

**Популяционная изменчивость содержания микро- и макроэлементов
в органах *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* (Горный Алтай,
Северо-Чуйский хр., р. Кызыл-Ярык)**

**Population variability of micro and macro content in the organs of
Lonicera caerulea subsp. *altaica* (Gorny Altai, Severo-Chuisky Range,
Kyzyl-Yaryk River)**

Волкова Л. Р.¹, Боярских И. Г.^{1,2}, Сиromля Т. И.²

Volkova L. R.¹, Boyarskikh I. G.^{1,2}, Siromlya T. I.²

¹ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия.
E-mails: 97lyudmila-volk@mail.ru, irina_2302@mail.ru

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: tatiana@issa.nsc.ru, irina_2302@mail.ru

¹ Central Siberian Botanical Garden of the SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, Novosibirsk, Russia

Реферат. Проведен сравнительный анализ содержания микро- и макроэлементов в плодах, листьях и стеблях *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* в природной популяции в долине р. Кызыл-Ярык (Северо-Чуйский хр., Горный Алтай) в локальной зоне сгущения дизъюнктивных геологических структур.

Ключевые слова. Горный Алтай, листья, макро- и микроэлементы, плоды, стебли, *Lonicera caerulea* subsp. *altaica*.

Summary. The article shows the results of comparative analysis of the content of micro and macro elements in the fruits, leaves and stems of *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* in the natural population in the valley of the river Kyzyl-Yaryk (Severo-Chuisky Range, the Altai Mountains) in the zone of thickening of disjunctive geological structures.

Key words. The Altai Mountains, fruits, leaves, *Lonicera caerulea* subsp. *altaica*, macro- and microelements.

Жимолость синяя *Lonicera caerulea* L. – важное ресурсное растение, которое имеет большую ценность. Она обусловлена сверххранним сроком созреванием плодов, высоким содержанием в них витамина С, биологически активных фенольных соединений, (Chaovanalikit et al., 2004; Стрельцина и др., 2006), микро-и макроэлементов проявляющих антиоксидантную, иммуномодулирующую, антибактериальную, противовирусную, противогрибковую, антиаллергическую и др. виды активности (Jurikova et al., 2012). Целебные свойства *L. caerulea* известны очень давно. В традиционной, в том числе и тибетской медицине, для лечения различных заболеваний применяют не только плоды, но и листья, цветки, кору и ветви *L. caerulea* (Минаева, 1991).

На территории Горного Алтая *L. caerulea* произрастает в разнообразных экологических условиях, на разных высотах бореального вертикального пояса и склонах различной экспозиции, при неодинаковой величине инсоляции, тепло- и влагообеспеченности местообитаний. Популяции *L. caerulea* располагаются на участках, сложенных разнообразными горными породами, нередко с рудопроявлениями, в зонах сгущенных дизъюнктивных геологических структур и активных тектонических процессов, способных оказывать влияние на химизм почв, почвенных вод, почвенного и приземного воздуха, а также биохимический состав растений.

Целью данной работы было изучение видовой специфичности содержания и распределения макро- и микроэлементов в вегетативных и генеративных органах *L. caerulea* subsp. *altaica* Pall. (Caprifoliaceae Juss.), а также диапазона варьирования их концентраций в популяции Горного Алтая в

долине р. Кызыл-Ярык. Исследования проводили в 2017 г. на участке Северо-Чуйского хребта Горного Алтая. Участок проведения исследований был выбран в узле сочленения разломов на границе Северо-Чуйского хребта и Курайской межгорной впадины с разломной границей Чаган-Узунского горста, разделяющего Курайскую и Чуйскую впадины, в долине р. Кызыл-Ярык (Agatova, Nepor, 2016). Для изучения содержания микро- и макроэлементов в органах растений использовался метод атомно-эмиссионной спектроскопии.

Объектами исследования служили листья, стебли и плоды *L. caerulea*, собранные в фазе созревания плодов.

Анализ содержания 27 изученных микро- и макроэлементов в листьях, плодах и стеблях *L. caerulea* subsp. *altaica* показал различный характер распределения и накопления микро- и макроэлементов в органах жимолости синей (табл. 1). Макроэлементы: Ca, Mg, K, P, Si, Fe, Na и микроэлементы: Cu, Co, Cr, Mn, Zn, V, Ni, Mo, Ba, B, Sr – относятся к биофильным (эссенциальным) элементам. Биологическое значение других химических элементов, обнаруженных в органах *L. caerulea* subsp. *altaica*, пока еще недостаточно ясно.

Таблица 1

Содержание элементов в органах *L. caerulea* subsp. *altaica* в долине р. Кызыл-Ярык (мг/кг воздушно-сухого вещества; К, Са, Mg – г/кг)

		Кызыл - Ярык 1	Кызыл - Ярык 2	Кызыл - Ярык 3	Кызыл - Ярык 4	Кызыл - Ярык 5
зола, %	листья	9,4 ± 0,1	9,2 ± 0,2	9,5 ± 0,1	8,2 ± 0,55	6,9 ± 0,1
	плоды	4,4 ± 0,2	4,8 ± 0,2	4,8 ± 0,2	6,3 ± 0,71	3,4 ± 0,3
	стебель	3,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,5 ± 0,2	2,2 ± 0,1
Al	листья	58 ± 2	60 ± 4	54 ± 2	61 ± 9	51 ± 3
	плоды	20 ± 0,9	20 ± 1,3	17 ± 0,9	30 ± 9,8	12 ± 0,7
	стебель	82 ± 5	75 ± 10	83 ± 13	72 ± 8	65 ± 3
B	листья	38 ± 2,8	40 ± 1,4	35 ± 1,4	34 ± 4,1	29 ± 1,0
	плоды	12 ± 0,7	12 ± 0,4	11 ± 0,4	18 ± 4,4	8,1 ± 0,8
	стебель	12 ± 0,4	15 ± 0,6	13 ± 0,8	12 ± 0,7	8,5 ± 0,4
Ba	листья	74 ± 3	118 ± 11	124 ± 6,7	103 ± 17	82 ± 3,3
	плоды	11 ± 0,6	16 ± 1,2	17 ± 1,3	33 ± 15	9,4 ± 0,7
	стебель	55 ± 3,5	105 ± 12	85 ± 5,5	69 ± 3,7	51 ± 4,9
Be	листья	0,1 ± 0,004	0,1 ± 0,003	0,1 ± 0,003	0,05 ± 0,004	0,04 ± 0,002
	плоды	0,03 ± 0,002	0,03 ± 0,002	0,02 ± 0,001	0,04 ± 0,004	0,02 ± 0,003
	стебель	0,03 ± 0,002	0,03 ± 0,001	0,02 ± 0,001	0,02 ± 0,002	0,01 ± 0,001
Ca	листья	21 ± 0,7	18 ± 0,4	18 ± 0,8	16 ± 2,7	14 ± 0,6
	плоды	2,7 ± 0,3	2,8 ± 0,1	3,0 ± 0,2	5,6 ± 2,6	1,8 ± 0,3
	стебель	6,4 ± 0,2	6,8 ± 0,3	5,4 ± 0,2	5,5 ± 0,3	3,5 ± 0,1
Ce	листья	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,04	1,3 ± 0,11	2,2 ± 0,2
	плоды	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,04	1,04 ± 0,14	1,1 ± 0,2
	стебель	0,6 ± 0,02	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,5 ± 0,04	0,7 ± 0,1
Co	листья	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,2 ± 0,03
	плоды	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,04
	стебель	0,03 ± 0,004	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01
Cr	листья	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,03	0,4 ± 0,01	0,4 ± 0,04	0,3 ± 0,01
	плоды	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,02	0,3 ± 0,04	0,1 ± 0,02
	стебель	0,3 ± 0,02	0,4 ± 0,02	0,3 ± 0,02	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,02
Cu	листья	12 ± 0,7	13 ± 0,7	11 ± 0,6	9,4 ± 0,7	4,6 ± 0,9
	плоды	13 ± 1,4	13 ± 0,4	15 ± 1,3	12 ± 0,6	3,8 ± 0,4
	стебель	10 ± 1,4	15 ± 0,7	13 ± 0,4	11 ± 1,9	3,1 ± 0,5

Таблица 1 (продолжение)

		Кызыл - Ярык 1	Кызыл - Ярык 2	Кызыл - Ярык 3	Кызыл - Ярык 4	Кызыл - Ярык 5
Fe	листья	67 ± 5,9	67 ± 1,1	46 ± 2,6	68 ± 8,9	43 ± 4,3
	плоды	20 ± 2,2	19 ± 1,2	19 ± 1,6	36 ± 10	12 ± 2,3
	стебель	65 ± 4,7	53 ± 5,2	58 ± 10,2	59 ± 5,4	45 ± 4,2
Ga	листья	0,3 ± 0,03	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01
	плоды	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,01
	стебель	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,04 ± 0,002
K	листья	17 ± 1,01	16 ± 1,04	14 ± 0,7	17 ± 2,1	9,2 ± 0,8
	плоды	15 ± 1,4	18 ± 0,4	19 ± 0,7	22 ± 0,8	12 ± 1,4
	стебель	7,9 ± 0,4	8,5 ± 0,3	7,4 ± 0,3	8,3 ± 0,3	4,6 ± 0,5
La	листья	0,3 ± 0,02	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,04	0,3 ± 0,04
	плоды	0,2 ± 0,01	0,2 ± 0,02	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,04	0,2 ± 0,1
	стебель	0,1 ± 0,02	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01
Mg	листья	3,5 ± 0,1	3,9 ± 0,1	3,6 ± 0,2	3,6 ± 0,4	2,9 ± 0,1
	плоды	0,9 ± 0,02	1,1 ± 0,04	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,03
	стебель	0,1 ± 0,1	1,2 ± 0,04	1,2 ± 0,1	1,8 ± 0,5	0,8 ± 0,1
Mn	листья	54 ± 4,4	53 ± 6,3	35 ± 1,4	79 ± 14,3	98 ± 20
	плоды	16 ± 1,4	16 ± 0,6	12 ± 0,9	34 ± 12	16 ± 2,9
	стебель	91 ± 4,2	114 ± 17	87 ± 9,2	94 ± 15	127 ± 15
Mo	листья	3,9 ± 0,8	1,7 ± 0,14	0,9 ± 0,1	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01
	плоды	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,03	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	стебель	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,02 ± 0,003
Na	листья	67 ± 3,4	79 ± 4,3	76 ± 0,9	72 ± 3,8	47 ± 2,3
	плоды	33 ± 1,3	34 ± 2,8	33 ± 1,8	52 ± 5,1	24 ± 2,1
	стебель	351,7	36 ± 1,4	42 ± 3,8	42 ± 1,8	25 ± 1,4
Ni	листья	1,4 ± 0,1	1,69 ± 0,1	1,2 ± 0,03	1,4 ± 0,2	0,7 ± 0,04
	плоды	1,4 ± 0,2	2,1 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,6 ± 0,2	1,1 ± 0,25
	стебель	0,5 ± 0,04	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,3	0,5 ± 0,05
P	листья	4065 ± 302	4031 ± 310	2065 ± 161	2683 ± 173	1657 ± 211
	плоды	2133 ± 88	2275 ± 85	1746 ± 112	2324 ± 53	1142 ± 108
	стебель	798 ± 51	1109 ± 37	783 ± 79	691 ± 32	435 ± 38
Pb	листья	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,03	0,5 ± 0,02	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,02
	плоды	0,3 ± 0,03	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,1	0,1 ± 0,03
	стебель	0,4 ± 0,03	0,4 ± 0,03	0,4 ± 0,07	0,3 ± 0,04	0,2 ± 0,02
Sc	листья	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,004	0,1 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	плоды	0,03 ± 0,004	0,04 ± 0,004	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	стебель	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,001	0,02 ± 0,004
Si	листья	1631 ± 214	1796 ± 210	758 ± 22	727 ± 140	583 ± 87
	плоды	69 ± 5,7	73 ± 8,6	64 ± 3,5	236 ± 124	40 ± 4,1
	стебель	242 ± 17	209 ± 24	250 ± 38	177 ± 21	142 ± 15
Sr	листья	151 ± 5,5	145 ± 3,9	97 ± 8,6	80 ± 15	67 ± 3,2
	плоды	23 ± 2	24 ± 1	13 ± 1	24 ± 1	7 ± 1
	стебель	64 ± 4	80 ± 3	43 ± 2	38 ± 3	27 ± 1
Ti	листья	3,1 ± 0,2	2,9 ± 0,31	2,7 ± 0,1	3,8 ± 0,6	2,7 ± 0,1
	плоды	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,09	0,9 ± 0,1	1,7 ± 0,6	0,8 ± 0,1
	стебель	5,8 ± 0,5	4,5 ± 0,75	5,5 ± 1,0	4,9 ± 0,7	3,7 ± 0,5
V	листья	0,5 ± 0,01	0,5 ± 0,02	0,5 ± 0,01	0,5 ± 0,04	0,4 ± 0,01
	плоды	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,02
	стебель	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,02	0,3 ± 0,03	0,2 ± 0,01

Таблица 1 (окончание)

		Кызыл - Ярык 1	Кызыл - Ярык 2	Кызыл - Ярык 3	Кызыл - Ярык 4	Кызыл - Ярык 5
Zn	листья	23 ± 0,8	24 ± 0,78	32 ± 2,1	26 ± 2,7	20 ± 0,7
	плоды	12 ± 0,9	13 ± 0,44	14 ± 0,9	18 ± 2,3	8,5 ± 1,3
	стебель	39 ± 1,4	48 ± 5,74	52 ± 2,9	44 ± 5,5	28 ± 2,5
Zr	листья	1,7 ± 0,1	1,9 ± 0,08	1,9 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,1 ± 0,1
	плоды	0,8 ± 0,1	1,01 ± 0,05	0,8 ± 0,03	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,1
	стебель	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,07	0,8 ± 0,03	0,6 ± 0,04	0,42 ± 0,03

Листья *L. caerulea* subsp. *altaica* по сравнению с другими органами характеризовались более высоким содержанием зольных элементов до 9,5 %. Повышенную зольность можно обусловить более интенсивным накоплением макроэлементов К до 17,22 г/кг, Са до 20,86г/кг, Mg до 3,85 г/кг, P до 4,16 мг/кг и Si до 1796,5 мг/кг. В листьях наблюдалось и самое высокое содержание микроэлементов: Sr, Ni, Mo, B, Ga, La и Zr. В плодах отмечалось самое высокое содержание К до 22,301 г/кг, по сравнению с другими органами. В листьях наблюдалось высокое содержание Са, Mg и Sr. А в стебле накапливается больше всего Mn и Zn. Cu распределяется равномерно между листьями, плодами и стеблем, но в микропопуляции Кызыл-Ярык 5 наблюдалось минимальное содержание по сравнению с другими микропопуляциями.

Один из критериев оценки жизненного состояния растительного организма является соотношение в органах растений элементов минерального питания. Поэтому было оценено не только содержание микро- и макроэлементов, но и их соотношение в растениях (табл. 2). В изученной популяции *L. caerulea* subsp. *altaica* соотношение К/Са в листьях растений изменялось в пределах 0,5–1,0, что позволяет отнести этот вид к растениям с кальцитрофным типом минерального обмена (Horak et al., 1971). Необходимым условием для нормального развития растений является соотношение Fe/Mn 1,5–2,5 (Kabata-Pendias, 2011). По нашим данным, минимальной величиной Fe/Mn – 0,4 характеризовались листья *L. caerulea* subsp. *altaica* в микропопуляции Кызыл-Ярык 5, что говорит о нарушении поступления Fe в листья растения. Скорее всего, сдвиг в соотношении Fe/Mn в пользу марганца в листьях растений связан с режимом увлажнения на этом участке. Согласно литературным данным повышенные концентрации Mn часто связывают с увеличением влагообеспеченности места произрастания и кислотной реакцией среды. Соотношение Cu/Zn является относительно постоянной величиной и связано с процессами ферментосинтеза. Ранее было установлено, что данное соотношение в различных условиях Горного Алтая изменяется в пределах 0,2–0,3 (Боярских и др., 2015), на исследуемом участке соотношение доходит до 0,5, возможно, это связано с нарушениями физиологических процессов и требует дальнейших исследований.

Таблица 2

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

		Кызыл - Ярык 1	Кызыл - Ярык 2	Кызыл - Ярык 3	Кызыл - Ярык 4	Кызыл - Ярык 5
Cu/Zn	листья	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2
	плоды	1,0	1,0	1,0	0,7	0,4
	стебель	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
Fe/Mn	листья	1,2	1,3	1,3	0,9	0,4
	плоды	1,2	1,2	1,5	1,1	0,8
	стебель	0,7	0,5	0,7	0,6	0,4
K/Ca	листья	0,8	0,9	0,8	1,1	0,7
	плоды	5,6	6,3	6,2	4,0	6,9
	стебель	1,2	1,3	1,4	1,5	1,3

ЛИТЕРАТУРА

- Боярских И. Г., Васильев В. Г., Кукушкина Т. А.** Изменение метаболизма *Lonicera caerulea* в тектонически активной зоне Горного Алтая (Северо-Чуйский хр.) // Раст. мир Азиатской России. 2011. № 2. С. 114–119.
- 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.
- Минаева В. Г.** Лекарственные растения Сибири. – Новосибирск, 1991. – С. 431.
- 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.
- Agatova A., Nepar R.** Dating Strong Prehistoric Earthquakes and Estimating Their Recurrence Interval Applying Radiocarbon Analysis and Dendroseismological Approach – Case Study from SE Altai (Russia) // International Journal of Geohazards and Environment, 2016. – 2(3): 131–149.
- Chaovanalikit Arusa, Thompson M. M., Wrolstad R. E.** Characterization and quantification of anthocyanins and polyphenolics in Blue Honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) // J. Agricultural and Food Chem., 2004. – № 52. – P. 848–852.
- 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. – P. 61–79. doi:10.3390/molecules17010061
- Horak O., Kinzel H.** Typen des Mineralstoffwechsel bei den höheren Pflanzen // Osterr. Bot. Z., 1971. – V. 119. – № 4–5. – P. 475–495.
- Kabata-Pendias A.** Trace Elements in Soils and Plants. – 4th ed. CRC Taylor and Francis Group, 2011. – 505 p.