

УДК 581.192:581.52:631.411:582.973

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА *LONICERA CAERULEA* В КОНТРАСТНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

© И.Г. Боярских^{1*}, А.И. Сысо², Т.И. Сиромля²

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская,
101, Новосибирск, 630090 (Россия), irina_2302@mail.ru

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр. Академика Лаврентьева,
8–2, Новосибирск, 630090 (Россия)

С целью выявления особенностей минерального состава *Lonicera caerulea* в контрастных геохимических условиях проведено изучение уровней накопления микро- и макроэлементов в органах алтайского подвида *L. caerulea* в связи с их содержанием в почвах ненарушенных экосистем Горного Алтая в зоне геохимической аномалии на ультраосновных породах и на фоновых территориях. Валовое содержание Al, B, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, P, Si, Sr, Ti, V, Y, Yb, Zn, Zr в почвах и растениях определялось методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Концентрация подвижных форм K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Li, Sr в почвах, измерялась атомно-абсорбционным методом. Определены пределы варьирования и распределение по органам *L. caerulea* 30 микро- и макроэлементов. Установлено, что в листьях растений, по сравнению со стеблями, более интенсивно накапливаются Sr, Ni, Mo, B, Ga, La и Zr, а в стеблях – Al, Cu, Mn и Zn. В растениях на ультраосновных породах наблюдается достоверное снижение содержания Ca, K, Fe и Sr и увеличение содержания Mg и Ni по сравнению с популяциями на кислых, карбонатных и основных породах. Снижение интенсивности поглощения K, Ca и Sr связано с нарушением минерального обмена, вызванным неблагоприятным для растений соотношением Ca/Mg в почве. На ультраосновных породах Ni накапливается в листьях растений в высоких концентрациях. Повышенное накопление Fe отмечено в листьях растений отдельных популяций на основных и кислых породах, а в стеблях – практически на всех участках исследования. Полученные результаты необходимо принимать во внимание при сборе и использовании растительного сырья для приготовления лекарственных препаратов.

Ключевые слова: *Lonicera caerulea*, элементный состав растений, естественная геохимическая аномалия, Горный Алтай.

Введение

Lonicera caerulea L. s. l. (жимолость синяя) семейства *Caprifoliaceae* широко распространена в умеренной зоне северного полушария. С давних времен отмечались лечебные и профилактические свойства этого вида. Отвар из коры, ветвей, листьев и цветков жимолости издавна использовали в восточной и тибетской народной медицине [1]. Плоды дикорастущей жимолости употребляет в пищу местное население на Камчатке, в Магадане, на Сахалине и Курильских островах. На основании многочисленных аналитических исследований было показано, что ценность плодов жимолости синей обусловлена высоким содержанием витамина С и биологически активных фенольных соединений [2–4]. В составе биофлавоноидов основными являются антоцианы (до 1200 мг/100г), обуславливающие интенсивную темно-синюю окраску плодов, а также флавоно-

Боярских Ирина Георгиевна – старший научный сотрудник лаборатории интродукции пищевых растений, кандидат биологических наук, доцент,
e-mail: irina_2302@mail.ru

Сысо Александр Иванович – директор института, доктор биологических наук, e-mail: syso@mail.ru

Сиромля Татьяна Ивановна – старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв, кандидат биологических наук, e-mail: tgulkina@yandex.ru

лы (гликозиды кверцетрина), флавоны (гликозиды лютеолина и апигенина), гидроксикоричные кислоты (хлорогеновая, неохлорогеновая и дикофеилхинная). В связи с этим плоды представляют собой полезное дополнение для профилактики ряда хронических заболеваний, например, рака, сахарного диабета, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний [5].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Наряду с высоким содержанием биологически активных веществ, в органах *L. caerulea* накапливается много макро- и микроэлементов [6]. Существует взаимосвязь между накоплением в растениях определенных групп физиологически активных соединений и микроэлементов, которые часто проявляют совместный лечебный эффект [7, 8]. Видовая специфичность растений по элементному составу и изменчивости его количественного содержания представляет существенный интерес как с теоретической точки зрения для познания механизма биохимических процессов жизнедеятельности растений, так и при использовании их в качестве пищевого и лекарственного сырья.

Популяции *L. caerulea* Горного Алтая характеризуются большим разнообразием условий произрастания. Различные горные породы и рудопроявления, сгущение дизъюнктивных геологических структур, активные тектонические процессы оказывают влияние на химизм почв, что приводит к изменению биохимического состава растений и, соответственно, его пищевой и лекарственной ценности. Ранее нами были установлены интенсивность поглощения и уровни накопления микро- и макроэлементов в органах *L. caerulea* из природных популяций, различающихся по геоэкологическим характеристикам. Выявлены особенности накопления отдельных макро- и микроэлементов в течение вегетационного периода в зависимости от погодных условий года и высоты произрастания над уровнем моря, а также геологическими и гидротермическими характеристиками места произрастания [6, 9].

Целью настоящей работы является сравнительное изучение уровней накопления микро- и макроэлементов в органах алтайского подвида жимолости синей (*L. caerulea* subsp. *altaica*) в связи с их содержанием в почвах ненарушенных экосистем Горного Алтая в зоне геохимической аномалии на ультраосновных породах и на фоновых территориях.

Экспериментальная часть

Исследования проводили в Кош-Агачском районе Республики Алтай на северной оконечности Чаган-Узунского массива (Сукорский оползень-обвал). Горные породы Сукорского обвала относятся к группе ультраосновных пород, это преимущественно перидотиты [10]. Материал для исследований отбирали в восточной (Сукор В) и западной (Сукор З) частях цирка Сукорского обвала, в кедрово-елово-лиственничном лесу на литоземах грубогумусовых и петроземах. Для сравнения отбирали образцы на почвах, сформированных на моренных отложениях, различного состава: Северо-Чуйский хр., северный макросклон, долина р. Ак-Туру, на высоте 1760 м над ур. м., в кедрово-елово-лиственничном лесу на типичных горно-лесных бурых почвах (Актру); Курайский хр., северный макросклон, долина р. Сарычак – левого притока р. Кубадру, на высоте 1623 м над ур. м., в елово-лиственнично-кедровом лесу на аллювиальных дерновых кислых слоистых галечниковых почвах (Улаган); Тапдуайрский хр., западный макросклон, долина р. Сайлюгем, на высоте 2205 м над ур. м., в лиственничном лесу на аллювиальных дерновых кислых слоистых галечниковых почвах (Сайлюгем). Также были отобраны пробы на аллювиальных дерновых слоистых галечниковых почвах, сформированных на мраморизованных известняках баратальской свиты синийского комплекса [10] – Курайский хр., южный макросклон, устье р. Корумбуайры – левого притока р. Чибитка, на высоте 1572 м над ур. м., в зеленомошном лиственнично-кедровом лесу (Чибитка).

Химические элементы в системе почва – растение изучались методом сопряженного отбора и анализа почвенных и растительных образцов. Листья и побеги *L. caerulea* subsp. *altaica* собирали в фазе созревания плодов на пробных площадках. Средняя проба составлялась из 5-10 растений *L. caerulea* subsp. *altaica* в 2-3-кратной повторности на каждой пробной площадке. Всего было отобрано 22 почвенных образца из зоны минерального питания растений (0-15 см) и 44 растительных образца. Элементный химический состав (Al, B, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Ga, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, P, Si, Sr, Ti, V, Y, Yb, Zn, Zr) почв и растений (после сушеного озоления) определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии (установка для проведения исследований включает источник возбуждения спектров – дуговой аргонный двухструйный плазмотрон (ДДП, Россия), устройство для распыления и подачи в плазменную струю исследуемого тонкодисперсного порошка, спектрометр (PGS-2, Германия), многоканальный анализатор эмиссионных спектров (МАЭС, Россия)). Содержание подвижных форм K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Li, Sr (экстрагент ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4,8) в почвах анализировали атомно-абсорбционным методом. Данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество. В качестве стандартов были использованы образцы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы САДПП-09/3 (ОСО № 18809), черноземной выщелоченной среднесуглинистой почвы САЧВП-05/2 (ОСО № 28813), дерново-подзолистой супесчаной почвы СДПС-1 (ГСО 2498-83),

чернозема типичного СЧТ-3 (ГСО 2509-83), травяной муки злаковой (гранулированной) (ТМЗг-01) ОСО № 10-176-2011 и листа березы (ЛБ-1) ГСО 8923-2007. Полученные результаты определения химических элементов в стандартных образцах укладывались в их аттестованные значения.

Почвы диагностировались по «Классификации и диагностике почв России» [11]. Интенсивность биологического поглощения элементов листьями *L. caerulea* subsp. *altaica* оценивали по значениям коэффициентов биологического накопления (КБН), рассчитываемых как отношение содержания элемента в сухом веществе растений к концентрации подвижной формы элемента в почве. Для проверки статистически значимого различия содержания микро- и макроэлементов и достоверности корреляционной зависимости использовали t-критерий Стьюдента [12]. Статистический анализ полученных данных выполнен с применением пакета прикладных программ «Excel».

Результаты и их обсуждение

Химический состав перидотитов (ультраосновные породы Сукорского обвала) заметно варьирует в зависимости от их минерального состава. Для всех перидотитов характерны высокие содержания MgO и низкие содержания Al_2O_3 и CaO. По содержанию SiO_2 перидотиты близки к границе между группами ультраосновных и основных магматических пород (~44–45 мас.% SiO_2). Особенностью Чаган-Узунского массива является повышенные содержания MnO и NiO [13]. Минералогический состав подстилающих пород в значительной степени определяет элементный состав почв [14]. По нашим данным, образцы почв, отобранные в западной части цирка (Сукор 3), действительно соответствуют основной характеристике ультраосновных пород. Здесь валовое содержание в почве Mg в 2 раза выше, чем Ca (рис. 1). Из микроэлементов в почвах западной части цирка отмечены высокие концентрации Ni, Co, Cr, в отличие от состава почв на других изученных участках. Между валовым содержанием Ca, Mg, Ni, Sr и Cu и подвижной формой этих элементов в почвах существует тесные достоверные при $p < 0,01$ зависимости. Известно, что для нормального развития растений соотношение подвижных форм Ca/Mg должно быть не менее 1,2 [15], для участка Сукор 3, на ультраосновных породах это отношение < 1 (табл. 1), что создает условия, неблагоприятные для минерального питания растений. В тоже время, несмотря на высокую концентрацию в почве Co и Cr, содержание подвижной формы этих микроэлементов достаточно низкое и не превышает содержания в почвах, сформированных на других горных породах.

Образцы почв, отобранные в восточной части цирка Сукорского обвала (Сукор В), отличаются по минеральному составу. Это связано с тем, что восточная часть представляет собой серпентинитовый меланж с включенными блоками метаморфических и карбонатных пород, среди которых залегают дайки основных пород – габбро, габбро диабазов и реже – габбро-диоритов [16]. В связи с этим в данных почвах присутствует большое количество кальция, и соотношение Ca/Mg больше 1, что не характерно для ультраосновных пород и создает более благоприятные условия для обитания растений. По содержанию SiO_2 почвы популяций Актру, Улаган и Сайлюгем сформированы на кислых, Чибитка – на карбонатных породах.

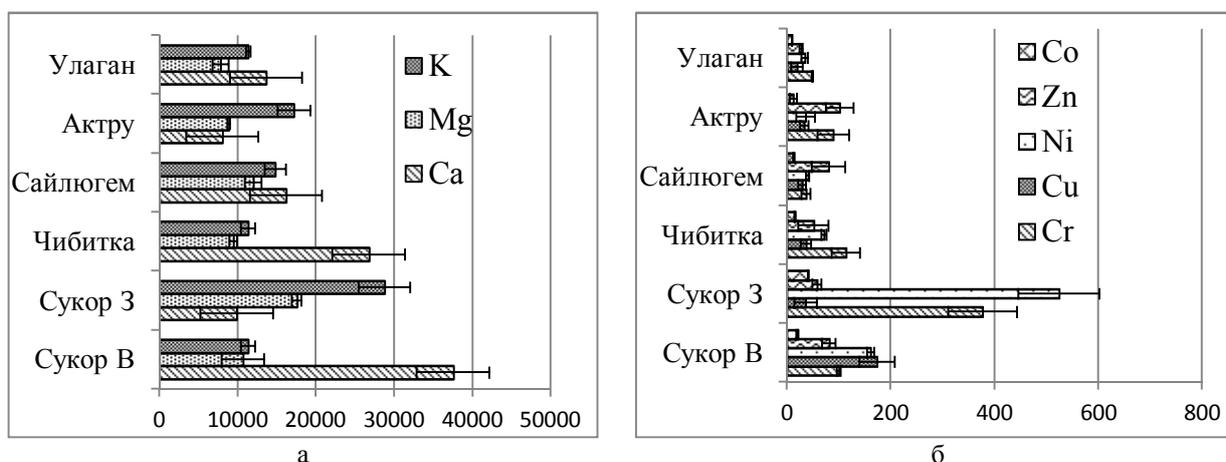


Рис. 1. Среднее валовое содержание микро-(б) и макроэлементов (а) в почвах на разных типах пород Горного Алтая. По оси абсцисс – содержание элементов в мг/кг воздушно-сухого вещества, по оси ординат – анализируемые элементы в точках отбора проб

Таблица 1. Реакция среды и среднее содержание подвижной формы микро- и макроэлементов в почвах на разных типах пород Горного Алтая (мг/кг воздушно-сухой почвы)

	Сукор В	Сукор З	Чибитка	Сайлюгем	Актру	Улаган
pH сол	6.2±0.6	5.9±0.4	6.4±1.2	6.4±0.3	5.2±0.3	4.9±0.2
Ca	14333±2013	3200±173	10300±3818	6200±1709	3550±778	3700±1273
Cd	0.16±0.05	0.05±0.01	0.11±0.02	0.09±0.03	0.06±0.01	0.04±0.04
Co	1.87±0.96	0.57±0.23	0.48±0.05	0.27±0.10	0.25±0.04	0.40±0.05
Cu	1.45±0.55	0.13±0.04	1.03±0.68	0.39±0.16	0.16±0.03	0.24±0.04
Cr	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fe	24±13	18±2	40±22	31±27	41±40	176±89
K	314±119	133±8	215±67	83±29	320±157	110±42
Li	0.62±0.06	0.28±0.02	0.56±0.16	0.37±0.07	0.39±0.06	0.21±0.06
Mg	2237±554	4490±804	781±107	344±100	440±93	198±93
Mn	203±76	132±15	258±73	128±28	139±12	16±8
Na	177±58	97±5	99±14	78±9	83±2	84±11
Ni	3.8±1.8	12.7±8.4	1.4±0.2	0.8±0.2	0.8±0.2	0.7±0.02
Pb	0.8±0.5	< 0.10	0.8±0.3	2.3±0.1	< 0.10	< 0.10
Sr	22.4±4.4	16.6±7.3	22.1±0.2	25.2±3.9	25.7±0.04	14.0±4.7
Zn	7.0±4.4	1.1±1.0	2±0.2	3.5±1.1	2.3±0.4	0.6±0.1
Ca/Mg	6.4	0.7	13.2	18.0	8.1	18.7

Анализ содержания 25 изученных микро- и макроэлементов в листьях и стеблях *L. caerulea* subsp. *altaica*, произрастающего на породах контрастного состава, показал его значительное варьирование (табл. 2). Макроэлементы Ca, Mg, K, P, Si, Fe, Na и микроэлементы – Cu, Co, Cr, Mn, Zn, V, Ni, Ba, B, Sr относятся к биофильным (эссенциальным) элементам [17]. Биологическое значение других химических элементов обнаруженных в органах *L. caerulea* subsp. *altaica*, пока еще не достаточно ясно, но приведенные данные по их содержанию могут быть полезны для формирования научного представления о нативном уровне концентрации микро- и макроэлементов в разных видах растений и сравнительной оценки изменения их содержания в различных условиях произрастания.

Распределение и накопление микро- и макроэлементов в органах алтайского подвида жимолости синей имело различный характер (табл. 2), вероятно, это связано с их разной физиологической функцией в растении. Листья *L. caerulea* subsp. *altaica* по сравнению со стеблями характеризовались более высокой до – 9.9% – концентрацией зольных элементов. Их повышенная зольность обусловлена более интенсивным (в 2–3 раза и выше) накоплением макроэлементов Ca, Mg, K, P и Si. В листьях наблюдалось и самое высокое содержание микроэлементов Sr, Ni, B, Ga, La и Zr. В стеблях более интенсивно накапливались Al, Cu, Mn и Zn. Распределение остальных микроэлементов по органам было либо достаточно равномерным, либо варьировало в зависимости от места произрастания. Полученные результаты в основном сопоставимы и значительно расширяют данные по распределению химических элементов по органам *L. caerulea* [6], полученные атомно-абсорбционным методом.

В растениях на ультраосновных породах на участке Сукор З наблюдается достоверное снижение содержания Ca, K и увеличение содержания Mg, Ni по сравнению с популяциями на других участках (рис. 2). Накопление Ni здесь увеличивается в 6–25 раз. Корреляционный анализ показал, что между накоплением Ca, Mg и Ni в растениях и содержанием подвижной формы этих элементов в почве наблюдается тесная достоверная при $p < 0.01$ зависимость ($r = 0.60–0.92$). Согласно ранее проведенным исследованиям [18] такие закономерности наблюдались и у других видов высших растений на ультраосновных породах Полярного Урала.

Ростовые процессы и устойчивость растений в значительной степени определяются взаимодействием в них и почве элементов питания. Соотношение химических элементов является более информативным для физиологии растительного организма по сравнению с количественным содержанием макро- и микроэлементов [20], наиболее важные из них приведены в таблице 3. Считается, что для нормального роста растений соотношение Ca/Mg в растениях должно быть не ниже 1.9, низкое отношение Ca/Mg можно рассматривать как ограничивающий фактор [15]. В листьях растений на ультраосновных породах отмечается очень неблагоприятное соотношение Ca/Mg <1. Соотношение K/Ca характеризуется достаточно постоянной величиной и определяет тип минерального питания растений. В контрастных по элементному составу почвенных условиях соотношение K/Ca в листьях растений изменяется в пределах 0.5–1.0, что позволяет отнести *L. caerulea* subsp. *altaica* к растениям с кальциотрофным типом минерального обмена [19]. Необходи-

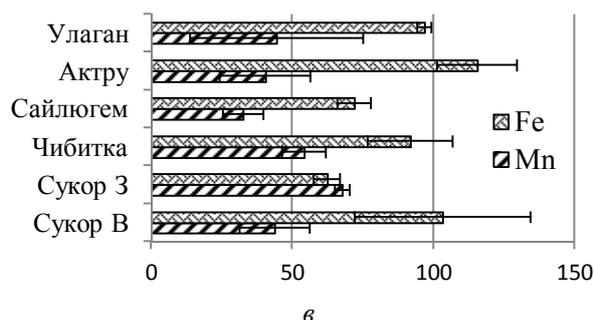
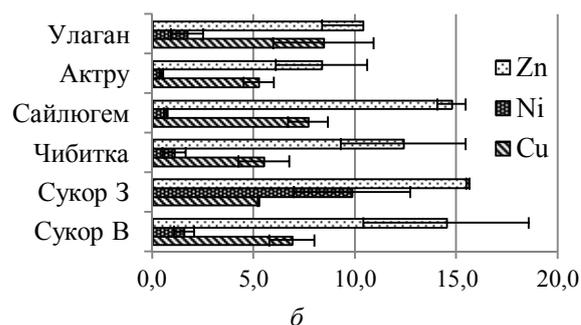
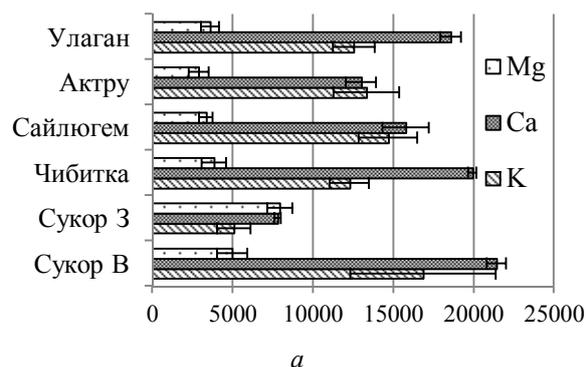
димым условием для нормального развития растений является соотношение Fe/Mn 1.5–2.5 [20]. По нашим данным, минимальной величиной Fe/Mn – 0.9 характеризовались листья *L. caerulea* subsp. *altaica* из популяции Сукор 3, что говорит о нарушении поступления Fe в листья растения. Низкое содержание железа в листьях, по всей видимости, обусловлено конкуренцией Ni с этим элементом.

Таблица 2. Содержание золы (в %), микро- и макроэлементов в органах *L. caerulea* subsp. *altaica* в зависимости от места произрастания, мг/кг воздушно-сухого вещества (K, Ca, Mg, P, Si – г/кг)

		Сукор В	Сукор 3	Чибитка	Сайлюгем	Актру	Улаган
зола	лист	9.5±0.57	7.7±0.04	9.1±0.75	8.2±0.25	7.7±0.04	8.8±0.00
	стебель	3.3±0.33	2.9±0.10	3.1±0.42	3.5±0.63	3.4±0.36	3.5±0.16
Al	лист	127±48	74±3	145±36	82±15	136±10	103±11
	стебель	142±74	196±33	202±31	96±42	353±73	174±85
Ba	лист	31±14	64±17	143±14	139±40	83±50	184±1
	стебель	37±21	95±53	65±22	119±9	117±26	143±23
Be	лист	0.05±0.010	0.04±0.001	0.05±0.007	0.05±0.006	0.03±0.007	0.05±0.005
	стебель	0.02±0.002	0.02±0.002	0.02±0.004	0.02±0.004	0.02±0.001	0.02±0.001
B	лист	59±15	56±9	27±7	35±12	28±6	30±13
	стебель	12±0.2	13±0.7	8±1.1	11±0.9	10±1.0	11±0.4
Ca	лист	21.4±0.6	7.8±0.2	19.9±0.2	15.8±1.4	13.0±0.9	18.6±0.6
	стебель	6.6±0.1	2.8±0.6	5.9±1.0	4.5±0.7	5.5±0.1	6.8±0.7
Co	лист	0.06±0.02	0.06±0.00	0.10±0.00	0.10±0.04	0.06±0.02	0.09±0.03
	стебель	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00	0.06±0.02	0.06±0.01	0.06±0.02
Cr	лист	0.6±0.1	1.1±0.4	0.7±0.1	0.5±0.0	0.5±0.1	0.7±0.1
	стебель	0.4±0.13	0.6±0.07	0.3±0.07	0.3±0.13	0.5±0.09	0.4±0.06
Cu	лист	6.9±1.1	5.2±0.02	5.5±1.2	7.7±1.0	5.3±0.7	8.5±2.5
	стебель	9.7±0.5	6.9±2.6	6.6±2.1	10.1±4.3	9.8±1.9	10.2±3.4
Fe	лист	103±31	62±5	92±15	73±5	116±14	97±3
	стебель	101±54	119±24	103±13	55±21	188±37	108±47
Ga	лист	0.22±0.07	0.19±0.00	0.21±0.04	0.14±0.05	0.11±0.02	0.18±0.00
	стебель	0.08±0.009	0.08±0.002	0.07±0.010	0.08±0.007	0.08±0.010	0.08±0.002
K	лист	16.8±4.5	5.1±1.0	12.2±1.2	14.7±1.8	13.3±2.1	12.5±1.3
	стебель	8.3±1.0	4.9±0.2	6.9±0.3	7.2±0.6	6.3±0.4	6.1±0.7
La	лист	0.16±0.01	0.25±0.01	0.30±0.06	0.25±0.03	0.11±0.09	0.24±0.03
	стебель	0.06±	0.1±0.03	0.07±0.01	0.17±0.09	0.08±0.00	0.10±0.03
Mg	лист	5.0±0.9	7.9±0.8	3.8±0.8	3.3±0.4	2.9±0.6	3.6±0.6
	стебель	1.1±0.02	1.7±0.40	0.7±0.20	0.8±0.02	1.0±0.02	0.9±0.00
Mn	лист	44±12	68±3	54±8	33±7	40±16	44±31
	стебель	84±48	126±1	68±26	55±23	144±35	100±60
Na	лист	55±15	37±5	56±12	43±6	49±4	60±4
	стебель	47±22	53±9	40±7	36±7	79±17	68±16
Ni	лист	1.6±0.5	9.9±2.9	1.1±0.6	0.7±0.1	0.4±0.1	1.7±0.8
	стебель	0.5±0.08	2.4±0.46	0.3±0.12	0.4±0.12	0.3±0.03	0.5±0.21
P	лист	1.7±0.5	3.5±0.3	1.4±0.4	2.4±0.9	1.5±0.3	3.1±1.0
	стебель	0.7±0.03	0.6±0.26	0.4±0.10	0.9±0.23	0.8±0.10	0.9±0.21
Si	лист	4.0±1.0	5.8±0.6	1.6±0.4	1.2±0.5	2.2±0.3	2.4±0.2
	стебель	0.4±0.16	0.6±0.12	0.5±0.07	0.3±0.09	1.0±0.19	0.5±0.23
Sr	лист	64±9	43±6	98±15	101±24	100±19	107±9
	стебель	34±7	28±12	33±10	48±4	71±8	51±3
Ti	лист	7.1±1.7	5.8±0.1	7.3±1.3	5.6±0.9	7.2±0.6	6.6±1.6
	стебель	6.4±3.1	8.9±0.6	7.9±0.9	5.1±2.5	16.7±3.1	10.1±4.1
V	лист	0.5±0.26	0.3±0.00	0.8±0.11	0.4±0.21	0.7±0.00	0.6±0.08
	стебель	0.4±0.15	0.4±0.07	0.4±0.09	0.3±0.09	0.7±0.15	0.5±0.09
Y	лист	0.10±0.05	0.08±0.00	0.12±0.03	0.09±0.01	0.09±0.04	0.11±0.01
	стебель	0.06±0.021	0.08±0.010	0.06±0.012	0.06±0.025	0.16±0.028	0.09±0.010
Yb	лист	0.02±0.01	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
	стебель	0.01±0.003	0.01±0.002	0.01±	0.01±0.005	0.02±0.002	0.01±0.003
Zn	лист	14±4.1	16±0.1	12±3.1	15±0.7	8±2.3	10±2.0
	стебель	25±6.8	35±2.8	17±4.6	27±2.3	20±3.6	24±9.2
Zr	лист	1.3±0.4	1.2±0.1	1.4±0.2	1.2±0.1	0.8±0.2	1.3±0.1
	стебель	0.5±0.07	0.6±0.08	0.4±0.07	0.7±0.17	0.8±0.09	0.7±0.05

Таблица 3. Соотношения микро- и макроэлементов в органах *L. caerulea* subsp. *altaica* в зависимости от места произрастания

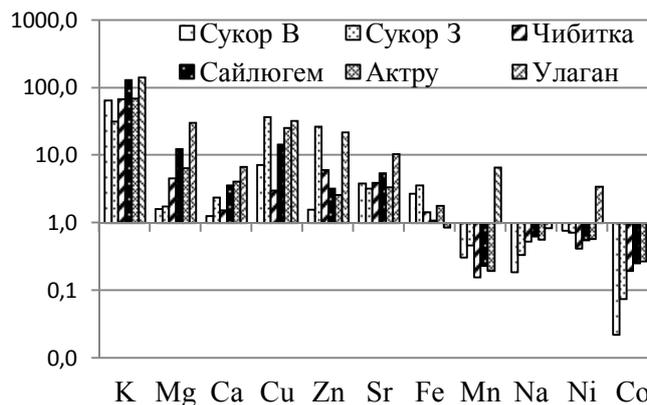
Отношения элементов	Органы растений	Сукор В	Сукор З	Чибитка	Сайлюгем	Актру	Улаган
Ca/Mg	лист	4,4	0,99	5,3	4,7	4,6	5,2
	стебель	5,8	1,7	8,5	5,6	5,4	7,8
K/Ca	лист	0,8	0,7	0,6	0,9	1,0	0,7
	стебель	1,3	1,8	1,2	1,6	1,1	0,9
Fe/Mn	лист	2,4	0,9	1,7	2,3	3,2	2,8
	стебель	1,2	0,9	1,6	1,0	1,3	1,1
Fe/Ni	лист	69	7	96	108	272	63
	стебель	197	49	343	168	707	237

Рис. 2. Среднее валовое содержание макроэлементов (а) и микро- (б, в) и в листьях *L. caerulea* subsp. *altaica*. По оси абсцисс – содержание элементов в мг/кг воздушно-сухого вещества. По оси ординат – анализируемые элементы в точках отбора проб

Сравнительный анализ величины КБН (рис. 3) показал значительное снижение интенсивности поглощения Mg, Na и Co в популяции «Сукор З» на ультраосновных породах, по сравнению растениями, произрастающими на кислых породах, характеризующихся низким содержанием этих элементов в почве. Такую закономерность мы наблюдали и в других районах исследования на участках с неоднородным химическим составом почв [21]. Однако снижение интенсивности поглощения K, Ca и Sr, по всей видимости, связано не с увеличением содержания этих элементов в почве (оно сравнимо по концентрации с популяциями на кислых породах), а с нарушением минерального обмена, связанного с неблагоприятным соотношением Ca/Mg (в среднем 0,7) в почве. Высокие концентрации подвижного Mg препятствуют поглощению жизненно необходимых для растения элементов [20]. Высокое содержание Ni в органах растений на этом участке (см. табл. 1, рис. 2) так же является следствием нарушения поглотительных барьеров в связи с содержанием подвижной формы Ni в почве в токсичной для растения концентрации до 18,5 мг/кг, превышающей более 4 раз ПДК (по ГН 2.1.7.2041-06).

Видоспецифичной особенностью различных видов лекарственных растений, активно синтезирующих флавоноиды, является интенсивное накопление определенных групп микроэлементов [22]. *L. caerulea* subsp. *altaica* является концентратором (КБН>1) микроэлементов Cu и Zn. Медь отличается довольно стабильным содержанием в органах *L. caerulea* subsp. *altaica* изменяется в листьях от 4,7 до 10,2 мг/кг и в стеблях от 5,0 до 14,5 мг/кг. Содержание Zn варьирует в листьях в диапазоне 6,8–15,6 мг/кг и в стеблях 13,4–36,6 в зависимости от местообитания (рис. 2). В составе различных ферментов Cu и Zn играют важную роль в разнообразных метаболических реакциях [17]. Согласно обобщенным литературным данным [20] у различных видов растений отмечаются большие флуктуации Zn на протяжении вегетации. В период созревания плодов *L. caerulea* subsp. *altaica* вероятен его активный транспорт по стеблям в связи с его участием в формировании семян.

Рис. 3. Коэффициенты биологического накопления листьями *L. caerulea* subsp. *altaica* микро- и макроэлементов в зависимости от места произрастания растений. По оси абсцисс – анализируемые элементы в точках отбора проб, по оси ординат – отношение содержания элементов в сухой фитомассе к концентрации их подвижной формы в почве (в логарифмической шкале)



Известно, что при определенных условиях микроэлементы могут вызывать токсические реакции. Согласно биогеохимическим критериям оценки территории, максимально допустимый уровень содержания Ni, Sr и Co в укосах растений и растительных кормах составляет 5, Cu – 20, Zn и Fe – 100 мг/кг воздушно-сухой массы [23]. В популяции *L. caerulea* subsp. *altaica* на ультраосновных породах наблюдается значительное превышение в листьях растений этого показателя по Ni. Согласно ранее проведенным исследованиям в 40 популяциях Горного Алтая [6], накопление Ni в плодах *L. caerulea* subsp. *altaica*, в среднем в 2 раза выше, чем в листьях, при КБН>10, что говорит о плодах этого вида как концентраторах никеля и их потенциальной большей токсичности по сравнению с другими органами растений. Превышение допустимого уровня накопления Fe в листьях растений отмечалось на основных (Сукор В) и кислых (Актру) породах, а в стеблях – во всех исследуемых популяциях (за исключением Сайлюгем). Полученные результаты необходимо принимать во внимание при сборе и использовании растительного сырья для приготовления галеновых препаратов, поскольку в настои и отвары переходит около 50% микроэлементов содержащихся в растениях [24, 25].

Выводы

Результаты проведенных исследований показали значительную вариабельность содержания микро- и макроэлементов в органах *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* в зависимости от почвенно-геохимических условий. В популяциях на ультраосновных породах отмечается значимое снижение содержания Ca и K в органах растений и увеличение содержания Mg и Ni по сравнению с популяциями на других участках.

Корреляционная зависимость достоверная при $p < 0.01$, установлена между накоплением Ca, Mg и Ni в растениях и содержанием подвижной формы этих элементов в почве ($r = 0.60-0.92$). Предполагается, что снижение интенсивности поглощения K, Ca и Sr связано с нарушением минерального обмена, вызванного высокими концентрациями подвижного Mg в почве и физиологически неблагоприятным для растений соотношением Ca/Mg (в среднем Ca/Mg=0,7).

Листья *L. caerulea* subsp. *altaica* по сравнению со стеблями характеризовались более высокой концентрацией макроэлементов Ca, Mg K, P и Si и микроэлементов Sr, Ni, Mo, B, Ga, La и Zr. В стеблях более интенсивно накапливались Al, Cu, Mn и Zn.

Превышение допустимого уровня накопления Ni в листьях растений выявлено в популяции на ультраосновных породах. Высокие концентрации Fe, превышающие допустимый уровень, отмечались в листьях растений на основных и в отдельных популяциях на кислых породах, а также в стеблях растений практически во всех исследуемых популяциях. Полученные результаты необходимо учитывать при сборе и использовании фитосырья в лекарственных целях. Поскольку для *Lonicera caerulea* характерна наибольшая концентрация Ni в плодах растений, они могут быть токсичны при произрастании растений в зонах выхода ультраосновных пород и, возможно, в зонах техногенного загрязнения.

Список литературы

1. Минаева В.Г. Жимолость алтайская – *Lonicera altaica* Pall. ex DC. // Лекарственные растения Сибири. Новосибирск, 1970. С. 254–255.
2. Стрельцина С.А., Сорокин А.А., Плеханова М.Н., Лобанова Е.В. Состав биологически активных фенольных соединений сортов жимолости в условиях северо-западной зоны плодоводства РФ // Аграрная Россия. 2006. №6. С. 67–72.

3. Palikova I., Heinrich J., Bednar P., Marhol P., Kren V., Cvak L., Valentova K., Ruzicka F., Hola V., Kolar M., Simanek V., Ulrichova J. Constituents and Antimicrobial Properties of Blue Honeysuckle: A Novel Source for Phenolic Antioxidants // *J. Agric. Food Chem.* 2008. V. 56. Pp. 11883–11889.
4. Celli G.B., Ghanem A., Su Ling Brooks M. Haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) – a critical review of antioxidant capacity and health-related studies for potential value-added products // *Food Bioprocess Technol.* 2014. V. 7. Pp. 1541–1554. doi: 10.1007/s11947-014-1301-2
5. Jurikova T., Rop O., Mlcek J., Sochor J., Balla S., Szekeres L., Hegedusova A., Hubalek J., Adam V., Kizek R. Phenolic profile of edible honeysuckle berries (genus *Lonicera*) and their biological effects // *Molecules.* 2012. V. 17. Pp. 61–79. doi:10.3390/molecules17010061
6. Боярских И.Г., Сысо А.И., Худяев С.А. Изменчивость элементного состава *Lonicera caerulea* (*Caprifoliaceae*) в популяциях Горного Алтая // *Растительные ресурсы.* 2013. Вып. 4. С. 571–585.
7. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М. Почему растения лечат. М., 1989. 256 с.
8. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н., Соколова С.М., Бузук Л.Н. Роль элементов и физиологически активных соединений в регуляции образования и накопления индольных алкалоидов *Catharanthus roseus* L. // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2005. №3. С. 340–346.
9. Боярских И.Г., Чанкина О.В., Сысо А.И., Васильев В.Г. Тренды содержания химических элементов в листьях *Lonicera caerulea* (*Caprifoliaceae*) в связи с их вторичным метаболизмом в природных популяциях Горного Алтая // *Известия РАН. Серия Физическая.* 2015. Т. 79, № 1. С. 106–110 / Boyarskikh I.G., Chankina O.V., Syso A.I., Vasiliev V.G. Trends in the Content of Chemical elements in leaves of *Lonicera caerulea* (*Caprifoliaceae*) in connection with their secondary metabolism in the natural populations of the Altai Mountains // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences Physics.* 2015. V. 79, N1. Pp. 94–97. doi: 10.7868/S0367676515010081
10. Гусев А.И. Карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения (Республика Алтай). М-б 1:500 000. ФГУП «Горно-Алтайская ПСЭ», 2004.
11. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 342 с.
12. Glantz S.A. Primer of biostatistics. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2012. 320 p.
13. Велинский В.В., Банников О.Л. Оливины альпинотипных гнейзобазитов. Новосибирск, 1986. 103 с.
14. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск, 2007. 277 с.
15. Erschbamer B. Das Jonenmilieu im durchwurzelten Oberboden und seine Auswirkungen auf die Verbreitung der beiden *Carex curvula* Unterarten, *Carex curvula* ssp. *curvula* *Carex curvula* ssp. *rosae* in der Dolomiten, Italien // *Flora.* 1991. Bd. 185. Ht 5. S. 345–355.
16. Гончаренко А.И., Кузнецов П.П., Гертнер И.Ф. Структурная эволюция офиолитов Чагануэунского массива (Горный Алтай) // *Вопросы геологии Сибири.* Под ред. А.И. Гончаренко. Томск, 1992. Вып. I. С. 34–48.
17. Битюцкий Н.П. Минеральное питание растений. СПб., 2014. 540 с.
18. Алексеева-Попова Н.В., Дроздова И.В. Микроэлементный состав растений Полярного Урала в контрастных геохимических условиях // *Экология.* 2013. № 2. С. 90–98. / Alexeeva-Popova N.V., Drozdova I.V. Micronutrient composition of plants in the Polar Urals under contrasting geochemical conditions // *Russian Journal of Ecology.* 2013. V. 44, N2. Pp. 100–107. doi: 10.7868/S0367059713020030
19. Horak O., Kinzel H. Typen des Mineralstoffwechsel bei den höheren Pflanzen // *Osterr. Bot. Z.* 1971. V. 119. N4–5. Pp. 475–495.
20. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. CRC Taylor and Francis Group, 2011. 505 p.
21. Боярских И.Г., Чанкина О.В., Худяев С.А., Сысо А.И. Исследование элементного состава системы почва-растение на примере *Lonicera caerulea* // *Известия РАН. Серия Физическая.* 2013. Т. 77, №2. С. 212–215 / I.G. Boyarskikh, O.V. Chankina, S.A. Khudyaev, A.I. Syso. Investigating the elemental composition of a soil–plant system, based on the example of *Lonicera caerulea* // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics.* 2013. V. 77, N 2. Pp. 191–194. doi: 10.3103/S1062873813020093
22. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н., Быховский В.Я., Пономарева С.М. Особенности элементного состава лекарственных растений, синтезирующих фенольные соединения // *Прикладная биохимия и микробиология.* 1999. №5. С. 576–589.
23. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992.
24. Гравель И.В., Шойхет Я.Н., Яковлев Г.П., Самылина И.А. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. М., 2012. 304 с.
25. Сиромля Т.И. Содержание химических элементов в водном экстракте *Plantago major* L. при антропогенной нагрузке // *Вопросы биологической медицинской и фармацевтической химии.* 2014. №9. С. 65–66.

Поступило в редакцию 13 февраля 2018 г.

После переработки 2 апреля 2018 г.

Для цитирования: Боярских И.Г., Сысо А.И., Сиромля Т.И. Особенности минерального состава *Lonicera caerulea* в контрастных геохимических условиях // *Химия растительного сырья.* 2018. №3. С. 129–138. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033740.

Boyarskikh I.G.^{1*}, Syso A.I.², Siromlya T.I.² MINERAL COMPOSITION OF *LONICERA CAERULEA* PHYTOMASS IN CONTRASTING GEOCHEMICAL ENVIRONMENTS

¹Central Siberian Botanical Garden of the SB RAS, Zolotodolinskaya st., 101, Novosibirsk, 630090 (Russia),

e-mail: irina_2302@mail.ru

²Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, Akademika Lavrent'yeva av., 8–2, Novosibirsk, 630090 (Russia)

To study mineral composition of honeyberry (*Lonicera caerulea* L.) phytomass in contrasting geochemical environments, the accumulation of macro- and trace elements, as related to their soil content in undisturbed Mountainous Altai ecosystems, was determined in organs of the Altai subspecies of honeyberry, growing in the geochemically anomalous environment on ultrabasic rocks and in the geochemically normal environment. Total chemical element content in soil and plants was determined by atomic emission spectrometry, while labile forms of K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Li, Sr were measured by atomic adsorption spectrometry. Organ distribution and variation limits were determined for 30 macro- and trace elements. Leaves were shown to accumulate Sr, Ni, Mo, B, Ga, La and Zr more intensively in comparison with stems, while the latter accumulated more intensively Al, Cu, Mn and Zn. Plants grown on ultrabasic rocks had decreased Ca, K, Fe and Sr contents and increased Mg and Ni contents as compared with plants growing on acidic, carbonated and basic rocks. Decreased rate of K, Ca and Sr uptake by honeysuckle plants was most likely due to the mineral exchange distortion because of soil Ca/Mg ratio, which was unfavourable for plants. Leaves of plants growing on the ultrabasic rocks were shown to accumulate Ni in high concentrations. Increased Fe accumulation was found in leaves of plants growing on basic rocks, while stems had increased Fe concentrations in all study sites. The obtained results should be carefully considered for the purposes of phytomass collection and preparation for medicinal use.

Keywords: *Lonicera caerulea*, elemental composition of plants, natural geochemical anomaly, Altai Mountains.

References

1. Minayeva V.G. *Lekarstvennyye rasteniya Sibiri*. [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk, 1970, pp. 254–255. (in Russ.).
2. Strel'tsina S.A., Sorokin A.A., Plekhanova M.N., Lobanova Ye.V. *Agrarnaya Rossiya*, 2006, no. 6, pp. 67–72. (in Russ.).
3. Palikova I., Heinrich J., Bednar P., Marhol P., Kren V., Cvak L., Valentova K., Ruzicka F., Hola V., Kolar M., Simanek V., Ulrichova J. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, vol. 56, pp. 11883–11889.
4. Celli G.B., Ghanem A., Su Ling Brooks M. *Food Bioprocess Technol.*, 2014, vol. 7, pp. 1541–1554. doi: 10.1007/s11947-014-1301-2
5. Jurikova T., Rop O., Mlcek J., Sochor J., Balla S., Szekeres L., Hegedusova A., Hubalek J., Adam V., Kizek R. *Molecules*, 2012, vol. 17, pp. 61–79. doi:10.3390/molecules17010061
6. Boyarskikh I.G., Syso A.I., Khudyayev S.A. *Rastitel'nyye resursy*, 2013, issue 4, pp. 571–585. (in Russ.).
7. Lovkova M.YA., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.M. *Pochemu rasteniya lechat*. [Why plants are treated]. Moscow, 1989, 256 p. (in Russ.).
8. Lovkova M.YA., Buzuk G.N., Sokolova S.M., Buzuk L.N. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2005, no. 3, pp. 340–346. (in Russ.).
9. Boyarskikh I.G., Chankina O.V., Syso A.I., Vasiliev V.G. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences Physics*, 2015, vol. 79, no. 1, pp. 94–97. doi: 10.7868/S0367676515010081
10. Gusev A.I. *Karta poleznykh iskopayemykh i zakonmernostey ikh razmeshcheniya (Respublika Altay)*. [Map of minerals and regularities of their location (the Republic of Altai)]. Gorno-Altaysk, 2004. (in Russ.).
11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii*. [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk, 2004, 342 p. (in Russ.).
12. Glantz S.A. *Primer of biostatistics*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2012. 320 p.
13. Velinskiy V.V., Bannikov O.L. *Oliviny al'pinotipnykh gnderbazitov*. [Olivines of alpinotypic hiperbasites]. Novosibirsk, 1986, 103 p. (in Russ.).
14. Syso A.I. *Zakonmernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoy Sibiri*. [Regularities in the distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils in Western Siberia]. Novosibirsk, 2007, 277 p. (in Russ.).
15. Erschbamer B. *Flora*, 1991, bd. 185, ht 5, s. 345–355. (in German).
16. Goncharenko A.I., Kuznetsov P.P., Gertner I.F. *Voprosy geologii Sibiri*. [Questions of geology of Siberia]. Ed. A.I. Goncharenko, Tomsk, 1992, issue. I, pp. 34–48. (in Russ.).
17. Bityutskiy N.P. *Mineral'noye pitaniye rasteniy*. [Mineral nutrition of plants]. St. Petersburg, 2014, 540 p. (in Russ.).
18. Alexeeva-Popova N.V., Drozdova I.V. *Russian Journal of Ecology*, 2013, vol. 44, no. 2, pp. 100–107. DOI: 10.7868/S0367059713020030
19. Horak O., Kinzel H. *Osterr. Bot. Z.*, 1971, vol. 119, no. 4–5, pp. 475–495.
20. Kabata-Pendias, A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th ed. CRC Taylor and Francis Group, 2011. 505 p.
21. Boyarskikh I.G., Chankina O.V., Khudyaev S.A., Syso A.I. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics*, 2013, vol. 77, no. 2, pp. 191–194. doi: 10.3103/S1062873813020093
22. Lovkova M.YA., Sokolova S.M., Buzuk G.N., Bykhovskiy V.YA., Ponomareva S.M. *Prikladnaya biokhimiya i mikro-biologiya*, 1999, no. 5, pp. 576–589. (in Russ.).

* Corresponding author.

23. *Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy si-tuatsii i zon ekologicheskogo bedstviya.* [Criteria for assessing the environmental situation in the territories to identify areas of extreme environmental conditions and zones of ecological disaster]. Moscow, 1992. (in Russ.).
24. Gravel' I.V., Shoykhet YA.N., Yakovlev G.P., Samylina I.A. *Farmakognosiya. Ekotoksikanty v lekarstvennom rastitel'nom syr'ye i fitopreparatakh.* [Pharmacognosy. Ecotoxicants in medicinal plant raw materials and phytopreparations]. Moscow, 2012, 304 p. (in Russ.).
25. Siromlya T.I. *Voprosy biologicheskoy meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2014, no. 9, pp. 65–66. (in Russ.).

Received February 13, 2018

Revised April 2, 2018

For citing: *Boyarskikh I.G., Syso A.I., Siromlya T.I. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 129–138. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018033740.