коэффициента их

биологического поглощения относительно наземной фитомассы.

Авторы выражают благодарность сотруднику ИЦиГ СО РАН Г. Ю. Галицыну за содействие в осуществлении данной работы.

Работа выполнена при использовании оборудования ЦКП СЦСТИ (ИЯФ СО РАН) и финансовой поддержке Минобрнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кошелев Ю. А., Агеева Л. Д. Облепиха. Бийск: БПГУ им. В. М. Шукшина, 2004. С. 320.
- 2 Померанцева Т. Я., Рысбаева Д. Д., Авакумов В. М. Репарационная активность некоторых фракций, выделенных из плодов и листьев облепихи. // Биология, химия, интродукция и селекция облепихи. Горький: ГСХИ, 1986. С. 133.
- 3 Битюцкий Н. Б. Необходимые микроэлементы растений. М.: Наука, 2005. С. 256.
- 4 Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. С. 542.
- 5 Tolkachev O. N., Shipulina L. D. // Seabuckthorn – a Resource of Health, a Challenge to Modern Technology. Proc. 1st Congress of the Int. Seabuckthorn Association. Berlin, 2003. P. 90–103.
- 6 Barishev V. A., Kulipanov G. N., Scrinsky A. N. // Handbook of Synchrotron Radiation. Vol. 3. / G. Brown, D. Moncton (Eds.). Amsterdam: Elsevier, 1991. P. 639.
- 7 Барышев В. Б., Золотарев К. В., Кобелева Н. А., Потемкин В. Л., Ходжер Т. В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2002. № 11. С. 56.
- 8 Скуридин Г. М. Анализ сопряженной изменчивости количественных признаков облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2007. 16 с.
- 9 Горяев М. И., Алиханова Р. И. // Здоровоохранение Казахстана 1971. № 6. С. 73–75.
- 10 Симаков Н. С. Биологические и агротехнические особенности облепихи. // Тр. Красноярск. сельхоз. ин-та. Красноярск, 1959. Т. 3, Вып. 1. С. 253–264.
- 11 Матафонов И. И. Облепиха (влияние на организм животного). Новосибирск: Наука, 1983. С. 165.
- 12 Елисеев И. П., Шумратова Т. И. // Плодово-ягодные культуры. Тр. ГСХИ. Горький: ГСХИ, 1974. Т. 77. С. 94–100.
- 13 Zhang W., Yan J., Duo J., Ren B., and Guo J. Preliminary Study of Biochemical Constituents of Berry Sea-Buckthorn Growing in Shanxi Province and Their Changing Trend. // Proc. of the First Int. Symp. on Sea Buckthorn. Xi'an, 1989. P. 99–105.
- 14 Tong J., Zhang C., Zhao Z., Yang Y., and Tian K. The Determination of the Physico-Chemical Constants and Sixteen Mineral Elements in Sea Buckthorn Raw Juice. // Proc. of the First Int. Symp. on Sea Buckthorn. Xi'an, 1989. P. 132–137.
- 15 Singh Virendra, Sharma K. B., Singh S. P., Awasthi C. P., and Singh B. Mineral Composition of Fruits of Seabuckthorn (*Hippophae* L.) Populations Growing in Dry Temperate Himalayas. // Seabuckthorn. A Resource for Health and Environment in Twenty First Century.

- Proc. of Int. Workshop on Seabuckthorn. / Virendra Singh, P. K. Khosla (Eds.). Palampur, 2001. P. 170–174.
- 16 Шмонов А. М. Возможности использования рекультивируемых земель Кузбасса для создания заготовительной базы облепихового сырья. // Новое в биологии, химии и фармакологии облепихи. Новосибирск: Наука, 1991. С. 181–189.
- 17 Шапов Н. С., Белых А. М. Сорта облепихи селекции ИЦиГ и Новосибирской ЗПЯОС им. И. В. Мичурина // Сб. “Облепиха в лесостепи Приобья”. Новосибирск: СО РАСХН, СО РАН, 1999. С. 50–55.
- 18 Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высш шк, 1966. С. 392.
- 19 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432–08 от 18 декабря 2008. М., 2008.
- 20 Bowen H. J. M. Trace Elements in Biochemistry. London-N.Y.: Acad. Press, 1966. P. 274.
- 21 Ковальский В. В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974, С. 299.
- 22 Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрейя-2000, 1999. С. 702.
- 23 Скуридин Г. М., Чанкина О. В., Легкодымов А. А., Креймер В. К., Багинская Н. В., Куценогий К. П. // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77, № 2. С. 229–232.
- 24 Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.