

УДК 581.192:581.52:582.973

МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЖИМОЛОСТИ СИНЕЙ И СПИРЕИ ДУБРАВКОЛИСТНОЙ В ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ ГОРНОГО АЛТАЯ В УСЛОВИЯХ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ

© И.Г. Боярских^{1,2*}, Т.И. Сиромля²

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

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

Рассмотрены особенности накопления макро- и микроэлементов в листьях и стеблях *Lonicera caerulea* и *Spiraea chamaedryfolia* в ценопопуляциях Горного Алтая на участке с блоками-включениями серпентинитов. Общее содержание макро- и микроэлементов в органах растений и почвах определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии, содержание подвижных форм элементов (экстрагент ацетатно-аммонийный буферный раствор с рН 4.8) в почвах анализировали атомно-абсорбционным методом. Установлена видовая специфичность аккумуляции отдельных элементов в органах растений. Спирея дубравколистная более интенсивно, чем жимолость синяя, накапливает Mn и Ni и является концентратором микроэлементов Zn, Cu и Mn, жимолость синяя – концентратор Zn и Cu. Выявлены видоспецифичные значимые корреляционные зависимости между содержанием подвижной формы Ni, Cd, Cr, Pb и Mg в почве и в органах растений. Между общим содержанием в органах растений и содержанием в почвах P и Cг отмечены отрицательные корреляционные зависимости, для Fe, Cd и Ni зависимости были положительными. Установлено увеличение концентрации Ni выше предельно допустимого уровня накопления и снижение содержания Ca в листьях *Lonicera caerulea* и *Spiraea chamaedryfolia*, произрастающих на площадках в зоне выхода ультраосновных пород.

Ключевые слова: *Lonicera caerulea*, *Spiraea chamaedryfolia*, элементный состав растений, ультраосновные породы, Горный Алтай.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № АААА-А21-121011290027-6 Центральный сибирский ботанический сад СО РАН и по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН).

Введение

Лечебные свойства различных видов растений обусловлены наличием биологически активных соединений [1–3], обладающих терапевтическими свойствами [4], а также содержанием биологически значимых макро- и микроэлементов (элементов, необходимых живым организмам для обеспечения нормальной жизнедеятельности). Их изучение с середины прошлого века стало предметом многочисленных научных исследований. Установлено, что существует взаимосвязь между накоплением в растениях определенных классов полифенолов и содержанием в них микроэлементов [5, 6], показаны зависимости между суммой полифенолов и отдельными микроэлементами в некоторых лекарственных видах растений [7, 8].

В условиях горного рельефа растительные популяции находятся под влиянием совместного действия различных факторов, связанных с изменением высоты (высотным градиентом), а также с изменением минерального состава горных пород, определяющих элементный состав почв. В комплексе эти факторы могут

Боярских Ирина Георгиевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: irina_2302@mail.ru

Сиромля Татьяна Ивановна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник,
e-mail: tatiana@issa.nsc.ru

оказывать влияние как на концентрацию макро- и микроэлементов, так и на уровень накопления полифенолов в органах растений. Алтае-Саянская горная область является одним из перспективных регионов для использования природных ресурсов

* Автор, с которым следует вести переписку.

лекарственных растений благодаря богатству и разнообразию флоры и растительности на этой территории [9]. Заготовка лекарственного сырья часто ведется без учета изменений биохимического состава растений, что может приводить к ухудшению его качества. Ранее было выявлено превышение допустимого уровня накопления Ni в листьях растений в популяции *Lonicera caerulea* L. на ультраосновных породах [10], а также увеличение концентраций Al, Fe, Mn до фитотоксичного уровня на кислых почвах [11].

Почвы, сформированные на ультраосновных коренных породах, характеризуются необычными химическими свойствами, они создают специализированные местообитания с экстремальными эдафическими условиями, которые включают дефицит питательных веществ (Ca, K, P, N), неблагоприятные соотношения Ca/Mg и высокое содержание потенциально токсичных металлов (Cr, Ni, и Co) [12, 13]. Концентрации этих металлов могут на порядок превышать пределы нормального содержания и создавать экологические угрозы для экосистем и здоровья человека [12, 14]. У растений ультраосновных экосистем сформированы механизмы устойчивости, позволяющие им аккумулировать токсичные элементы в физиологически безопасных для них формах, при этом их концентрации могут значительно превышать допустимые пределы содержания [15, 16]. Изучение районов природных геохимических аномалий представляет особый интерес, поскольку они могут быть скрытыми источниками экологического риска в связи с возможным повышением концентрации тяжелых металлов в лекарственных растениях. Использование растений, произрастающих на ультраосновных породах, в пищевых или лекарственных целях может представлять непосредственную опасность для здоровья человека [17].

Цель данной работы – сравнительное изучение особенностей накопления макро- и микроэлементов в вегетативных органах двух видов растений – *Lonicera caerulea* L. и *Spiraea chamaedryfolia* L. в ценопопуляциях Горного Алтая в зоне обнажений ультраосновных пород и в фоновом районе.

Экспериментальная часть

Исследования проведены в 2019 году в Республике Алтай, Усть-Коксинском р-не, в окрестности пос. Кайтанак (50°09' с. ш., 85°27' в. д., 1150–1290 м н.у.м). Основным источником для выбора мест отбора проб послужила геологическая карта [18]. Был выделен участок с блоками-включениями серпентинитов (ультраосновные породы). Здесь в серпентинитовой матрице заключены беспорядочно распределенные, преимущественно округлые (до шарообразных), разноразмерные «включения» массивных габбро, пироксенитов, темно-серых пелитовых осадков. Нередко в серпентинитовых телах отмечаются маломощные (до 1 см) прожилки хризотил-асбеста [18]. Пробные площадки T1, T2 и T3 были выбраны на 0.35 км профиле, в пригребневой зоне северного склона небольшого хребтика (отрог хребта Актайга). Содержание кремнезема (SiO₂) в T1, T2 и T3 соответственно составляло 52%, 50% и 33%. Выбор небольшого участка с чередующимися контрастными по минеральному составу породами обеспечивал контрастность по макро- и микроэлементному составу почв в сходных микроклиматических условиях произрастания растений. В качестве фонового участка для сравнения был выбран участок в долине р. Мульта (площадка T4), где доминируют средние по кислотности горные породы кремнисто-глинистые сланцы (содержание SiO₂ – 55%). Участки исследования находятся на территории, приграничной с Катунским заповедником.

На этих площадках были выделены ценопопуляции со сквозными видами лекарственных растений: *Spiraea chamaedryfolia* – спирея дубравколистная сем. Rosaceae и жимолость синяя – *Lonicera caerulea* сем. Caprifoliaceae Juss.

L. caerulea – важное ресурсное растение. Ценность этого вида обусловлена сверххранним сроком созреванием плодов, высоким содержанием в органах растений витамина С, биологически активных фенольных соединений [19], биологически значимых макро- и микроэлементов [20], проявляющих антиоксидантную, иммуномодулирующую, антибактериальную, противовирусную, противогрибковую, антиаллергическую и другие виды активности [20–22].

Этномедицинское использование видов рода *Spiraea* было задокументировано в Северной Америке, России и Азии [23]. Спиреи используются в качестве эффективных терапевтических обезболивающих, противовоспалительных, детоксицирующих, мочегонных и других средств. Обоснованность лечебного применения видов спиреи в народной медицине подтверждена современными научными экспериментами [23]. Из видов, произрастающих в Западной Сибири, биохимический состав *S. chamaedryfolia* изучен в наименьшей степени.

Для анализа содержания макро- и микроэлементов в системе почва-растения производили сопряженный отбор почвенных и растительных образцов методом квадрата и формировали средние пробы. Объекты

исследования – листья и стебли *S. chamaedryfolia* и *L. caerulea*, а также почва в зоне корневого питания растений (0–30 см). 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 определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии (установка для проведения исследований включает источник возбуждения спектров – дуговой аргонный двухструйный плазматрон (ДДП, Россия), устройство для распыления и подачи в плазменную струю исследуемого тонкодисперсного порошка, спектрометр (PGS-2, Германия), многоканальный анализатор эмиссионных спектров (МАЭС, Россия)). Для определения содержания элементов в листьях, стеблях и плодах их озоляли в муфельной печи при температуре 450 °С, золу разлагали концентрированными HNO₃ и HCl с 30%-ным раствором H₂O₂, а затем золу обрабатывали дистиллированной водой. 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 (FAAS) с использованием спектрометра AAnalyst400 (PerkinElmer). Данные приведены в пересчете на воздушно-сухое вещество. В качестве стандартов были использованы образцы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы САДПП-09/3 (ОСО № 18809), чернозема выщелоченного среднесуглинистого 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.

Интенсивность биологического поглощения элементов органами растений оценивали по значениям коэффициентов биологического накопления (КБН), рассчитываемых как отношение содержания элемента в сухом веществе растений к концентрации подвижной формы элемента в почве, извлекаемой из почвы ацетатно-аммонийным буфером. Это отношение также называют коэффициентом биогеохимической подвижности Вх. Он характеризует доступность элементов растениям и степень использования ими подвижных форм элементов, содержащихся в почве [24].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при помощи пакета программ STATISTICA 6.1. Распределение исследуемых химических элементов внутри отдельных микропопуляций соответствовало нормальному закону, дисперсии были однородны, что позволило рассчитать средние арифметические значения содержания элементов (\bar{X}) и стандартные отклонения ($S \bar{x}$). Корреляционный анализ выполнен по методу Пирсона, критические уровни значимости приведены в тексте статьи [25].

Обсуждение результатов

Анализ общего содержания макро- и микроэлементов в почвах на участке в окрестности пос. Кайтанак подтвердил неоднородность минералогического состава пород, слагающих этот участок. В геологических пробах, отобранных на площадке Т3, отмечены серпентиниты (ультраосновные породы). В почвах Т3 установлен высокий уровень содержания Mg и низкий Ca (рис. 1), соотношение этих элементов меньше 1 и составляет 0.2, что создает очень неблагоприятные условия для растений [26]. Из микроэлементов в почвах площадки Т3 отмечаются очень высокие концентрации геогенных потенциально токсичных Cr и Ni, что является особенностью минерального состава ультраосновных пород. Не характерным для этого типа пород был высокий уровень концентрации K, что связано, по всей видимости, с присутствием на этом участке согласно [18] габбро (основные породы, богатые калием). На всех площадках в окрестности пос. Кайтанак низкое общее содержание в почвах фосфора, что также является характерным для почв, сформированных на серпентинитовых коренных породах [12, 13].

Количество подвижной формы макроэлементов Mg и K, а также микроэлементов Cr, Fe, Mn и особенно Ni изменялось в широких пределах (табл. 1). В основном эти различия связаны с контрастным минералогическим составом подстилающих пород и общим содержанием этих элементов в почвах.

Оценка кислотности почв исследуемых площадок показала значительные различия между ними, обусловленные влиянием литогенного фактора, pH солевой варьировал от 3.3 до 6.9 (табл. 1). Самое большое содержание подвижной формы Fe и Mn выявлено на площадке Т2 с наиболее высокой кислотностью почвы. Известно, что pH среды относится к числу основных факторов, регулирующих поведение тяжелых металлов в почве, поскольку влияет на широкий спектр почвенных характеристик. Увеличение кислотности почв приводит к увеличению содержания катионов металлов, а в случае Fe и Mn – элементов с переменной валентности – к переходу их в другие формы химических соединений [27]. Предельно допустимые концентрации элементов превышены в почвах площадки Т2 (для Mn) и Т3 (для Ni) – из-за высокой кислотности среды и большого валового содержания элемента соответственно. Безусловно, данные превышения не связаны с каким-либо техногенным загрязнением, а вызваны исключительно влиянием природных факторов.

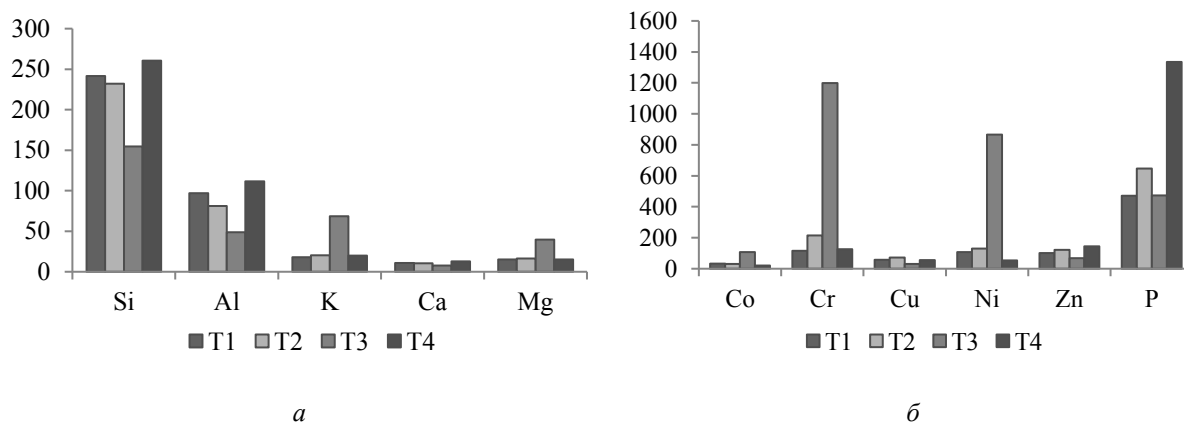


Рис. 1. Общее содержание макро- (а) и микроэлементов (б) в почвах в окрестности пос. Кайтанак (Т1-Т3) и в долине р. Мульты (Т4). По оси абсцисс – анализируемые элементы в точках отбора проб, по оси ординат – содержание элементов в г/кг (а) и в мг/кг (б) воздушно-сухого вещества

Таблица 1. Реакция среды и содержание подвижной формы макро- и микроэлементов в почвах (мг/кг воздушно-сухой почвы)

Элементы	Ценопопуляции			
	T1	T2	T3	T4
pH солевой	5.7	3.3	6.9	5.1
Ca	5200	3600	4400	4700
Co	0.10	0.37	0.16	0.10
Cr	1.00	2.45	4.46	1.00
Cu	0.20	0.30	0.17	0.17
Fe	28	134	10	47
K	310	180	600	260
Mg	540	720	1800	470
Mn	86	116	50	47
Ni	0.47	3.89	20.00	0.78
Na	26	30	26	29
Pb	0.9	1.1	1.0	1.3
Sr	50	28	25	49
Zn	0.83	0.75	0.74	0.87

Установлены корреляционные зависимости между общим содержанием и содержанием подвижной формы элементов в почве для Ni, Mg и Pb (значимые при $p < 0.001$), Cr, Cd (значимые при $p < 0.01$), Cu, Mn и K (значимые при $p < 0.05$) (табл. 2).

Среднее содержание макро- и микроэлементов в проанализированных образцах растений *L. caerulea* и *S. chamaedryfolia*, собранных на каждой исследуемой площадке, приведено в таблице 3. Установлено значительное варьирование содержания отдельных макро- и микроэлементов в зависимости от вида растений и места их произрастания. Для жимолости синей отмечено более интенсивное накопление Al, B, Ba, Cr, Pb, Si и Sr по сравнению со спиреей дубравколистной. Для *S. chamaedryfolia* характерны более высокие концентрации Mn и Ni. Также отмечены различия между этими видами и по характеру распределения Mn по органам. Для жимолости синей в основном характерно более высокое содержание Mn и Zn в стеблях растений, эта закономерность наблюдалась и в ранее проведенных исследованиях [10]. Для спиреи дубравколистной также установлены более высокие уровни накопления Zn в стеблях растений, но концентрации Mn в листьях растений были выше, чем в стеблях, что не характерно для жимолости синей. Однако в исследованных ранее побегах черемухи обыкновенной наблюдалась подобная ситуация – листья растений накапливали Mn в больших количествах, чем стебли [28], возможно, распределение по органам этих элементов, так же как и реакция на изменение условий произрастания, имеет видоспецифичный характер. Ранее проведенные исследования в контрастных геохимических условиях Полярного Урала показали значимое снижение концентрации Mn в растениях 156 видов из 25 семейств, произрастающих на ультраосновных породах по сравнению с таковыми на других типах пород [16], при этом отмечался и высокий уровень варьирования между образцами на разных типах пород. В нашем случае мы наблюдаем в листьях *S. chamaedryfolia* небольшое

снижение содержания Mn в Т3 по сравнению с фоновыми условиями, а для *L. caerulea* характерно более чем в 2 раза увеличение концентрации этого элемента в листьях растений. Также исследуемые виды по-разному реагируют на изменение концентрации в почвах содержания K и Mg. Для *S. chamaedryfolia* характерно снижение содержания этих макроэлементов в листьях растений, произрастающих на ультраосновных породах, а у *L. caerulea* не наблюдалось значительной разницы по уровню накопления этих элементов с фоновыми условиями.

Наблюдалась отрицательная корреляционная зависимость между общим содержанием фосфора в почве и в органах растений (табл. 4), для листьев *L. caerulea* зависимость значима при $p < 0.05$. Также отрицательная линейная зависимость отмечалась и между содержанием хрома в почве и в стеблях *S. chamaedryfolia*, значимая при $p < 0.05$. Положительная корреляция установлена между содержанием в почве и в органах растений Fe (для *S. chamaedryfolia* значима при $p < 0.01$), Cd (для стеблей обоих видов значима при $p < 0.05$), Ni (для листьев *L. caerulea* значима при $p < 0.05$). Содержание подвижной формы Ni, Cd, Cr Pb и Mg в почвах также оказывало влияние на уровень накопления этих элементов в органах растений (табл. 5).

Коэффициент биологического накопления хорошо иллюстрирует изменение интенсивности накопления макро- и микроэлементов листьями растений в зависимости от вида и места произрастания (рис. 2). Ранее было установлено, что для жимолости синей самые высокие значения КБН характерны для микроэлементов Cu и Zn, интенсивное накопление которых является специфичной особенностью этого вида [8, 10]. Спирея дубравколистная является концентратором Cu, Zn и Mn. Известно, что видоспецифичной особенностью видов лекарственных растений, активно синтезирующих биологически активные фенольные соединения, является интенсивное накопление определенных групп микроэлементов [5, 6]. Оба исследованных вида растений характеризуются очень стабильной величиной соотношения микроэлементов, участвующих в процессах ферментосинтеза – Cu/Zn. Для *L. caerulea* соотношение Cu/Zn изменялось в диапазоне 0.1–0.3, для *S. chamaedryfolia* – 0.2–0.4.

Для обоих исследованных видов отмечалось значительное увеличение концентрации Ni и Co и снижение содержания Ca в листьях растений, произрастающих на площадке Т3 в зоне выхода ультраосновных пород и на площадке Т2, где также отмечалось высокое содержание Ni в почве (рис. 1, табл. 1). Концентрация Ni в листьях *L. caerulea* превышает максимально допустимый уровень содержания Ni в укосах растений и растительных кормах (5 мг/кг воздушно-сухой массы [15]) в 1.5–3 раза, в листьях *S. chamaedryfolia* в 3–4 раза. Причем содержание Ni в листьях *S. chamaedryfolia* достигает токсичных для растений концентраций, что может приводить и к физиологическим нарушениям самих растений.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между общим содержанием макро- и микроэлементов и содержанием их подвижной формы в почвах

Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Zn
0.65	0.92	0.01	0.95	0.82	0.60	0.90	1.00	0.83	0.23	0.99	0.98	0.78	-0.08

Примечание: жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, значимые на 5, 1 и 0.1%-ном уровне.

Таблица 3. Среднее содержание золы (в %), макро- и микроэлементов в листьях и стеблях *L. caerulea* и *S. chamaedryfolia* в зависимости от места произрастания, ($\bar{X} \pm S \bar{x}$, мг/кг воздушно-сухого вещества; K, Ca, Mg, P и Si – г/кг)

I	<i>Lonicera caerulea</i>				<i>Spiraea chamaedryfolia</i>			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
	2	3	4	5	6	7	8	9
Al	<u>139±15</u>	<u>82±9</u>	<u>61±0</u>	<u>39±3</u>	<u>81±13</u>	<u>74±12</u>	<u>50±1</u>	<u>28±5</u>
	180±67	83±34	166±8	64±16	100±13	71±4	31±4	61±1
B	<u>49±1</u>	<u>42±1</u>	<u>38±1</u>	<u>16±1</u>	<u>26±4</u>	<u>21±2</u>	<u>19±1</u>	<u>12±2</u>
	13±1	14±1	16±1	8±0	10±1	10±0	12±1	8±1
Ba	<u>172±8</u>	<u>216±1</u>	<u>79±6</u>	<u>125±21</u>	<u>169±16</u>	<u>118±33</u>	<u>43±1</u>	<u>66±12</u>
	108±11	132±11	156±17	80±6	61±2	54±1	40±1	58±2
Be	<u>0.05±0.00</u>	<u>0.06±0.00</u>	<u>0.04±0.00</u>	<u>0.01±0.00</u>	<u>0.06±0.00</u>	<u>0.04±0.00</u>	<u>0.03±0.00</u>	<u>0.01±0.00</u>
	0.03±0.01	0.03±0.00	0.03±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
Ca	<u>26±1</u>	<u>22±1</u>	<u>11±1</u>	<u>16±2</u>	<u>20±2</u>	<u>13±2</u>	<u>9±0</u>	<u>15±2</u>
	8.1±0.5	6.2±0.0	5.2±0.4	5.9±0.1	4.2±0.3	5.0±0.0	2.8±0	5.2±0.4

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cd	<u>0.42±0.03</u>	<u>0.27±0.01</u>	<u>0.15±0.00</u>	<u>0.11±0.05</u>	<u>0.29±0.04</u>	<u>0.31±0.02</u>	<u>0.05±0.01</u>	<u>0.03±0.00</u>
	0.09±0.00	0.06±0.00	0.11±0.01	0.10±0.01	0.36±0.00	0.50±0.09	0.03±0.01	0.10±0.00
Co	<u>0.16±0.04</u>	<u>0.21±0.02</u>	<u>0.10±0.00</u>	<u>0.03±0.02</u>	<u>0.15±0.01</u>	<u>0.11±0.07</u>	<u>0.15±0.01</u>	<u>0.01±0.00</u>
	0.12±0.02	0.08±0.01	0.13±0.00	0.02±0.00	0.03±0.00	0.08±0.02	0.06±0.00	0.02±0.00
Cr	<u>0.70±0.06</u>	<u>1.26±0.16</u>	<u>0.84±0.08</u>	<u>0.38±0.00</u>	<u>0.45±0.11</u>	<u>0.40±0.05</u>	<u>0.26±0.01</u>	<u>0.25±0.05</u>
	0.45±0.13	0.36±0.13	0.60±0.01	0.24±0.03	0.29±0.02	0.24±0.02	0.14±0.01	0.24±0.01
Cu	<u>4.0±0.0</u>	<u>3.7±0.1</u>	<u>4.4±0.0</u>	<u>4.8±0.8</u>	<u>5.1±0.9</u>	<u>3.3±0.1</u>	<u>3.1±0.1</u>	<u>3.4±0.1</u>
	4.9±0.5	2.9±0.0	3.6±0.1	4.3±0.4	3.4±0.2	3.5±0.2	3.4±0.0	4.1±0.6
Fe	<u>78±1</u>	<u>88±7</u>	<u>75±1</u>	<u>58±1</u>	<u>83±10</u>	<u>94±9</u>	<u>51±1</u>	<u>54±7</u>
	123±47	64±24	115±4	57±11	80±8	58±2	37±4	51±1
Ga	<u>0.16±0.01</u>	<u>0.20±0.01</u>	<u>0.14±0.02</u>	<u>0.07±0.01</u>	<u>0.23±0.02</u>	<u>0.14±0.03</u>	<u>0.12±0.01</u>	<u>0.07±0.02</u>
	0.08±0.02	0.07±0.01	0.14±0.02	0.03±0.00	0.07±0.00	0.06±0.00	0.04±0.00	0.05±0.01
K	<u>18±1</u>	<u>16±1</u>	<u>10±1</u>	<u>10±1</u>	<u>20±2</u>	<u>9±0</u>	<u>8±1</u>	<u>18±3</u>
	7.0±0.6	5.6±0.4	7.4±0.5	7.3±0.6	2.4±0.3	2.6±0.1	2.2±0.2	2.5±0.1
La	<u>0.34±0.02</u>	<u>0.88±0.12</u>	<u>0.69±0.23</u>	<u>0.17±0.06</u>	<u>0.85±0.21</u>	<u>0.73±0.19</u>	<u>0.46±0.03</u>	<u>0.14±0.03</u>
	0.23±0.07	0.32±0.05	0.28±0.03	0.06±0.02	0.31±0.05	0.24±0.04	0.16±0.01	0.07±0.00
Mg	<u>5.5±0.3</u>	<u>7.1±0.0</u>	<u>5.5±0.0</u>	<u>5.3±0.2</u>	<u>5.4±0.3</u>	<u>5.1±0.6</u>	<u>3.8±0.2</u>	<u>4.7±0.1</u>
	1.3±0.2	1.6±0.1	1.9±0.2	1.4±0.1	1.0±0.1	1.2±0.0	1.4±0.0	1.1±0.0
Mn	<u>147±4</u>	<u>259±14</u>	<u>70±11</u>	<u>26±5</u>	<u>328±31</u>	<u>435±178</u>	<u>83±1</u>	<u>119±42</u>
	237±27	204±27	234±22	89±27	239±22	152±63	104±1	94±19
Mo	<u>4.90±1.03</u>	<u>1.20±0.04</u>	<u>0.39±0.05</u>	<u>0.42±0.06</u>	<u>3.52±0.26</u>	<u>0.75±0.15</u>	<u>0.54±0.10</u>	<u>0.24±0.04</u>
	0.41±0.11	0.13±0.00	0.17±0.03	0.08±0.00	0.72±0.08	0.29±0.01	0.16±0.01	0.11±0.00
Na	<u>45±1</u>	<u>57±2</u>	<u>44±1</u>	<u>29±1</u>	<u>43±4</u>	<u>42±4</u>	<u>33±1</u>	<u>26±1</u>
	<u>42±6</u>	<u>32±6</u>	<u>58±3</u>	<u>31±2</u>	<u>23±1</u>	<u>33±2</u>	<u>20±1</u>	<u>16±1</u>
Ni	<u>1.07±0.07</u>	<u>8.47±0.04</u>	<u>15.38±1.55</u>	<u>1.04±0.59</u>	<u>5.40±1.19</u>	<u>16.49±0.35</u>	<u>19.71±1.54</u>	<u>2.04±0.43</u>
	0.80±0.04	5.47±0.65	5.99±0.07	0.51±0.12	2.63±0.20	9.47±0.32	8.23±0.85	1.32±0.03
P	<u>4.3±0.3</u>	<u>3.0±0.1</u>	<u>3.7±0.1</u>	<u>2.5±0.2</u>	<u>5.1±0.3</u>	<u>3.2±0.5</u>	<u>3.1±0.6</u>	<u>2.0±0.1</u>
	1.0±0.1	1.2±0.2	1.3±0.2	1.8±0.0	1.1±0.1	1.2±0.0	1.6±0.0	1.1±0.2
Pb	<u>0.19±0.03</u>	<u>0.24±0.02</u>	<u>0.15±0.00</u>	<u>0.12±0.01</u>	<u>0.14±0.02</u>	<u>0.09±0.00</u>	<u>0.07±0.01</u>	<u>0.05±0.01</u>
	0.99±0.03	0.27±0.09	0.67±0.08	0.32±0.08	0.68±0.06	0.41±0.03	0.27±0.03	0.31±0.01
Sc	<u>0.09±0.00</u>	<u>0.15±0.01</u>	<u>0.08±0.02</u>	<u>0.03±0.00</u>	<u>0.15±0.01</u>	<u>0.07±0.01</u>	<u>0.07±0.02</u>	<u>0.03±0.00</u>
	0.07±0.01	0.06±0.00	0.08±0.01	0.02±0.00	0.05±0.01	0.03±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
Si	<u>1037±60</u>	<u>1134±59</u>	<u>1033±65</u>	<u>626±106</u>	<u>483±32</u>	<u>389±29</u>	<u>308±6</u>	<u>195±40</u>
	573±2	257±1	580±1	187±40	278±49	186±2	82±8	170±3
Sr	<u>126±3</u>	<u>91±1</u>	<u>54±5</u>	<u>83±4</u>	<u>118±2</u>	<u>77±9</u>	<u>43±1</u>	<u>58±6</u>
	51±4	38±1	45±3	45±1	57±5	36±1	22±0	45±1
Ti	<u>8.7±0.1</u>	<u>9.8±0.8</u>	<u>8.0±0.9</u>	<u>2.2±0.0</u>	<u>9.4±2.6</u>	<u>8.7±1.2</u>	<u>4.8±0.1</u>	<u>2.0±0.5</u>
	19.2±3.4	9.6±1.4	19.0±0.9	4.2±0.5	10.7±1.7	7.1±0.4	2.5±0.3	4.7±0.5
V	<u>0.54±0.01</u>	<u>0.46±0.00</u>	<u>0.41±0.03</u>	<u>0.37±0.01</u>	<u>0.45±0.03</u>	<u>0.45±0.02</u>	<u>0.34±0.00</u>	<u>0.31±0.02</u>
	0.46±0.16	0.24±0.06	0.47±0.00	0.23±0.04	0.33±0.02	0.22±0.02	0.13±0.01	0.25±0.01
Zn	<u>26±0.1</u>	<u>25±0.5</u>	<u>14±2.6</u>	<u>17±3.1</u>	<u>22±2.6</u>	<u>16±2.0</u>	<u>11±0.2</u>	<u>9.2±1.1</u>
	46±2.1	35±0.5	36±4.3	31±3.9	97±5.9	92±1.1	57±2.5	59±1.5
Zr	<u>1.3±0.1</u>	<u>1.6±0.0</u>	<u>0.7±0.1</u>	<u>0.6±0.1</u>	<u>1.8±0.2</u>	<u>0.9±0.1</u>	<u>0.8±0.1</u>	<u>0.5±0.1</u>
	1.3±0.2	0.9±0.0	1.3±0.1	0.5±0.1	0.7±0.0	0.6±0.0	0.5±0.0	0.5±0.0

Примечание: В числителе – содержание макро- и микроэлементов в листьях, в знаменателе – в стеблях. \bar{X} – среднее арифметическое; $S_{\bar{x}}$ – стандартное отклонение.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между общим содержанием макро- и микроэлементов в почвах и в органах растений

Al	Fe	K	Ca	Mg	P	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
<i>Lonicera caerulea</i> лист														
-0.03	0.79	-0.53	0.24	0.20	-0.89	-0.06	0.14	0.30	0.05	0.41	0.86	0.12	0.54	0.04
<i>Spiraea chamaedryfolia</i> лист														
0.38	0.96	-0.64	0.11	-0.20	-0.79	0.66	0.47	-0.57	0.46	0.63	0.74	0.83	0.84	0.29
<i>Lonicera caerulea</i> стебель														
-0.45	0.36	0.53	-0.40	0.75	-0.61	0.93	0.70	0.77	0.32	0.39	0.72	-0.17	-0.18	-0.73
<i>Spiraea chamaedryfolia</i> стебель														
0.81	0.94	-0.31	0.15	0.76	-0.76	0.93	0.31	-0.93	0.56	0.65	0.55	0.76	0.63	0.39

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, значимые на 1–5%-м уровнях значимости.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции между содержанием подвижной формы макро- и микроэлементов в почвах и в органах растений

Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Zn
<i>Lonicera caerulea</i> лист													
0.36	-0.08	0.73	0.58	-0.11	0.70	-0.26	0.25	0.74	-0.34	0.91	0.16	0.25	0.33
<i>Spiraea chamaedryfolia</i> лист													
0.02	0.44	-0.12	-0.45	0.30	0.76	-0.48	-0.19	0.79	-0.76	0.81	0.87	0.28	0.47
<i>Lonicera caerulea</i> стебель													
-0.37	0.97	0.08	0.75	0.23	-0.20	0.50	0.79	0.61	-0.54	0.79	-0.03	0.57	0.42
<i>Spiraea chamaedryfolia</i> стебель													
-0.49	0.76	0.43	-0.92	0.52	0.32	-0.21	0.80	0.49	-0.49	0.63	0.79	0.76	0.41

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, значимые на 1–5%-м уровнях значимости.

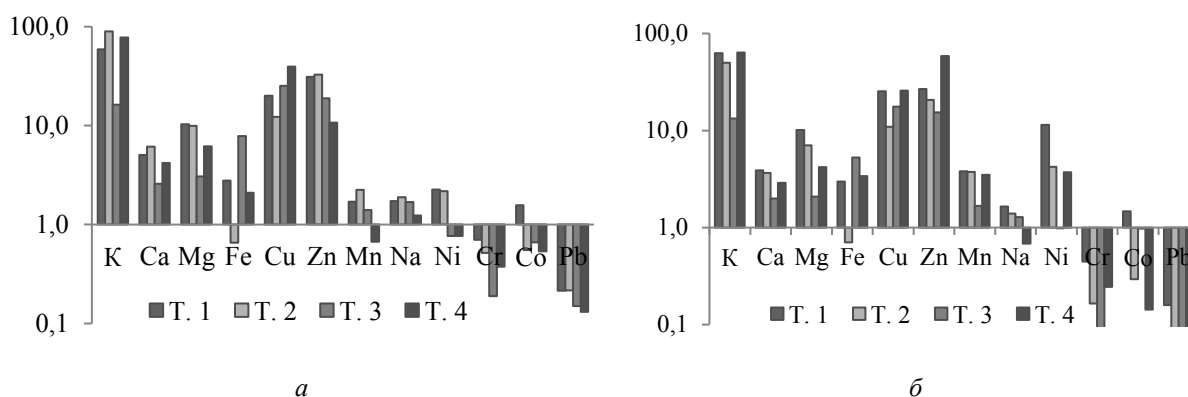


Рис. 2. Коэффициент биологического накопления макро- и микроэлементов листьями (а) *Lonicera caerulea* и (б) *Spiraea chamaedryfolia* в зависимости от условий произрастания растений. По оси абсцисс – анализируемые элементы в точках отбора проб, по оси ординат – отношение содержания элементов в сухой фитомассе к концентрации их подвижной формы в почве (в логарифмической шкале)

Полученные результаты необходимо принимать во внимание при сборе и использовании растительного сырья для приготовления галеновых препаратов, поскольку в настои и отвары может переходить более 50% химических элементов, содержащихся в растениях [17, 29].

Выводы

Изучение макро- и микроэлементного состава листьев и стеблей жимолости синей *Lonicera caerulea* и спиреи дубравколистной *Spiraea chamaedryfolia* в ценопопуляциях Горного Алтая на участке с блоками-включениями серпентинитов выявило его значительную вариабельность в зависимости от почвенно-геохимических условий.

В почвах, сформированных на ультраосновных породах, отмечались типично высокие концентрации Mg, Cr и Ni, низкие – Ca и P и нехарактерно высокие концентрации K.

Количество подвижной формы ряда исследованных элементов изменялось в широких пределах в связи с контрастным минералогическим составом подстилающих пород и их общим содержанием в почвах (Mg, K, Cr, Ni), а также кислотностью почв (Fe, Mn). Превышения предельно допустимых концентраций Mn и Ni на площадках T2 и T3 соответственно вызваны влиянием природных факторов.

Установлены видовые особенности аккумуляции отдельных элементов. Спирея дубравколистная более интенсивно, чем жимолость синяя, накапливает Mn и Ni. *S. chamaedryfolia* является концентратором микроэлементов Zn, Cu и Mn, а *L. caerulea* – концентратором Zn и Cu.

Показаны значимые корреляционные связи между содержанием подвижной формы Ni, Cd, Cr, Pb и Mg в почве и в органах растений, а также установлены корреляции между общим содержанием Al, Fe, Cd, P, Ni, Pb, Cr и V в почвах и отдельных органах *S. chamaedryfolia* и *L. caerulea*.

В двух исследованных ценопопуляциях выявлено превышение допустимого уровня накопления Ni в органах растений обоих видов, что необходимо учитывать при заготовке фитосырья.

Список литературы

1. Jabin F., Nasreen S. Phytochemical analysis of some medicinal plants // Int. J. Adv. Res. 2016. Vol. 2. Pp. 293–295.
2. Raj M.S., Kameshwari M.N., Tharasaraswath K.J., Shubharani R. Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals in two different species of *Urginea* // Int. J. Pharma Life Sci. 2017. Vol. 8. Pp. 5433–5438.
3. Gupta M., Thakur S., Sharma A., Gupta S. Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals and pharmacological value of some dye yielding medicinal plants // Oriental J. Chem. 2013. Vol. 29. Pp. 475–481. DOI: 10.13005/ojc/290211.
4. Ghorbanzadeh H.R., Toosi M.H., Sazgarnia A., Yousefi M., Bajestani M.J., Salari R. A novel vaporizer to release volatile substances from aromatic plants // J. Adv. Pharm. Educ. Res. 2019. Vol. 9. Pp. 87–92.
5. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М. Почему растения лечат: Около 200 видов лекарственных растений с кратким биохимическим описанием. М., 2021. 228 с.
6. 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.
7. Szymański M., Witkowska-Banaszczak E., Klak N., Marciniak K., Wołowicz T., Szymański A. Effects of Trace Elements on Polyphenolic Compounds in *Millefolii Herba* // Pol. J. Environ. Stud. 2014. Vol. 23. N2. Pp. 459–466.
8. Боярских И.Г., Сысо А.И., Сиromля Т.И. Изменчивость содержания химических элементов и биологически активных полифенолов в органах *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* (Caprifoliaceae) в высотном градиенте // Сибирский экологический журнал. 2019. №6. С. 727–741. DOI: 10.15372/SEJ20190608 [Boyarских I.G., Syso A.I., Siromlya T.I. Variability of chemical elements and biologically active polyphenols in *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* (Caprifoliaceae) plant organs along an altitudinal gradient // Contemporary Problems of Ecology. 2019. Vol. 12. N6. Pp. 594–606. DOI: 10.1134/S1995425519060039]
9. Некратова Н.А., Некратов Н.Ф. Лекарственные растения Алтае-Саянской горной области. Ресурсы, экология, ценокомплексы, популяционная биология, рациональное использование. Томск, 2005. 228 с.
10. Боярских И.Г., Сысо А.И., Сиromля Т.И. Особенности минерального состава *Lonicera caerulea* в контрастных геохимических условиях // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 129–138. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033740.
11. Syso A.I., Boyarskikh I.G., Huo Junwei, Siromlya T.I. Influence of Soil Conditions on the Manifestation of Chlorosis and Parthenocarpy in *Lonicera caerulea* L. // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14. N5. Pp. 525–537. DOI: 10.1134/S1995425521050164.
12. Kumarathilaka P., Dissanayake C., Vithanage M. Geochemistry of serpentinite soils: A brief overview // J. Geol. Soc. 2014. Vol. 16. Pp. 53–63.
13. Marescotti P., Comodi P., Crispini L., Gigli L., Zucchini A., Fornasaro S. Potentially Toxic Elements in Ultramafic Soils: A Study from Metamorphic Ophiolites of the Voltri Massif (Western Alps, Italy) // Minerals. 2019. Vol. 9. N8. 502. DOI:10.3390/min9080502.
14. Kabata-Pendias A. Trace Elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 505 p.
15. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992.
16. Alexeeva-Popova N.V., Drozdova I.V. Micronutrient composition of plants in the Polar Urals under contrasting geochemical conditions // Russian Journal of Ecology. 2013. Vol. 44. N2. Pp. 100–107. DOI: 10.7868/S0367059713020030.
17. Гравель И.В., Шойхет Я.Н., Яковлев Г.П., Самылина И.А. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. М., 2012. 304 с.
18. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист М-45-XIV (Усть-Кокса). М., 2019. 272 с.
19. Sharma A., Lee H-J. *Lonicera caerulea*: An updated account of its phytoconstituents and health-promoting activities // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 107. Pp. 130–149. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.08.013.
20. Gołba M., Sokół-Łętowska A., Kucharska A.Z. Health properties and composition of honeysuckle berry *Lonicera caerulea* L. An update on recent studies // Molecules. 2020. Vol. 25. N3. 749. DOI: 10.3390/molecules25030749.
21. 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. Vol. 17. Pp. 61–79. DOI: 10.3390/molecules17010061.
22. Минаева В.Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск, 1991. 431 с.
23. Kostikova V.A., Petrova N.V. Phytoconstituents and bioactivity of plants of the genus *Spiraea* L. (Rosaceae): a review // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22. 11163. DOI: 10.3390/ijms222011163.
24. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 610 с.
25. Glantz S.A. Primer of Biostatistics. 7th ed. New York, 2012. 320 p.
26. 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. Vol. 185. Pp. 345–355.
27. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М., 2008. 164 с.

28. Загурская Ю.В., Сиромля Т.И. Сравнительный анализ элементного химического состава побегов *Padus avium* из техногенно нарушенных экотопов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. №5 (371). С. 105–114. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.105.
29. 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.

Поступила в редакцию 19 апреля 2022 г.

После переработки 24 мая 2022 г.

Принята к публикации 8 июля 2022 г.

Для цитирования: Боярских И.Г., Сиромля Т.И. Макро- и микроэлементный состав жимолости синей и спиреи дубравколистной в ценопопуляциях Горного Алтая в условиях геохимической аномалии // Химия растительного сырья. 2022. №4. С. 209–218. DOI: 10.14258/jcprm.20220411294.

Boyarskykh I.G.^{1,2}, Siromlya T.I.² MACRO- AND TRACE ELEMENTS COMPOSITION OF THE BLUE HONEY-SUCKLE AND ELM-LEAF SPIREA CENOPOPULATIONS IN THE GEOCHEMICALLY ABNORMAL ENVIRONMENT IN THE MOUNTAIN ALTAI*

¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, ul. Zolotodolinskaya, 101, Novosibirsk, 630090 (Russia), e-mail: irina_2302@mail.ru

² Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, pr. Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, 630090 (Russia)

The specificity of macro- and trace elements accumulation in the leaves and stems of *Lonicera caerulea* and *Spiraea chamaedryfolia* cenopopulations growing at the sites with serpentinite inclusions in the Mountain Altai (Russia) was studied. The total content of macro- and trace elements in plants and soil was determined by atomic emission spectrometry, and the mobile forms, extracted by the ammonium acetate solution with pH 4.8, were measured by atomic absorption. The study revealed species-specific accumulation of some chemical elements in plant organs. The elm-leaf spirea plants were found to accumulate Mn and Ni more intensively in comparison with the blue honeysuckle plants, and to concentrate such trace elements as Zn, Cu and Mn, whereas the blue honeysuckle plants concentrated Zn and Cu. Species-specific statistically significant correlations between mobile Ni, Cd, Cr, Pb and Mg soil and phytomass content were also revealed. Negative correlation was found between the total P and Cr content in soil and plants, whereas total Fe, Cd and Ni in soil and plants correlated positively. The leaves of *Lonicera caerulea* and *Spiraea chamaedryfolia*, growing at the site with ultra-basic rock outcroppings, had Ni concentrations exceeding the maximum permissible level and decreased Ca concentration.

Keywords: *Lonicera caerulea*, *Spiraea chamaedryfolia*, chemical element composition of plants, ultra-basic rock, the Mountain Altai.

References

1. Jabin F., Nasreen S. *Int. J. Adv. Res.*, 2016, vol. 2, pp. 293–295.
2. Raj M.S., Kameshwari M.N., Tharasaraswath K.J., Shubharani R. *Int. J. Pharma Life Sci.*, 2017, vol. 8, pp. 5433–5438.

* Corresponding author.

3. Gupta M., Thakur S., Sharma A., Gupta S. *Oriental J. Chem.*, 2013, vol. 29, pp. 475–481. DOI: 10.13005/ojc/290211.
4. Ghorbanzadeh H.R., Toosi M.H., Sazgarnia A., Yousefi M., Bajestani M.J., Salari R. *J. Adv. Pharm. Educ. Res.*, 2019, vol. 9, pp. 87–92.
5. Lovkova M.Ya., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.M. *Pochemu rasteniya lechat: Okolo 200 vidov lekarstvennykh rasteniy s kratkim biokhimicheskim opisaniyem*. [Why plants heal: About 200 types of medicinal plants with a brief biochemical description]. Moscow, 2021, 228 p. (in Russ.).
6. Lovkova M.Ya., Sokolova S.M., Buzuk G.N., Bykhovskiy V.Ya., Ponomareva S.M. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1999, no. 5, pp. 576–589. (in Russ.).
7. Szymański M., Witkowska-Banaszczak E., Klak N., Marciniak K., Wołowiec T., Szymański A. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 459–466.
8. Boyarskikh I.G., Syso A.I., Siromlya T.I. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2019, no. 6, pp. 727–741. DOI: 10.15372/SEJ20190608. (in Russ.). [Boyarskikh I.G., Syso A.I., Siromlya T.I. *Contemporary Problems of Ecology*, 2019, vol. 12, no. 6, pp. 594–606. DOI: 10.1134/S1995425519060039].
9. Nekratova N.A., Nekratov N.F. *Lekarstvennyye rasteniya Altaye-Sayanskoy gornoy oblasti. Resursy, ekologiya, tse-nokomplekсы, populyatsionnaya biologiya, ratsional'noye ispol'zovaniye*. [Medicinal plants of the Altai-Sayan mountain region. Resources, ecology, price complexes, population biology, rational use]. Tomsk, 2005, 228 p. (in Russ.).
10. Boyarskikh I.G., Syso A.I., Siromlya T.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 129–138. DOI: 10.14258/jcprm.2018033740. (in Russ.).
11. Syso A.I., Boyarskikh I.G., Huo Junwei, Siromlya T.I. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, vol. 14, no. 5, pp. 525–537. DOI: 10.1134/S1995425521050164.
12. Kumarathilaka P., Dissanayake C. Vithanage M. *J. Geol. Soc.*, 2014, vol. 16, pp. 53–63.
13. Marescotti P., Comodi P., Crispini L., Gigli L., Zucchini A., Fornasaro S. *Minerals*, 2019, vol. 9, no. 8, 502. DOI:10.3390/min9080502.
14. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in soils and plants. 4th ed.* Boca Raton: CRC Press, 2011, 505 p.
15. *Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy si-tuatsii i zon ekologicheskogo bedstviya*. [Criteria for assessing the environmental situation of territories to identify zones of environmental emergency and environmental disaster zones]. Moscow, 1992. (in Russ.).
16. Alexeeva-Popova N.V., Drozdova I.V. *Russian Journal of Ecology*, 2013, vol. 44, no. 2, pp. 100–107. DOI: 10.7868/S0367059713020030.
17. Gravel' I.V., Shoykhet Ya.N., Yakovlev G.P., Samylin I.A. *Farmakognoziya. Ekotoksikanty v lekarstvennom ras-titel'nom syr'ye i fitopreparatakh*. [Pharmacognosy. Ecotoxicants in medicinal plant materials and phytopreparations]. Moscow, 2012, 304 p. (in Russ.).
18. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200000. Izdaniye vtoroye. Seriya Gorno-Altayskaya. List M-45-XIV (Ust'-Koksa)*. [State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000. Second edition. Gorno-Altai series. Sheet M-45-XIV (Ust'-Koksa)]. Moscow, 2019, 272 p. (in Russ.).
19. Sharma A., Lee H-J. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, vol. 107, pp. 130–149. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.08.013.
20. Gołba M., Sokół-Lętowska A., Kucharska A.Z. *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 3, 749. DOI: 10.3390/molecules25030749.
21. 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.
22. Minayeva V.G. *Lekarstvennyye rasteniya Sibiri*. [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk, 1991, 431 p. (in Russ.).
23. Kostikova V.A., Petrova N.V. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, 11163. DOI: 10.3390/ijms222011163.
24. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta*. [Geochemistry of the landscape]. Moscow, 1999, 610 p. (in Russ.).
25. Glantz S.A. *Primer of Biostatistics. 7th ed.* New York, 2012, 320 p.
26. Erschbamer B. *Flora*, 1991, vol. 185, pp. 345–355.
27. Vodyanitskiy Yu.N. *Tyazhelyye metally i metalloidy v pochvakh*. [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow, 2008, 164 p. (in Russ.).
28. Zagurskaya Yu.V., Siromlya T.I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2019, no. 5 (371), pp. 105–114. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.105. (in Russ.).
29. Siromlya T.I. *Voprosy biologicheskoy meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2014, no. 9, pp. 65–66. (in Russ.).

Received April 19, 2022

Revised May 24, 2022

Accepted July 8, 2022

For citing: Boyarskikh I.G., Siromlya T.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 4, pp. 209–218. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220411294.