

УДК 57.084.2:577.118:546.06

DOI: 10.15372/KhUR20160509

Поглощение химических элементов корнями сибирской облепихи (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi)

Г. М. СКУРИДИН¹, О. В. ЧАНКИНА², А. А. ЛЕГКОДЫМОВ³, Н. В. БАГИНСКАЯ⁴, К. П. КУЦЕНОГИЙ²¹Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: skuridin@bionet.nsc.ru

²Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия³Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия⁴Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

(Поступила 30.11.15; после доработки 18.02.16)

Аннотация

Впервые методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ) подробно исследован элементный состав корней сибирской облепихи (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi), произрастающей в эндемичных условиях Западной Сибири. Определено совместное количественное содержание К, Са, Тi, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Мо, Рb в корнях и в почве, а также коэффициенты биологического поглощения этих элементов из почвы. Определены специфические для этого биологического вида особенности поглощения элементов.

По сравнению с надземными органами (листья, кора и плоды) корни облепихи характеризуются максимальным поглощением жизненно необходимых хрома, железа, молибдена и селена. Кроме того, выявлено чрезвычайно высокое поглощение элементов с неустановленной биологической ролью: ниобия, циркония, титана и иттрия. Для ниобия и молибдена установлен эффект сверхконцентрирования корнями.

Благодаря высокому уровню аккумуляции хрома корни сибирской облепихи могут служить перспективным источником биогенной формы этого жизненно необходимого элемента для лечебно-профилактических целей в борьбе с так называемыми болезнями цивилизации – диабетом и атеросклерозом. Показано, что сухие корни облепихи в количестве 1.5–2.0 г обеспечивают суточную потребность организма человека в хrome.

Сделано заключение, что облепиха не является концентратором свинца, признанного токсичным элементом, так как его поглощение корнями сопоставимо со средним показателем для растений земной суши.

Ключевые слова: элементный состав, синхротронное излучение, корни облепихи

ВВЕДЕНИЕ

Область применения продукции из плодов, листьев и коры облепихи для пищевых и лечебно-профилактических целей чрезвычайно широка, что обусловлено богатством ее химического состава. Эффективность этой продукции связывают с высоким содержанием комплекса биологически активных веществ (БАВ) органической природы: витаминов, сво-

бодных аминокислот, серотонина, урсоловой кислоты, кумаринов и др. [1]. Многие БАВ представляют собой комплексные органоминеральные соединения, где органические компоненты выступают в роли лигандов [2].

Основу рациона питания городского населения составляют рафинированные пищевые продукты, из которых удалена большая часть природных БАВ, что приводит к хроническому дефициту ряда жизненно необходимых

(эссенциальных) микроэлементов [3]. Применение биологически активных минеральных пищевых добавок, включая химически чистые соединения, не всегда эффективно. Это связано с их слабой ассимиляцией человеческим организмом, в отличие от природных весьма сложных витаминно-минеральных комплексов с наиболее благоприятным для организма естественным соотношением компонентов [4]. Более того, ряд химических элементов (хром, цинк, никель, кобальт и другие), поступающих в организм в неорганической форме, в определенных концентрациях проявляют токсичный эффект [3]. В связи с этим актуален поиск природных источников безвредных и более эффективных органоминеральных соединений. Ранее [5–7] было показано, что плоды, листья и кора облепихи могут служить биогенным источником эссенциальных хрома и марганца.

Элементный состав корней облепихи в этом отношении почти не исследован. Сведения о содержании в них Са, Си, Мп, Мо, Рb и Zn, полученные в результате полуколичественного спектрального анализа, носят лишь ориентировочный характер [8].

Цель исследования – количественное определение возможно более полного минерального состава корней сибирской облепихи (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi) и установление закономерностей поглощения почвенных химических элементов корнями, а также их оценка в качестве природного источника жизненно необходимых элементов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследованы корни облепихи четырех сортов селекции ИЦиГ СО РАН, созданных на основе генофонда алтайских популяций *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi: Зарница, Зырянка, Красный факел, Сибирский румянец [9]. С трех растений каждого сорта, произрастающих на общей делянке, в период завершения плодоношения (10 октября) отбирали средние пробы горизонтальных скелетных и полускелетных (толщиной 3–5 мм) корней с глубины их преимущественного залегания (10–15 см), горизонт А1–А2 [10]. При этом анализ проб корней и почвы проводился отдельно для каждого сорта. Корни тщатель-

но отмывали от грунта в деионизованной воде, разрезали на кусочки размером 0.5–1.0 см, обезвоживали при 105 °С до постоянной массы и размельчали с помощью мельницы пропеллерно-ударного типа до частиц размером не более 0.5 мм.

Из-под каждого из исследуемых растений отбирали среднюю пробу почвы массой 300–500 г и обезвоживали при 105 °С до постоянной массы. Во избежание заноса определяемых элементов с металлических частей мельницы при размельчении высушенную почву толкли в фарфоровой ступке и просеивали через сито с размером ячеек 0.5–0.5 мм.

Порошкообразную массу образца формировали путем прессования в таблетку массой 30 мг и диаметром 1.0 см. Образец фиксировали между двумя химически чистыми пленками толщиной 5 мкм в кассете из фторопласта.

Элементный состав определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ). Измерения проводили на станции элементного анализа в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН на накопителе электронов ВЭПП-3 по методике, описанной в [11]. Спектр характеристического флуоресцентного рентгеновского излучения (SXFR) получали под воздействием потока электронов с энергией 23 кэВ, показания регистратора фотонов обрабатывали пакетом программ обработки AXIL (МАГАТЭ) для сложных РФА-спектров. Концентрации элементов определяли методом внешних стандартов, в качестве последних как наиболее близкие по составу использованы российские стандарты злаковой травосмеси СОРМ1 ГСО 8242–2003 (для анализа состава корней) и байкальского ила БИЛ-1 ГСО 7126–94 (для анализа почвенных проб). Предел обнаружения данного метода для многоэлементного анализа составляет порядка 10^{-10} г/г [12].

Определяли количественное содержание К, Са, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb. Коэффициент биологического поглощения (КБП) элементов вычислен как соотношение их концентраций в пробе корней и почвы [5, 13]. Среднюю концентрацию элемента и средний КБП общей выборки вычисляли исходя из резуль-

татов для каждого сорта. Полученные данные представлены в виде среднего и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$).

Выявление специфических для биологического вида особенностей накопления элементов корнями сибирской облепихи (*H. rhamnoides* ssp. *tungolica*) проводилось путем сравнения с эталонами. В качестве эталонов использовали литературные данные по средней концентрации элементов в почве земной поверхности и фитомассе наземных растений [14, 15].

Оценка степени удовлетворения физиологических потребностей организма в микроэлементах проведена по официальным нормам РФ для различных групп населения [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ввиду чрезвычайно больших различий по концентрациям в литосфере элементы разделены на три группы:

- 1) группа А – концентрация элемента в литосфере более 100 мкг/г;
- 2) группа В – от 10 до 100 мкг/г;
- 3) группа С – менее 10 мкг/г.

Результаты сравнительного анализа корней облепихи и почвы с экспериментального участка и эталонных образцов приведены в табл. 1–3.

Элементы группы А

Железо. Его относительно высокая концентрация в корнях (более 1000 мкг/г) объясняется не только общей закономерностью повышенного содержания железа в подземных органах растений [2], но и его участием во множестве окислительно-восстановительных и других метаболических процессов, включая азотфиксацию. Оптимальный уровень железа в листьях зеленых растений варьирует в пределах 50–300 мкг/г [2, 17]. Сухое вещество корней облепихи в количестве 10 г соответствует суточной потребности человека в этом важнейшем микроэlemente.

Калий. Его накопление в корнях сибирской облепихи незначительно, что характерно также для плодов и коры [5, 7]. Ранее это было обнаружено полуколичественным методом атомной эмиссии в пламени электрической дуги [8].

Титан. Средняя концентрация титана в зеленых растениях, как правило, крайне мала – не более 1 мкг/г сухого вещества [17]. Надземные органы облепихи накапливают его в заметно большем количестве, мкг/г: плоды 4.8, листья 6.7, кора 9.2 [5–7]. Корни облепихи накапливают титан в количестве, на порядок превосходящем его максимальное содержание в надземных частях, достигая 90 мкг/г сухо-

ТАБЛИЦА 1

Концентрация элементов группы А, коэффициенты их биологического поглощения корнями ($КБП_{\text{к}}$), наземной фитомассой ($КБП_{\text{ф}}$) и доля суточной потребности (СП) человека в 10 г сухих корней облепихи

Элементы	Земная почва**,	Почва ИЦиГ,	КБП _ф ,	Корни		
	мкг/г			мкг/г	мкг/г	КБП _к , %
Fe	40 000	23 525±938	0.35	1023±289	4.35±1.23	100
K	14 000	15 462±907	100	7924±414	51.2±2.7	3.2
Ca	15 000	13 033±946	120	3068±316	23.5±2.4	3.1
Ti	5000	4623±276	0.02	89.0±28.6	1.93±0.62	н. о.
Mn	1000	772±30	63	70.3±11.1	9.11±1.44	36
Zr	400	348±88	0.2	73.0±16.0	30.0±4.6	н. о.
Sr	250	171±5	10	30.7±3.9	18.0±2.3	н. о.

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: н. о. – потребность не определена.

* По официальным гигиеническим нормативам РФ [16].

** По Bowen, 1966 [14].

го вещества. Некоторые виды растений (например, хвощ и крапива) также накапливают титан [17]. Биологическая функция этого химического элемента окончательно еще не установлена, но факт его накопления в биологических объектах и сообщения о каталитической роли титана в реакциях окисления азота и фотосинтезе указывают на участие элемента в метаболических процессах [17].

Марганец. Корни облепихи поглощают этот эссенциальный элемент из почвы с КБП ~ 10 %, что ниже поглощения его листьями [6]. Тем не менее корни сибирской облепихи накапливают до 70 мкг/г марганца, а по другим данным [8] – до 250 мкг/г.

Цирконий. Роль циркония в метаболических процессах растительных и животных организмов не установлена. Вместе с тем интенсивность его поглощения корнями облепихи превышает средний показатель фитомассы в 150 раз. Аналогично повышенное поглощения циркония некоторыми видами мхов и лишайников [14] свидетельствует о потребности в нем некоторых видов растений и метаболическом контроле его поступления.

Стронций. Считается биологическим конкурентом кальция, что проявляется в замене кальция на стронций в условиях дефицита кальция [17]. Несколько повышенная интенсивность его накопления в корнях облепихи характерна также для листьев и коры [6, 7]. Однако этот показатель не выходит за пределы его колебаний для основных пище-

вых культур [14, 17]. Стронций не входит в ряд эссенциальных элементов.

Элементы группы В

Цинк, медь и никель. Все три химических элемента являются эссенциальными для растений [2]. Поступление цинка и меди как в надземные органы [5–7], так и в корни (см. табл. 2) равномерное, при этом их КБП остается в пределах 21–42 % для Zn и 12–16 % для Cu. Относительная равномерность распределения этих элементов характерна для многих видов пищевых растений [17], что объясняется их высокой биологической подвижностью [2, 17]. Отметим, что анализ элементного состава корней облепихи методом спектрального анализа свечения электрической дуги [8] по концентрации цинка дал существенно заниженные показания (0.5 [8] против 9.6 мкг/г, см. табл. 2), а по меди – чрезвычайно завышенные (500–1000 [8] против 3.2 мкг/г, см. табл. 2).

Надземные органы облепихи поглощают никель также довольно равномерно, но на порядок меньше по сравнению с медью и цинком (КБП 3.2–4.2 %) [5–7]. Однако в корнях КБП никеля достигает 24 %, что предположительно связано с процессами нитрификации и минерализации азота в корнях, где он играет ключевую роль в составе уреазы и множества других ферментов метаболизма азотистых соединений [2]. Аналогично повы-

ТАБЛИЦА 2

Концентрация элементов группы В, коэффициенты их биологического поглощения корнями (КБП_к), наземной фитомассой (КБП_ф) и доля суточной потребности (СП) человека в 10 г сухих корней облепихи

Элементы	Земная почва**, мкг/г	Почва ИЦиГ, мкг/г	КБП _ф , %	Корни		
				мкг/г	КБП _к , %	СП*, %
Zn	90	45.5±0.9	111	9.57±0.62	21.0±1.4	0.8
V	90	87.3±9.4	1.8	0.68±0.21	0.78±0.24	н. о
Cr	70	65.5±6.9	0.3	28.5±8.3	43.5±12.7	560
Ni	50	42.5±2.4	6.0	10.1±1.7	23.8±4.0	н. о
Rb	35	60.0±3.3	57	9.66±0.54	16.1±0.9	н. о
Cu	30	20.0±1.1	47	3.21±0.10	16.1±0.5	3,3
Y	30	23.3±1.2	2.0	3.81±1.18	16.4±5.1	ню
Pb	12	11.3±0.1	23	3.14±1.09	27.8±9.6	н. о
Nb	10	11.0±1.3	0.2	14.0±6.5	127±59	н. о

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

шенная аккумуляция никеля наряду с железом, молибденом и кобальтом, наблюдаемая как в тканях бобовых азотфиксирующих растений [17], так и в корнях облепихи, обладающей азотфиксацией, обусловлена активностью соответствующих металлоферментов в реакциях с участием азота.

Ванадий. При сопоставимом с цинком содержании в земной почве его концентрация в большинстве видов растений крайне мала, что объясняется феноменом “избегания” фитотоксичных веществ, к которым относятся соединения ванадия [17]. В этом отношении облепиха не исключение. Все надземные органы этого растения поглощают ванадий из почвы с интенсивностью 0.1–0.3 % [5–7], корни – примерно 0.8 %, что близко к показателям для большинства видов пищевых растений [17]. У бобовых растений фасоли и клевера оно повышено, что связывают с функцией азотфиксирующих клубеньков при участии ванадия в виде ванадиевой нитрогеназы [2, 17]. Относительно высокое содержание ванадия отмечено в грибах и в тканях морских беспозвоночных [3]. Хотя этот элемент официально не отнесен к эссенциальным для животных, его искусственный дефицит в ряду поколений лабораторных животных вызывает патологическую задержку натрия и воды в организме и последующие разнообразные тяжелые нарушения роста и развития [3].

Хром. Относится к классическим эссенциальным микроэлементам. Установлено, что у человека и животных он участвует в регуляции метаболизма глюкозы и холестерина в составе сложного комплекса органоминеральных соединений, объединенных в так называемый “фактор толерантности к глюкозе” (GTF), а также в обмене нуклеиновых кислот [18]. Принято считать, что дефицит хрома в организме, вызванный питанием рафинированными продуктами, а также физическими и психологическими стрессами, – одна из причин развития метаболического синдрома, диабета и атеросклероза. Также установлено, что хром способен усиливать действие инсулина во всех метаболических процессах, регулируемых этим гормоном [3].

Растения земной суши усваивают его весьма слабо, в среднем 0.3 % от содержания в минеральных частицах почвы [14]. Плоды,

листья и кора облепихи характеризуются существенно более высоким коэффициентом поглощения хрома – в пределах 1.4–4.6 % [5–7]. Поглощение его корнями достигает 43.5 % и в 150 раз превышает средний показатель для наземной фитомассы [14, 15], поэтому корни облепихи представляют несомненный интерес в качестве естественного источника биогенного хрома.

Иттрий. Элемент характеризуется слабым биологическим поглощением – на уровне 2 % [14], тогда как КБП иттрия корнями сибирской облепихи почти на порядок выше (16.4 %). Биологическая роль иттрия не установлена.

Свинец. Элемент признан приоритетным загрязнителем окружающей среды с твердо установленным токсичным эффектом, причем его поступление в растения носит преимущественно пассивный характер и напрямую зависит от содержания в почве [17]. Поступление свинца в корни сибирской облепихи составляет 27 % от почвенного содержания, что сопоставимо с его поглощением другими наземными растениями (23 %). Определенная нами концентрация свинца в корнях (3.1 мкг/г) гораздо ниже, чем данные, полученные ранее (25 мкг/г) [8] с использованием метода, дающего сильно завышенные результаты [3]. Отметим, что надземные части облепихи аккумулируют свинец в гораздо меньшей степени – в пределах 2.1–7.1 % [5–7]. Вместе с тем, несмотря на токсичность, свинец в ультрамикроколичествах может быть отнесен к эссенциальным элементам, так как способствует усвоению железа и поддержанию необходимого уровня гемоглобина [3].

Ниобий. Среднее содержание ниобия в растениях не превышает 0.02 мкг/г [14], однако в плодах, листьях и коре сибирской облепихи оно существенно выше (0.11–0.41 мкг/г) [5–7]. Обнаружено, что корни облепихи характеризуются еще большим поглощением ниобия: КБП 127 % против 1.0–2.2 % в надземных частях. При этом в корнях средняя концентрация ниобия (14 мкг/г) выше по сравнению с таковой для подстилающей почвы (11 мкг/г), что указывает на сверхконцентрирование элемента корнями облепихи. В целом высокие показатели аккумуляции ниобия всеми частями растения позволяют заключить, что сибирская облепиха является биологическим концентратом ниобия.

В работе [19] сообщается, что повышенная аккумуляция ниобия наблюдается у некоторых видов растений на почвах, обогащенных ниобием, – княженики (*Rubus arcticus* L.) и иван-чая (*Chamaenerum angustifolium* L.). Биологическая роль ниобия в процессах жизнедеятельности животных и растений не исследована, но установленный факт транспорта элемента в растениях в виде органо-минеральных комплексов [17] вместе с избыточным накоплением могут указывать на существование неустановленных биохимических реакций и механизмов с его участием.

Элементы группы С

Кобальт. Основная биологическая функция кобальта в организме животных и человека определяется его наличием в молекуле витамина В₁₂. Он участвует в процессе фиксации азота растениями из воздуха [17], в связи с чем повышенное содержание кобальта характерно для многих видов бобовых. Облепиха, как известно, также обладает способностью к корневой азотфиксации [20]. Разные виды растений содержат кобальт в широком диапазоне концентраций – от 0.01 до 200 мкг/г, в зависимости от типа почвы и его концентрации в почвенном растворе [17]. Поглощение кобальта корнями облепихи на один-два порядка выше, чем надземными органами [5–7], но при этом его концентрация во всех органах облепихи не превышает показатели для других растений.

Селен. В отличие от надземных частей растения облепихи, где его содержание крайне

низкое (0.13–0.20 мкг/г) [5–7], корни поглощают селен довольно эффективно – порядка 1.0 мкг/г при КБП до 70 %. Официальная норма потребления селена составляет 60–70 мкг/сут [16].

Бром. Поступление брома в корни облепихи значительно ниже, чем в надземную часть (КБП 45 % против 149–164 % соответственно). Пониженное содержание брома в корнях характерно для всех растительных организмов [17]. Суточная потребность человека в бrome не установлена, признаки его дефицита у человека и животных не зарегистрированы [3].

Молибден. Биологическая роль этого микроэлемента хорошо и подробно изучена, он давно признан жизненно необходимым для всех видов животных и растений, включая человека [16]. У растений потребность в молибдене обусловлена активной ролью этого элемента в процессах азотфиксации как ключевого кофактора. Молибден входит в состав более 20 молибденовых ферментов: редуктаз (в первую очередь, нитратредуктазы), нитрогеназы, ряда гидролаз и дегидрогеназ [3]; он также участвует в метаболизме углерода и серы [2].

Азотфиксирующие корни сибирской облепихи содержат молибден в избыточных количествах: 0.87 мкг/г элемента против 0.56 мкг/г в почве. Высокое избыточное содержание молибдена установлено также в коре облепихи (0.74 мкг/г) [7], в отличие от листьев (0.07 мкг/г) [6] и плодов (0.25 мкг/г) [5]. Это свидетельствует о концентрировании молибдена корнями облепихи. Вместе с тем полученные аномально высокие концентрации молибдена в корнях облепихи (50 мкг/г [8]) требуют дополнительной проверки и уточнения.

ТАБЛИЦА 3

Концентрация элементов группы С, коэффициенты их биологического поглощения корнями (КБП_к), наземной фитомассой (КБП_ф) и доля суточной потребности (СП) человека в 10 г сухих корней облепихи

Элементы	Земная почва**, мкг/г	Почва ИЦиГ, мкг/г	КБП _ф , %	Корни		
				мкг/г	КБП _к , %	СП*, %
Co	8.0	9.75±0.25	63	0.38±0.11	3.9±1.1	40
Se	0.4	1.53±0.62	50	1.01±0.44	66.0±28.8	14
Br	10	4.38±0.61	150	1.95±0.12	44.5±2.7	н. о.
Mo	1.2	0.56±0.13	75	0.87±0.32	155±57	13

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ полученных результатов и известных данных по концентрации изученных химических элементов в фитомассе наземных растений показывает, что в большинстве случаев их содержание в живых тканях во много раз ниже, чем в литосфере и в почве. Это связано не только с низкой растворимостью неорганических минеральных составляющих почвы и, следовательно, малой биологической доступностью этих элементов, но и с наличием разного рода биологических барьеров для нежелательного проникновения отдельных элементов ввиду их фитотоксичности. С другой стороны, подземные органы растений, как правило, характеризуются более высоким общим уровнем аккумуляции минеральных элементов, чем наземная часть. Сибирская облепиха (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi) в этом отношении не исключение. Кроме того, проведенный комплексный анализ содержания и интенсивности поглощения минеральных элементов корнями сибирской облепихи с применением высокочувствительного и точного метода РФА-СИ показал, что поступление ряда элементов (ниобия, титана, хрома и циркония) в корни в десятки и сотни раз превышает средний показатель наземных растений.

Особый интерес представляют факты избыточного накопления микроэлементов, когда концентрация в тканях превышает их почвенное содержание. Установлено, что корни сибирской облепихи концентрируют молибден: его концентрация в сухом веществе в 1.6 раза выше почвенной, а также ниобий (в 1.3 раза). Если избыточное накопление молибдена можно связать с его важнейшей ролью в процессе фиксации азота, то биологическая роль ниобия и причина его концентрирования корнями облепихи пока не установлены.

Высокое содержание хрома в корнях облепихи покрывает суточную потребность человека (1.5–2.0 г сухого вещества), в связи с чем их можно считать перспективным биогеоиндикатором этого эссенциального элемента. Несколько повышенное относительное накопление корнями отмечено также для эссенциальных у растений железа и никеля, а также стронция и иттрия.

Учитывая, что аккумуляция свинца наземными органами существенно ниже среднего показателя для других растений, а его поступление в корневую систему аналогично среднемировому уровню поглощения растительными тканями, облепиху нельзя отнести к концентраторам этого токсичного элемента.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП СЦСТИ при финансовой поддержке Минобрнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кошелев Ю. А., Агеева Л. Д. Облепиха. Бийск: БПГУ им. В. М. Шукшина, 2004. С. 320.
- 2 Битюцкий Н. Б. Необходимые микроэлементы растений. М.: Наука, 2005. 256 с.
- 3 Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.
- 4 Ловкова М. Я., Рабинович А. М., Пономарева С. М., Бузук Г. Н., Соколова С. М. Почему растения лечат. М.: Наука, 1989. С. 24–36.
- 5 Скуридин Г. М., Чанкина О. В., Легкодымов А. А., Багинская Н. В., Креймер В. К., Куценогий К. П. // Химия уст. разв. 2013. Т. 21, № 1. С. 1–8.
- 6 Скуридин Г. М., Чанкина О. В., Легкодымов А. А., Багинская Н. В., Куценогий К. П. // Химия уст. разв. 2014. Т. 22, № 3. С. 301–305.
- 7 Скуридин Г. М., Чанкина О. В., Легкодымов А. А., Багинская Н. В., Куценогий К. П. // Химия уст. разв. 2015. Т. 23, № 1. С. 71–76.
- 8 Цыбикова Д. Ц., Шаглаева А. Ш., Чердонова В. Ц. // Матер. IX науч. конф. Улан-Удэ, 1971. С. 112–114.
- 9 Щапов Н. С., Белых А. М. Сорты облепихи селекции ИЦиГ и Новосибирской ЗПЯОС им. И.В.Мичурина. Сб. Облепиха в лесостепи Приобья. Новосибирск: СО РАСХН, СО РАН, 1999, С. 50–55.
- 10 Рыжков А. П., Маслюк О. Н. // Труды ОСХИ. 1972. Т. 101. С. 36–43.
- 11 Дарьин А. В., Ракшун Я. В. // Науч. вестн. НГТУ. 2013. № 2(51). С. 112–118.
- 12 Паспорт станции локального и сканирующего рентгенофлуоресцентного элементного анализа ЦКП СЦСТИ. <http://ssrc.inp.nsk.su/СКП/stations/passport/3/>
- 13 Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. С. 702.
- 14 Bowen H. J. M. Trace Elements in Biochemistry. London–N.Y.: Acad. Press, 1966. P. 274. (Цит. по [13]).
- 15 Ковальский В. В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974, С. 299.
- 16 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432–08. М., 2008. С. 14–16.
- 17 Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 439 с.
- 18 Schroeder H. A., Buckman J., Tipton I. H. // J. Chron. Dis. 1962. Vol. 15. P. 941–964. (Цит. по [17]).
- 19 Тютина Н. А., Алесковский В. Б., Васильев П. И. // Геохимия. 1959. № 6. С. 550–554.
- 20 Гатин Ж. И. Облепиха. М., 1963. 159 с.

