

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ
РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ОСОБЕННОСТИ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ГОРНОГО АЛТАЯ
(РОССИЯ) В УСЛОВИЯХ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ

© 2022 г. И. Г. Боярских^{1, 2, *}, Т. И. Сиромля²

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

*e-mail: irina_2302@mail.ru

Поступила в редакцию 27.05.2022 г.

После доработки 24.08.2022 г.

Принята к публикации 06.10.2022 г.

Рассмотрены особенности накопления макро- и микроэлементов в растениях лекарственных видов – *Galium boreale*, *Trifolium lupinaster*, *Vicia cracca*, *Vupleurum multinerve* 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 химических элементов в растениях. Горошек мышиный и володушка многожилчатая накапливают Ni более интенсивно, чем клевер люпиновый и подмаренник северный. Для подмаренника северного характерен высокий уровень накопления бария. У всех изученных видов содержание меди и цинка в органах растений значительно выше концентрации подвижной формы этих элементов в почве. Выявлены видоспецифичные значимые корреляционные зависимости между содержанием подвижной формы Ni, Cd, Pb и Sr в почве и в органах растений. Между общим содержанием K, Ti, B, Be, Cu, Cd и Pb в органах растений и их содержанием в почвах отмечены разнонаправленные видоспецифичные корреляционные зависимости. У всех изученных видов растений, произрастающих на площадках в зоне выхода ультраосновных пород, установлено увеличение концентрации Ni, Mg и P (Ni выше предельно допустимого уровня накопления) и снижение содержания Ca и K.

Ключевые слова: *Galium boreale*, *Trifolium lupinaster*, *Vicia cracca*, *Vupleurum multinerve*, минеральный состав, видовая специфичность накопления, ультраосновные породы, Горный Алтай

DOI: 10.31857/S0033994622040045

Лечебные свойства различных видов растений обусловлены наличием биологически активных соединений [1–3], обладающих терапевтическими свойствами [4], а также содержанием биологически значимых макро- и микроэлементов, необходимых живым организмам для обеспечения нормальной жизнедеятельности. Макро- и микроэлементный состав растений с середины прошлого века стал 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 популяции растений находятся под влиянием совместного дей-

ствия различных факторов, связанных с изменением высоты (высотным градиентом) и минерального состава горных пород, определяющих элементный состав почв. В комплексе эти факторы могут 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 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].

Почвы, сформированные на ультраосновных коренных породах, характеризуются необычными химическими свойствами, они создают специализированные местообитания с экстремальными эдафическими условиями, которые включают дефицит элементов питания (Ca, K, P, N), неблагоприятные соотношения Ca/Mg и высокое содержание потенциально токсичных металлов (Cr, Ni, и Co) [11, 12]. Концентрации этих металлов могут на порядок превышать пределы нормального содержания и создавать экологические угрозы для экосистем и здоровья человека [11, 13]. У растений экосистем на ультраосновных породах сформированы механизмы устойчивости, позволяющие им аккумулировать токсичные элементы в физиологически безопасных для них формах, при этом их концентрации могут значительно превышать допустимые пределы содержания [14, 15]. 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 [16].

Целью данной работы было сравнительное изучение особенностей накопления макро-и микроэлементов в надземной части растений лекарственных видов – *Galium boreale* L., *Trifolium lupinaster* L., *Vicia cracca* L. и *Bupleurum multinerve* DC. в ценопопуляциях Горного Алтая в зоне обнажений ультраосновных пород и в фоновом районе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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 [17]. Был выделен участок с блоками-включениями серпентинитов (ультраосновные породы). Здесь в серпентинитовом матриксе 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 [17]. Пробные площадки (ПП) Т1, Т2 и Т3 были выбраны на профиле протяженностью 0.35 км, в пригребневой зоне северного склона небольшого хребта (отрог хребта Актайга). Содержание кремнезема (SiO₂) на ПП Т1, Т2 и Т3 составляло 52, 50 и 33% соответственно. 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 (пробная площадка Т4), где доминируют средние по кислотности горные породы кремнисто-глинистые сланцы (содержание SiO₂ – 55%). Участки исследования находятся на территории, приграничной с Государственным природным биосферным заповедником “Катунский”.

В березово-лиственничном разнотравно-злаковом лесу на пробных площадках были выделены ценопопуляции со сквозными видами лекарственных растений: горошек мышиный – *Vicia cracca* L., клевер люпиновый – *Trifolium lupinaster* L. (Fabaceae), володушка многожилчатая – *Bupleurum multinerve* DC. (Apiaceae), подмаренник северный – *Galium boreale* L. (Rubiaceae).

V. cracca применяется в народной медицине в качестве противовоспалительного, ранозаживляющего, кровоостанавливающего, вяжущего, мочегонного средства. В надземной части растений содержатся цианогликозиды, алкалоиды, протеины (до 28%), жиры (до 3%), горечи, флавоноиды (кверцетин, кемпферол), лейкоантоцианы, которые проявляют диуретический, седативный, муколитический и мукокинетический эффекты. В корнях – органические кислоты, алкалоиды, витамин С, каротин (до 14 мг/100 г), проявляющие антидиарейный, кардиотонический эффекты [18, 19].

T. lupinaster широко применяется в народной медицине Сибири и Дальнего Востока, а также в тибетской медицине в качестве мочегонного, болеутоляющего и противожелтушного средства [18, 19]. В траве найдены гликозиды (тридамин и др.), дубильные вещества (до 5%), эфирное масло, флавоноиды (кверцетин), витамины С, Е, каротин, пигменты, тирозин, органические кислоты (кумариновая, салициловая), фитостерины, которые проявляют антидиарейный, противовоспалительный, анальгетический, бактерицидный эффект.

B. multinerve в народной медицине известна как желчегонное, ранозаживляющее, противовоспалительное, жаропонижающее, болеутоляющее и капилляроукрепляющее средство [18, 20]. В надземной части *B. multinerve* обнаружены кверцетин-3-О-глюкуронид, кемпферол-3-О-глюкозид (астралагин), 5-О-п-кумароилхинная кислота, 5-О-ферулоилхинная кислота, 3-О-ферулоилхинная кислота, 3,5-ди-О-кофеилхинная кислота, 4,5-ди-О-кофеилхинная кислота, изорамнетин-3-О-рутинозид (нарциссин), кверцетин-3-О-рутинозид (рутин), кверцетин-3-О-глюкозид (изокверцитрин), агликоны флавоноидов кверцетина, изорамнетин, дубильные вещества, витамин

С, каротин [18, 19, 21–23], проявляющие тонизирующий, холеретический, гепатопротекторный, перспирантный, антипиретический эффекты [19, 24]. *B. multinerve* использовали как сырье для получения препарата “Буплерин” [20].

G. boreale используют как лекарственное растение в России, Пакистане, в тибетской медицине. Надземная часть этого вида широко используется для очистки крови, как мочегонное, противовоспалительное, обезболивающее и успокоительное средство [25–27]. В траве и корнях растений найдены гликозиды сердечного действия, флавоноиды, дубильные вещества, пигменты, ферменты, органические кислоты, сахара, витамин С, проявляющие холеретический, седативный, анальгетический эффекты [19].

Для анализа содержания макро- и микроэлементов в системе почва–растение производили сопряженный отбор почвенных и растительных образцов методом квадрата и формировали средние пробы. Объекты исследования – надземная часть растений, а также почва в зоне корневого питания растений (0–30 см). Содержание химических элементов (ХЭ) (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 почве и растениях определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии. Установка для проведения исследований включает источник возбуждения спектров – дуговой аргоновый 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 надземной части растений их озоляли в муфельной печи при температуре 450 °С, золу разлагали концентрированными HNO₃ и HCl с 30%-ным раствором H₂O₂, а затем растворяли в дистиллированной воде. Содержание подвижных форм K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Li, Sr (экстрагент ацетатно-аммонийный буферный раствор с рН 4.8) в почвах анализировали атомно-абсорбционным методом (FAAS) с использованием спектрометра AAnalyst 400 (PerkinElmer). Данные приведены в пересчете на воздушно-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.

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 V_х. Он характеризует доступность элементов растениям и степень использования ими подвижных форм элементов, содержащихся в почве [28].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием 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 [29].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ общего содержания макро- и микроэлементов в почвах на участке в окрестности пос. Кайтанак подтвердил неоднородность минералогического состава пород, слагающих этот участок (рис. 1). В геологических пробах, отобранных на площадке Т3, отмечены серпентиниты (ультраосновные породы).

Диапазоны валового содержания большинства исследованных химических элементов (за исключением Cr и Ni) на пробных площадках Т1, Т2 и Т4 в значительной степени перекрываются, статистически значимой разницы между ними не выявлено. Элементный состав почвы на ПП Т3 имеет существенные отличия: содержание 18 элементов (Cd, Be, Yb, Ga, Pb, Cu, Sc, La, Zn, Sr, V, Zr, Ba, Ti, Ca, Na, Al, Si) является в 1.6–3.3 раза более низким по сравнению с другими площадками, а концентрации K, Mg, Co и Mo – в 2.5–3.5 раза более высокими.

В почвах на ПП Т3 установлен высокий уровень содержания Mg и низкий Ca (рис. 1), соотношение этих элементов (0.2) меньше 1, что создает очень неблагоприятные условия для растений [30]. Из микроэлементов в почвах площадки Т3 отмечаются очень высокие концентрации геогенных потенциально токсичных Cr и Ni, что является особенностью минерального состава ультраосновных пород. Количество хрома на контрольной площадке (Т4) составляет в среднем

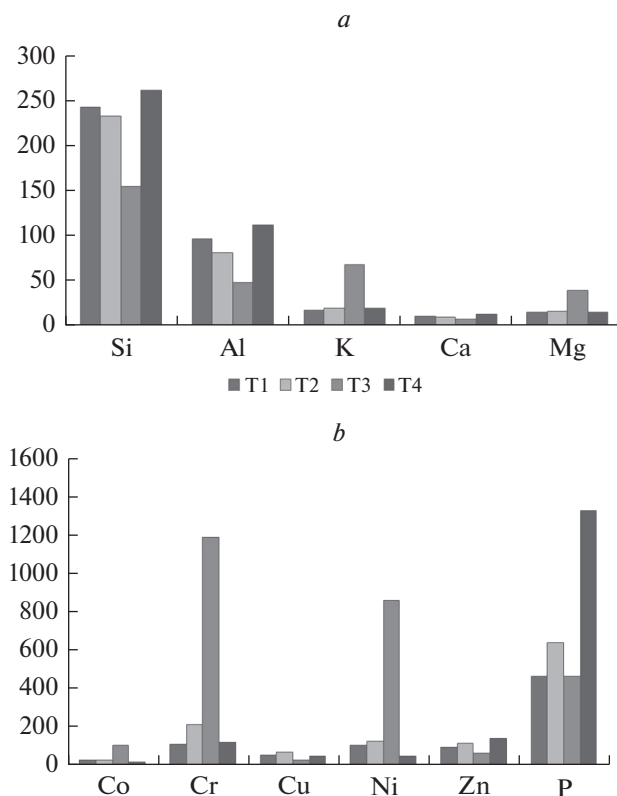


Рис. 1. Общее содержание макро- (а) и микроэлементов (б) в почвах в окрестностях пос. Кайтанак (Т1–Т3) и в долине р. Мульта (Т4). По горизонтали: анализируемые элементы; по вертикали: содержание элементов в г/кг (а) и в мг/кг (б) воздушно-сухого вещества.

Fig. 1. Total content of macro- (a) and trace elements (b) in soils in the vicinity of the Kaytanak village (Т1–Т3) and in the Multa River valley (Т4). X-axis – the content of elements, (a) g/kg and (b) mg/kg of air-dry matter; y-axis – the analyzed elements.

122 мг/кг, что близко к его содержанию на ПП Т1 (115 мг/кг). На площадке Т2 концентрация хрома увеличивается до 216 мг/кг и достигает 1200 мг/кг на ПП Т3. Количество никеля на площадке Т4 составляет 53, Т1 – 108, Т2 – 129 и Т3 – 865 мг/кг. Не характерным для этого типа пород был высокий уровень концентрации К, что связано, по всей видимости, с присутствием на этом участке согласно [17] габбро (основные породы, богатые калием). На всех площадках в окрестности пос. Кайтанак наблюдается низкое общее содержание в почвах Р, что также является характерным для почв, сформированных на серпентинитовых коренных породах [11, 12].

Вариабельность содержания подвижной формы элементов в почвах значительно выше, что вполне соответствует литературным данным [31]. Концентрация подвижных форм Сг и Ni в разных точках изменяется аналогично их валовому содержанию, достигая максимума на площадке Т3, на ней же встречаются самые высокие концентрации подвижных форм К и Mg. Однако для других исследованных элементов каких-либо четких взаимосвязей не выявилось, их концентрация на разных площадках может отличаться как на не-

сколько процентов, так и более чем в 10 раз. Количество подвижной формы макроэлементов Mg и К, 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. Установлены статистически значимые корреляционные зависимости между общим содержанием и содержанием подвижной формы элементов в почве для Ni, Mg и Pb ($p < 0.001$), Cr ($p < 0.01$), Cu, Mn и К ($p < 0.05$). Увеличение содержания подвижной формы Fe на площадке Т2 связано с высокой кислотностью почв, которая приводит к повышению подвижности Fe. 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). Почвы площадки Т1 были более сходны по pH и элементному составу с почвами фонового участка (Т4).

Сравнительный анализ содержания макроэлементов в надземной части изученных видов растений показал его значительное варьирование (табл. 2). Более высокие концентрации Са, К, Mg,

Таблица 1. Реакция среды и содержание подвижной формы макро- и микроэлементов в почвах (мг/кг воздушно-сухой почвы)**Table 1.** pH and content of the mobile macro- and trace elements in soils (mg/kg of air-dry matter)

Элементы Elements	Ценопопуляции Cenopopulations			
	T1	T2	T3	T4
pH _{KCl}	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	0.5	3.9	20.0	0.8
Na	26	30	26	29
Pb	0.9	1.1	1.0	1.3
Sr	50	28	25	49
Zn	0.8	0.8	0.7	0.9

Таблица 2. Содержание золы (%) и макроэлементов в растениях ($\bar{X} \pm S\bar{x}$), г/кг воздушно-сухого вещества**Table 2.** The content of ash (%) and trace elements in plants ($\bar{X} \pm S\bar{x}$), g/kg of air-dry matter

Элементы Elements	<i>Vicia cracca</i>				<i>Trifolium lupinaster</i>				<i>Bupleurum multinerve</i>				<i>Galium boreale</i>			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Зола Ash	6.8 ± 0.1	5.5 ± 0.0	7.4 ± 0.0	7.9 ± 0.5	6.7 ± 0.2	6.9 ± 0.1	6.8 ± 0.1	7.0 ± 0.4	6.2 ± 0.1	5.2 ± 0.0	5.2 ± 0.1	6.2 ± 0.3	8.1 ± 0.2	7.5 ± 0.4	7.9 ± 0.1	9.0 ± 0.3
Ca	11 ± 1	14 ± 1	10 ± 1	11 ± 0	17 ± 2	17 ± 2	13 ± 0	16 ± 1	8 ± 1	9 ± 0	7 ± 0	9 ± 0	18 ± 0	9 ± 2	11 ± 1	18 ± 0
K	18 ± 0	9 ± 0	13 ± 1	25 ± 1	17 ± 2	15 ± 2	7 ± 0	14 ± 0	14 ± 0	8 ± 1	9 ± 0	20 ± 1	25 ± 0	18 ± 1	21 ± 1	27 ± 3
Mg	2.4 ± 0.2	4.5 ± 0.1	4.8 ± 0.2	1.7 ± 0.2	3.2 ± 0.1	4.7 ± 0.2	4.1 ± 0.2	3.8 ± 0.0	1.8 ± 0.3	2.8 ± 0.2	3.8 ± 0.2	2.4 ± 0.0	4.7 ± 0.1	3.0 ± 0.0	5.2 ± 0.1	4.0 ± 0.0
Si	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	2.0 ± 0.1	1.8 ± 0.1	3.1 ± 0.2	2.7 ± 0.3
P	1.5 ± 0.1	1.4 ± 0.1	2.5 ± 0.3	1.9 ± 0.0	2.0 ± 0.5	1.9 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.8 ± 0.3	1.3 ± 0.1	2.0 ± 0.1	2.5 ± 0.0	1.7 ± 0.0	3.1 ± 0.0	1.5 ± 0.1	3.4 ± 0.2	2.1 ± 0.2

Примечание: \bar{X} – среднее арифметическое; $S\bar{x}$ – стандартное отклонение.

Note: \bar{X} – arithmetic average value; $S\bar{x}$ – standard deviation.

Si и P обнаружены у *G. boreale*, в связи с чем у этого вида отмечается и самая высокая зольность по сравнению с другим видами. Минимальное содержание макроэлементов на большинстве площадок установлено для *B. multinerve*. Концентрации отдельных микроэлементов в растениях разных видов также изменялись в широких пределах (табл. 3), например Ba от 23 (*V. cracca*) до 216 мг/кг

(*G. boreale*), марганца от 53 (*V. cracca*) до 129 мг/кг (*G. boreale*).

Значительное варьирование содержания макро- и микроэлементов в растениях обусловлено в первую очередь почвенно-геохимическими особенностями места произрастания. Для всех изученных видов растений характерно значимое увеличение концентрации Mg в зоне выхода ультра-

Таблица 3. Содержание микроэлементов в растениях ($\bar{X} \pm S\bar{X}$), мг/кг воздушно-сухого вещества
 Table 3. The content of trace elements in plants ($\bar{X} \pm S\bar{X}$), mg/kg of air-dry matter

Элементы	<i>Vicia cracca</i>				<i>Trifolium lupinaster</i>				<i>Bupleurum multinerne</i>				<i>Galium boreale</i>			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Al	48 ± 1	55 ± 0	68 ± 2	41 ± 1	59 ± 0	70 ± 3	49 ± 2	50 ± 4	40 ± 4	46 ± 0	44 ± 2	51 ± 3	73 ± 3	61 ± 1	59 ± 8	101 ± 13
B	19 ± 2	15 ± 1	24 ± 0	14 ± 0	25 ± 4	28 ± 0	20 ± 1	24 ± 2	14 ± 0	17 ± 0	24 ± 2	19 ± 0	31 ± 0	19 ± 2	26 ± 3	34 ± 3
Ba	23 ± 2	53 ± 1	35 ± 4	31 ± 3	55 ± 2	66 ± 6	55 ± 0	39 ± 2	31 ± 0	57 ± 2	53 ± 2	41 ± 0	199 ± 7	122 ± 12	197 ± 28	216 ± 9
Be	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.06 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.07 ± 0.00
Cd	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.11 ± 0.03	0.04 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.60 ± 0.14	0.08 ± 0.01	0.05 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.66 ± 0.01
Co	0.14 ± 0.03	0.19 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.05 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.28 ± 0.05	0.15 ± 0.01	0.15 ± 0.10	0.26 ± 0.08	0.19 ± 0.02	0.14 ± 0.02
Cr	0.44 ± 0.09	0.40 ± 0.11	0.45 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.51 ± 0.02	0.42 ± 0.06	0.39 ± 0.09	0.31 ± 0.03	0.24 ± 0.02	0.50 ± 0.11	0.30 ± 0.02	0.60 ± 0.16	0.40 ± 0.02	0.41 ± 0.04	0.46 ± 0.04	0.51 ± 0.04
Cu	6.0 ± 0.0	5.0 ± 0.3	2.9 ± 0.1	4.6 ± 0.2	4.2 ± 0.1	4.4 ± 0.2	2.8 ± 0.2	4.3 ± 0.2	3.5 ± 0.0	2.8 ± 0.1	3.6 ± 0.1	5.0 ± 0.1	6.1 ± 0.0	3.2 ± 0.0	4.7 ± 0.2	5.1 ± 0.2
Fe	67 ± 2	59 ± 0	65 ± 1	48 ± 3	55 ± 1	64 ± 0	55 ± 0	53 ± 1	42 ± 2	35 ± 1	34 ± 2	39 ± 2	63 ± 0.3	68 ± 5	64 ± 3	79 ± 5
Ga	0.14 ± 0.00	0.14 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.07 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.17 ± 0.03	0.12 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.19 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.14 ± 0.01	0.19 ± 0.01
La	0.22 ± 0.04	0.50 ± 0.01	0.67 ± 0.07	0.15 ± 0.02	0.46 ± 0.02	0.64 ± 0.09	0.32 ± 0.04	0.66 ± 0.03	0.30 ± 0.01	0.41 ± 0.08	0.52 ± 0.01	0.34 ± 0.03	0.44 ± 0.02	0.70 ± 0.13	0.62 ± 0.01	0.71 ± 0.04
Mn	69 ± 8	75 ± 5	72 ± 2	53 ± 1	75 ± 5	97 ± 4	48 ± 2	71 ± 2	55 ± 0	86 ± 1	65 ± 5	60 ± 5	84 ± 2	77 ± 3	63 ± 2	129 ± 4
Mo	2.22 ± 0.30	0.43 ± 0.11	0.31 ± 0.10	0.51 ± 0.00	2.20 ± 0.62	0.87 ± 0.06	0.64 ± 0.02	0.75 ± 0.06	0.72 ± 0.10	0.73 ± 0.03	0.54 ± 0.01	1.84 ± 0.02	0.88 ± 0.01	0.22 ± 0.00	0.35 ± 0.08	0.17 ± 0.02
Na	42 ± 3	35 ± 0	64 ± 1	22 ± 0	44 ± 4	74 ± 0	58 ± 3	42 ± 0	56 ± 4	31 ± 1	32 ± 0	23 ± 0	17 ± 13	114 ± 23	52 ± 0	73 ± 5
Ni	4.1 ± 0.1	15.2 ± 0.2	16.3 ± 1.0	1.7 ± 0.4	1.5 ± 0.0	6.5 ± 0.5	10.6 ± 0.6	3.2 ± 0.3	1.2 ± 0.1	10.3 ± 0.2	19.7 ± 2.4	3.7 ± 0.2	1.6 ± 0.1	6.3 ± 0.3	8.5 ± 0.6	3.4 ± 0.2
Pb	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.00	0.16 ± 0.00	0.24 ± 0.00	0.15 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.07 ± 0.00	0.47 ± 0.01	0.11 ± 0.00	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.11 ± 0.00	0.13 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.25 ± 0.02
Sc	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.04 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.13 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.02	0.12 ± 0.01
Sr	60 ± 0	54 ± 0	58 ± 1	62 ± 3	97 ± 0	71 ± 9	66 ± 6	63 ± 3	33 ± 2	46 ± 1	27 ± 0	29 ± 0	109 ± 1	45 ± 2	70 ± 1	90 ± 1
Ti	4.7 ± 0.6	5.6 ± 0.4	8.1 ± 0.4	2.3 ± 0.2	5.8 ± 0.2	6.7 ± 0.1	5.0 ± 0.2	5.4 ± 0.4	4.0 ± 0.1	3.7 ± 0.1	4.5 ± 0.2	3.8 ± 0.1	6.8 ± 0.4	7.7 ± 0.1	7.8 ± 0.5	10.4 ± 0.4
V	0.34 ± 0.00	0.26 ± 0.00	0.41 ± 0.01	0.39 ± 0.03	0.36 ± 0.00	0.35 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.30 ± 0.00	0.26 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.46 ± 0.02	0.44 ± 0.03	0.45 ± 0.00	0.58 ± 0.01
Zn	18 ± 4	38 ± 0	44 ± 1	20 ± 1	19 ± 3	37 ± 1	19 ± 1	31 ± 3	15 ± 1	26 ± 1	30 ± 0	28 ± 2	51 ± 1	39 ± 5	51 ± 4	32 ± 1
Zr	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.5 ± 0.0	1.1 ± 0.0	1.3 ± 0.2	0.6 ± 0.1	1.1 ± 0.1	0.6 ± 0.0	0.8 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.0 ± 0.1	1.3 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.5 ± 0.0

Примечание: \bar{X} – среднее арифметическое; $S\bar{X}$ – стандартное отклонение.

Note: \bar{X} – arithmetic average value; $S\bar{X}$ – standard deviation.

основных пород (Т3), эта особенность отмечалась и ранее при сравнительном исследовании макро- и микроэлементного состава некоторых полезных видов растений Полярного Урала [15]. Для представителей семейства Fabaceae отмечается увеличение концентрации Mg и на площадке Т2 (основные породы). Для *V. cracca*, *B. multinerve* и *G. boreale* на площадке Т3 отмечаются более высокие концентрации P. Содержание K на ультраосновных породах у всех анализируемых видов растений значительно меньше, чем на площадке Т4. Низкие концентрации K характерны для *V. cracca*, *B. multinerve* и *G. boreale* также на площадке Т2 (основные породы).

Изменение уровня накопления большинства проанализированных микроэлементов на почвах различного геохимического состава (табл. 3) имело видоспецифичный характер. Для представителей семейства Fabaceae характерно значимое увеличение концентрации Fe в растениях на ультраосновных (Т3) и основных породах (Т2), а для *B. multinerve* и *G. boreale* – снижение его содержания. Уровень накопления Mn в растениях *G. boreale* произрастающих на ультраосновных и основных породах был почти в 2 раза ниже, чем в популяции этого вида на фоновом участке. В растениях *T. lupinaster* концентрация Mn снижалась на ультраосновных и повышалась на основных породах, в растениях *V. cracca* содержание Mn значительно увеличивалось на всех площадках по сравнению с фоновой территорией. Исследования, проведенные в контрастных геохимических условиях Полярного Урала, показали значимое снижение концентрации марганца в растениях 156 видов из 25 семейств, произрастающих на ультраосновных породах по сравнению с таковыми на других типах пород [15], при этом отмечался и высокий уровень варьирования между образцами на разных типах пород. Это может быть связано с антагонистическим действием высокого уровня Mg и Ni на поглощение Mn [13, 15]. Известно, что величина соотношения Fe/Mn 1.2–2.5 обеспечивает эффективное протекание фотосинтеза в листьях растений [13]. Наиболее низкие значения Fe/Mn – 0.4–0.6 характерны для *B. multinerve* в зоне выхода основных (Т2) и ультраосновных пород (Т3). У растений *V. cracca* величина соотношения Fe/Mn также уменьшалась на этих площадках до 0.8 (Т2) и 0.9 (Т3), что указывает на нарушение поступления Fe в листья растений. Для растений *G. boreale* и *T. lupinaster* характерно варьирование значения Fe/Mn в зависимости от места произрастания (0.6–1.1), но наибольшие значения – соответственно 1.0 и 1.1 – отмечены в зоне выхода ультраосновных пород.

Уровень накопления Cu у всех видов растений снижался на площадке Т3, а у *B. multinerve* и *G. boreale* и на площадке Т2. Содержание Zn (за исключением *T. lupinaster*) наоборот на площадках

Т2 и Т3 увеличивалось. Согласно ранее проведенным исследованиям, соотношение Cu/Zn в листьях растений *Lonicera caerulea* (сем. Caprifoliaceae) в различных популяциях Горного Алтая изменялось в пределах 0.2–0.3 [10]. Оба элемента связаны с процессами ферментосинтеза [32] и более жестко контролируются биологическими и физико-химическими механизмами поглощения и концентрации элементов. У растений изученных видов наблюдалось незначительное варьирование величины Cu/Zn – от 0.1 до 0.3. Снижение этого соотношения до 0.1 наблюдалось у всех видов в зоне выхода основных (Т2) и ультраосновных пород (Т3) за счет менее интенсивного накопления Cu и более высокого – Zn.

Содержание Ni в растениях на ультраосновных породах изменялось от 8.5 до 19.7 мг/кг, что значительно превышало его концентрацию в растениях фоновом участке (1.7–3.7 мг/кг). Наиболее высокие концентрации Ni установлены в растениях *V. cracca* (16.3 мг/кг) и *B. multinerve* (19.7 мг/кг). Уровень накопления в растениях Ni в зоне выхода основных пород (Т2) также был повышенным, по сравнению с фоном (6.3–15.2 мг/кг).

Содержание Co увеличивалось в растениях, произрастающих на ПП Т2 и Т3, и изменялось в зависимости от вида от 0.19 до 0.37 мг/кг. Незначительное повышение концентрации Sr отмечалось на этих площадках только у представителей семейства Fabaceae.

Наблюдалась отрицательная корреляционная зависимость между общим содержанием калия в почве и в растениях *V. cracca* ($p < 0.01$), между содержанием Ti в почве и в растениях *T. lupinaster* ($p < 0.01$). Положительная корреляция установлена между содержанием в почве и в растениях *V. cracca* меди, свинца и бериллия ($p < 0.01$); в растениях *T. lupinaster* – кадмия ($p < 0.01$); в растениях *B. multinerve* – бора ($p < 0.05$), кадмия ($p < 0.01$) и свинца ($p < 0.001$); в растениях *G. boreale* – кадмия ($p < 0.05$). Содержание подвижной формы Ni, Cd, Pb и Sr в почвах также оказывало влияние на уровень накопления этих элементов в растениях.

Хорошо иллюстрирует различную у изученных видов растений интенсивность накопления определенных макро- и микроэлементов коэффициент биологического накопления (рис. 2). При значениях коэффициента выше единицы растения рассматриваются как концентраторы химических элементов [5, 6]. У всех изученных видов самые высокие значения коэффициента биологического накопления характерны для микроэлементов Cu и Zn. Коэффициент биологического накопления Na более 1 характерен для *T. lupinaster*, а Ni – для *B. multinerve*.

Концентрация Ni в растениях всех изученных видов превышает максимально допустимый уровень содержания Ni в укусах растений и расти-

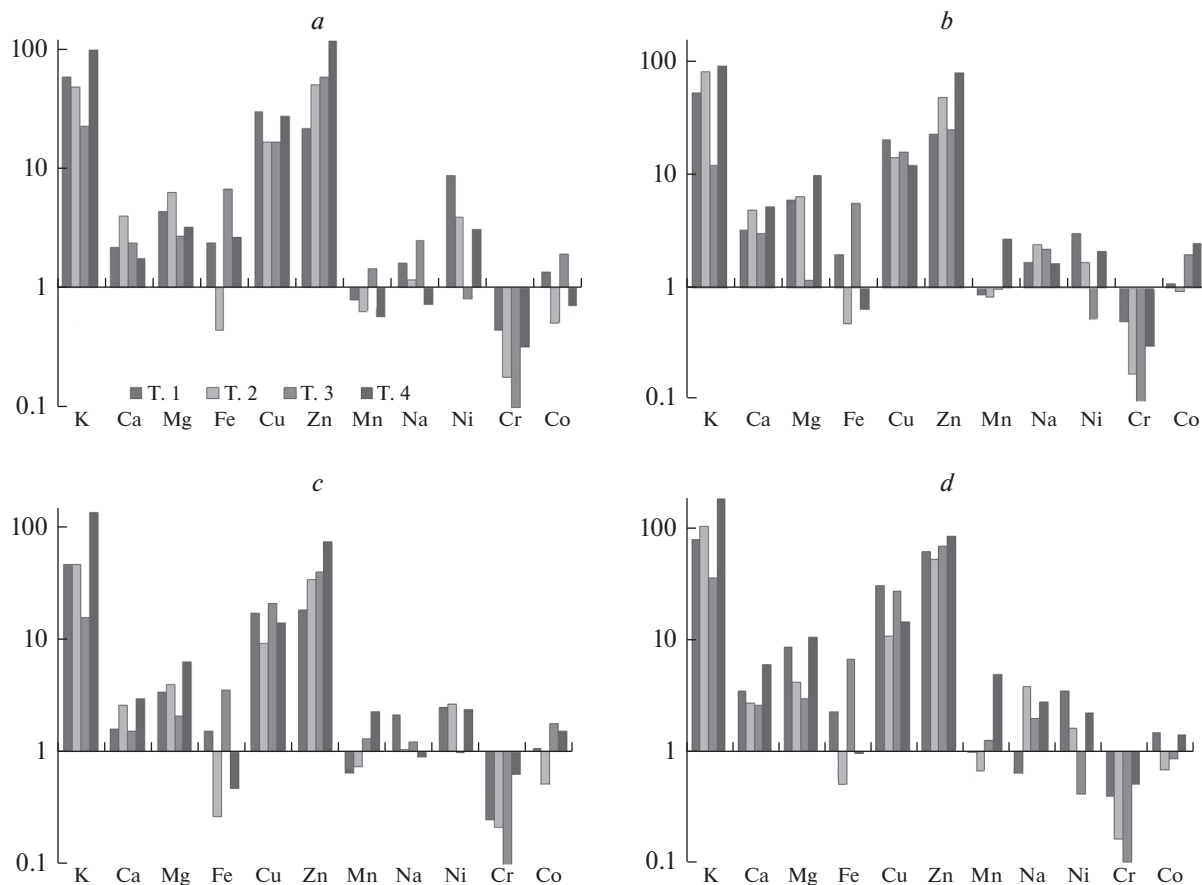


Рис. 2. Коэффициент биологического накопления макро- и микроэлементов растениями *Vicia cracca* (a), *Trifolium lupinaster* (b), *Vupleurum multinerve* (c) и *Galium boreale* (d).

По горизонтали: анализируемые элементы в точках отбора проб; по вертикали: отношение содержания элементов в сухой фитомассе к концентрации их подвижной формы в почве (в логарифмической шкале).

Fig. 2. The coefficient of biological accumulation of macro- and trace elements by *Vicia cracca* (a), *Trifolium lupinaster* (b), *Bupleurum multinerve* (c) and *Galium boreale* (d).

X-axis: elements in sampling points, y-axis: the ratio of the content of an element in the dry biomass to concentration its mobile fractions in the soil (in logarithmic scale).

тельных кормах (5 мг/кг воздушно-сухой массы) в 1.3–4 раза [14]. Полученные результаты необходимо принимать во внимание при сборе и использовании растительного сырья для приготовления галёновых препаратов, поскольку в настои и отвары может переходить более 50% химических элементов, содержащихся в растениях [16, 33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение макро- и микроэлементного состава растений *Galium boreale*, *Trifolium lupinaster*, *Vicia cracca* и *Bupleurum multinerve* в ценопопуляциях Горного Алтая на участке с блоками-включениями серпентинитов выявило его значительную вариабельность в зависимости от почвенно-геохимических условий.

Установлены видовые особенности аккумуляции отдельных элементов. Растения видов *V. cracca* и *B. multinerve* более интенсивно, чем *G. boreale* и

T. lupinaster, накапливают Ni. Содержание Zn и Cu в надземных органах растений всех изученных видов значительно (в 10 и более раз) выше, чем концентрация подвижной формы этих микроэлементов в почве. Содержание в надземной части *T. lupinaster* Na и в надземной части *B. multinerve* Ni превышает содержание этих элементов в почве (КБН >1). Показаны видоспецифичные, значимые корреляционные связи между содержанием подвижной формы Ni, Cd, Pb и Sr в почве и в растениях, и между общим содержанием K, Ti, B, Be, Cu, Cd и Pb в почвах и растениях *G. boreale*, *T. lupinaster*, *V. cracca* и *B. multinerve*.

В двух исследованных ценопопуляциях в зонах выхода ультраосновных и основных пород выявлено превышение допустимого уровня накопления Ni в растениях всех проанализированных видов, что необходимо учитывать при заготовке фитосырья.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института почвоведения и агрохимии СО РАН и Центрального сибирского ботанического сада СО

РАН (проект № АААА-А21-121011290027-6. Авторы выражают благодарность администрации ФГБУ “Государственный природный биосферный заповедник “Катунский” за помощь в организации исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jabin F., Nasreen S.* 2016. Phytochemical analysis of some medicinal plants. — *Int. J. Adv. Res.* <https://www.allresearchjournal.com/archives/2016/vol2issue8/PartE/2-7-171-265.pdf>
2. *Raj M.S., Kameshwari M.N., Tharasaraswath K.J., Shubharani R.* 2017. Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals in two different species of *Urginea*. — *Int. J. Pharma. Life Sci.* 8(2): 5433–5438. <http://www.ijplsjournal.com/issues%20PDF%20files/Archive-2017/February-2017/1.pdf>
3. *Gupta M., Thakur S., Sharma A., Gupta S.* 2013. Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals and pharmacological value of some dye yielding medicinal plants. — *Oriental. J. Chem.* 29(2): 475–481. <http://www.orientjchem.org/?p=22064>
4. *Ghorbanzadeh H.R., Toosi M.H., Sazgarnia A., Yousefi M., Bajestani M.J., Salari R.* 2019. A novel vaporizer to release volatile substances from aromatic plants — *J. Adv. Pharm. Educ. Res.* 9(S2): 87–94. <https://japer.in/article/a-novel-vaporizer-to-release-volatile-substances-from-aromatic-plants>
5. *Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М.* 2021. Почему растения лечат: около 200 видов лекарственных растений с кратким биохимическим описанием. Изд. 3, стереотип. М. 228 с.
6. *Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н., Быховский В.Я., Пономарева С.М.* 1999. Особенности элементного состава лекарственных растений, синтезирующих фенольные соединения. — *Прикл. биохимия и микробиология.* 35(5): 578–589.
7. *Szymański M., Witkowska-Banaszczak E., Klak N., Marciniak K., Wołowicz T., Szymański A.* 2014. Effects of trace Elements on polyphenolic compounds in *Millefolii* herba. — *Pol. J. Environ. Stud.* 23(2): 459–466.
8. *Боярских И.Г., Сысо А.И., Сиromля Т.И.* 2019. Изменчивость содержания химических элементов и биологически активных полифенолов в органах *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* (Caprifoliaceae) в высотном градиенте — *Сибирский экологический журн.* 6: 727–741. <https://doi.org/10.15372/SEJ20190608>
9. *Некратова Н.А., Некратов Н.Ф.* 2005. Лекарственные растения Алтае-Саянской горной области. Ресурсы, экология, ценокомплексы, популяционная биология, рациональное использование. Томск. 228 с.
10. *Боярских И.Г., Сысо А.И., Сиromля Т.И.* 2018. Особенности минерального состава *Lonicera caerulea* в контрастных геохимических условиях. — *Химия растительного сырья.* 3: 129–138. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018033740>
11. *Kumarathilaka P., Dissanayake C., Vithanage M.* 2014. Geochemistry of serpentinite soils: A brief overview. — *J. Geol. Soc. Sri Lanka.* 16: 53–63.
12. *Marescotti P., Comodi P., Crispini L., Gigli L., Zucchini A., Fornasaro S.* 2019. Potentially toxic elements in ultramafic soils: A study from metamorphic ophiolites of the Voltri Massif (Western Alps, Italy). — *Minerals.* 9(8): 502. <https://doi.org/10.3390/min9080502>
13. *Kabata-Pendias A.* 2011. Trace Elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton. 505 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>
14. *Критерии* оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. 1992. М.
15. *Алексеева-Попова Н.В., Дроздова И.В.* 2013. Микроэлементный состав растений Полярного Урала в контрастных геохимических условиях. — *Экология.* 2: 90–98. <https://doi.org/10.7868/S0367059713020030>
16. *Гравель И.В., Шойхет Я.Н., Яковлев Г.П., Самылина И.А.* 2012. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. М. 304 с.
17. *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000.* Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист М-45-XIV (Усть-Кокса). Объяснительная записка. 2019. М. 272 с. http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_M-45-XIV.pdf
18. *Пленник Р.Я., Гонтарь Э.М., Тюрина Е.В., Гуськова И.Н., Израильсон В.Ф., Пшеничкина Ю.А.* 1989. Полезные растения Хакасии. Ресурсы и интродукция. Новосибирск. 271 с.
19. *Николаев Н.А., Ливазан М.А., Скирденко Ю.П., Мартынов А.И.* 2019. Биологически активные растения и грибы Сибири в клинической медицине. Т. 1. М. 382 с. https://s.monographies.ru/doc/2019/03/file_5c90d9206e9e1.pdf
20. *Минаева В.Г.* 1991. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск. 431 с.
21. *Altantsetseg S., Shatar S., Javzmaa N.* 2012. Comparative study of essential oil constituents of *Bupleurum* species from Mongolia. — *Mongolian J. Chemistry.* 13(39): 28–30. <https://doi.org/10.5564/mjc.v13i0.156>
22. *Olenikov D.N., Partilkhaev V.V.* 2013. Flavonoids and phenylpropanoids from several species of *Bupleurum* growing in Buryatia. — *Chem. Nat. Compd.* 48(6): 1078–1082. <https://doi.org/10.1007/s10600-013-0471-x>

23. Миревич В.М., Оленников Д.Н., Петухова С.А., Посохина А.А. 2020. Флавоноиды и фенилпропаноиды надземных органов володушки многожилковой (*Bupleurum multinerve* DC.) флоры Прибайкалья. — Химия растительного сырья. 4: 121–128.
<https://doi.org/10.14258/jcpr.m.2020047530>
24. Саратиков А.С., Минаева В.Г., Лившиц Н.С. и др. 1990. Новые фармакологические свойства препарата буплерина из надземной части *Bupleurum multinerve* DC. — Растительные ресурсы. 26(1): 88–90.
25. Крылов Г.В., Козакова Н.Ф., Лагерь А.А. 1989. Растения здоровья. Новосибирск. 304 с.
26. Wazir S.M., Dasti A.A., Shah J. 2004. Common medicinal plants of Chapursan valley, Gojal II, Gilgit Pakistan. — J. Res. (Science). 15(1): 41–43.
27. Abbas Z., Kousar S., Aziz M.A., Pieroni A., Aldosari A.A., Bussmann R.W., Raza G., Abbasi A.M. 2021. Comparative assessment of medicinal plant utilization among Balti and Shina communities in the periphery of Deosai National Park, Pakistan. — Biology. 10, 434.
<https://doi.org/10.3390/biology10050434>
28. Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М. 610 с.
29. Glantz S.A. 2012. Primer of Biostatistics. 7 th ed. New York. 320 p.
30. Erschbamer B. 1991. Das Ionenmilieu im durchwurzelten Oberboden und seine Auswirkungen auf die Verbreitung der beiden *Carex curvula* Unterarten, *Carex curvula* ssp. *curvula* und *Carex curvula* ssp. *rosae* in der Dolomiten, Italien. — Flora. 185(5): 345–355.
[https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30494-2](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30494-2)
31. Сысо А.И. 2007. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск. 277 с.
32. Битюцкий Н.П. 2020. Микроэлементы высших растений. СПб. 368 с.
33. Сиromля Т.И. 2014. Содержание химических элементов в водном экстракте *Plantago major* L. при антропогенной нагрузке. — Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 9: 65–66.

Macro- and Trace Elements Composition of Some Medicinal Plants in the Geochemically Abnormal Environment in the Altai Mountains (Russia)

I. G. Boyarskykh^{a, b, *}, T. I. Siromlya^b

^aCentral Siberian Botanical Garden, SB RAS, Novosibirsk, Russia

^bInstitute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*e-mail: irina_2302@mail.ru

Abstract—The specificity of macro- and trace elements accumulation in the leaves and stems of *Galium boreale*, *Trifolium lupinaster*, *Vicia cracca*, and *Bupleurum multinerve* coenopopulations growing at the sites with serpentinite inclusions in the Altai Mountains (Russia) was studied. The total content of macro- and trace elements in plants and soil was determined by the atomic emission spectrometry, and the mobile fraction, 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 the studied medicinal plant species. As compared to *G. boreale* and *T. lupinaster*, *V. cracca* and *B. multinerve* showed a greater capability of Ni accumulation. *G. boreale* was characterized by high level of Ba accumulation. All studied species were Cu and Zn accumulators. Some species-specific statistically significant correlations between the mobile fraction of Ni, Cd, Pb and Sr in soil and phytomass were revealed. Different correlations between their soil and phytomass contents were found for such elements as K, Ti, B, Be, Cu, Cd and Pb. Multidirectional species-specific correlations were noted between the total content in plant organs and the content in soils of K, Ti, B, Be, Cu, Cd, and Pb. In all studied plant species growing in the zone of exposure of ultrabasic rocks, an increase in the concentration of Ni, Mg and P (Ni is above the maximum allowable level of accumulation) and a decrease in the content of Ca and K were found.

Keywords: *Galium boreale*, *Trifolium lupinaster*, *Vicia cracca*, *Bupleurum multinerve*, mineral composition of plants, species specificity of accumulation, ultrabasic rocks, Mountain Altai

ACKNOWLEDGEMENTS

The present study was carried out within the framework of the institutional research project (AAAA-A21-121011290027-6) of the Central Siberian Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences and the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The authors express their gratitude to the administration of the State Natural Biosphere Reserve “Katunsky” for the assistance in organizing research.

REFERENCES

1. *Jabin F., Nasreen S.* 2016. Phytochemical analysis of some medicinal plants. – *Int. J. Adv. Res.* 2: 293–295. <https://www.allresearchjournal.com/archives/2016/vol2issue8/PartE/2-7-171-265.pdf>
2. *Raj M.S., Kameshwari M.N., Tharasaraswath K.J., Shubharani R.* 2017. Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals in two different species of *Urginea*. – *Int. J. Pharma. Life Sci.* 8(2): 5433–5438. <http://www.ijplsjournal.com/issues%20PDF%20files/Archive-2017/February-2017/1.pdf>
3. *Gupta M., Thakur S., Sharma A., Gupta S.* 2013. Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals and pharmacological value of some dye yielding medicinal plants. – *Oriental. J. Chem.* 29(2): 475–481. <http://www.orientchem.org/?p=22064>
4. *Ghorbanzadeh H.R., Toosi M.H., Sazgarnia A., Yousefi M., Bajestani M.J., Salari R.* 2019. A novel vaporizer to release volatile substances from aromatic plants. – *J. Adv. Pharm Educ. Res.* 9(S2): 87–94. <https://japer.in/article/a-novel-vaporizer-to-release-volatile-substances-from-aromatic-plants>
5. *Lovkova M.Ya., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.M.* 2021. [Why do the plants treat?]. Moscow. 256 p. (In Russian)
6. *Lovkova M.Ya., Sokolova S.M., Buzuk G.N., Bykhovskij V.Ya., Ponomareva S.M.* 1999. Features of the elemental composition of medicinal plants synthesizing phenolic compounds. – *Applied Biochemistry and Microbiology.* 5: 514–524.
7. *Szymański M., Witkowska-Banaszczak E., Klak N., Marciniak K., Wołowicz T., Szymański A.* 2014. Effects of trace Elements on polyphenolic compounds in *Millefolii* herba. – *Pol. J. Environ. Stud.* 23(2): 459–466.
8. *Boyarskih I.G., Syso A.I., Siromlya T.I.* 2019. Variability of chemical elements and biologically active polyphenols in *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* (Caprifoliaceae) plant organs along an altitudinal gradient. – *Contemporary Problems of Ecology.* 12(6): 594–606. <https://doi.org/10.1134/S1995425519060039>
9. *Nekratova N.A., Nekratov N.F.* 2005. [Medicinal plants of the Altai-Sayan mountain region: resources, ecology, coenotic complexes, population biology, rational use]. Tomsk. 228 p. (In Russian)
10. *Boyarskikh I.G., Syso A.I., Siromlya T.I.* 2018. Mineral composition of *Lonicera caerulea* phytomass in contrasting geochemical environments. – *Khimija rastitel'nogo syr'ja.* 3: 129–138. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018033740> (In Russian)
11. *Kumarathilaka P., Dissanayake C., Vithanage M.* 2014. Geochemistry of serpentinite soils: A brief overview. – *J. Geol. Soc. Sri Lanka.* 16: 53–63.
12. *Marescotti P., Comodi P., Crispini L., Gigli L., Zucchini A., Fornasaro S.* 2019. Potentially toxic elements in ultramafic soils: A study from metamorphic ophiolites of the Voltri Massif (Western Alps, Italy). – *Minerals.* 9(8): 502. <https://doi.org/10.3390/min9080502>
13. *Kabata-Pendias A.* 2011. Trace Elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton. 505 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>
14. [Criteria for assessing the environmental conditions of the territories to identify areas of extreme environmental conditions and zones of ecological disaster]. 1992. Moscow. (In Russian)
15. *Alexeeva-Popova N.V., Drozdova I.V.* 2013. Micronutrient composition of plants in the Polar Urals under contrasting geochemical conditions. – *Russ. J. Ecol.* 44(2): 100–107. <https://doi.org/10.1134/S1067413613020033>
16. *Gravel' I.V., Shoykhet Ya.N., Yakovlev G.P., Samylina I.A.* 2012. [Pharmacognosy. Ecotoxicants in medicinal plant raw materials and herbal medicinal products]. Moscow. 304 p. (In Russian)
17. [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200000. 2nd ed., Ser. Gorno-Altai. Sheet M-45-XIV (Ust-Koksa). Explanatory note] 2019. Moscow. 272 p. http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_M-45-XIV.pdf (In Russian)
18. *Plennik R.Ya., Gontar E.M., Tyurina E.V., Guskova I.N., Izrailson V.F., Pshenichkina Yu.A.* 1989. [Useful plants of Khakassia. Resources and introduction]. Novosibirsk. 271 p. (In Russian)
19. *Nikolaev N.A., Livazan M.A., Skirdenko Yu.P., Martynov A.I.* 2019. [Biologically active plants and fungi of Siberia in clinical medicine]. V. 1. Moscow. 382 p. https://s.monographies.ru/doc/2019/03/file_5c90d9206e9e1.pdf (In Russian)
20. *Minayeva V.G.* 1991. [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk. 427 p. (In Russian)
21. *Altantsetseg S., Shatar S., Javzmaa N.* 2012. Comparative study of essential oil constituents of *Bupleurum* species from Mongolia. – *Mongolian J. Chemistry.* 13(39): 28–30. <https://doi.org/10.5564/mjc.v13i0.156>
22. *Olennikov D.N., Partilkhaev V.V.* 2013. Flavonoids and phenylpropanoids from several species of *Bupleurum* growing in Buryatia. – *Chem. Nat. Compd.* 48(6): 1078–1082. <https://doi.org/10.1007/s10600-013-0471-x>
23. *Mirovich V.M., Olennikov D.N., Petukhova S.A., Posokhina A.A.* 2020. Flavonoids and phenylpropanoids of the above ground organs of the *Bupleuri multinervi* DS. of the flora of the Baikal region. – *Khimija rastitel'nogo syr'ja.* 4: 121–128. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047530> (In Russian)

24. Saratikov A.S., Minayeva V.G., Livshits N.S., Zhanayeva T.A., Lobanova I.Ye. 1990. [New pharmacological properties of the drug buplerin from the aerial part of *Bupleurum multinerve* DC.]. – Rastitelnye resursy. 26(1): 88–90. (In Russian)
25. Krylov G.V., Kozakova N.F., Lager' A.A. 1989. [Plants of health]. Novosibirsk. 304 p. (In Russian)
26. Wazir S.M., Dasti A.A., Shah J. 2004. Common medicinal plants of Chapursan valley, Gojal II, Gilgit Pakistan. – J. Res. (Science), Pakistan. 15(1): 41–43.
27. Abbas Z., Kousar S., Aziz M.A., Pieroni A., Aldosari A.A., Busmann R.W., Raza G., Abbasi A.M. 2021. Comparative assessment of medicinal plant utilization among Balti and Shina communities in the periphery of Deosai National Park, Pakistan. – Biology. 10, 434.
<https://doi.org/10.3390/biology10050434>
28. Perelman A.I., Kasimov N.S. 1999. [Geochemistry of the terrain]. Moscow. 610 p. (In Russian)
29. Glantz S.A. 2012. Primer of Biostatistics. 7 th ed. New York. 320 p.
30. Erschbamer B. 1991. Das Ionenmilieu im durchwurzelten Oberboden und seine Auswirkungen auf die Verbreitung der beiden *Carex curvula* Unterarten, *Carex curvula* ssp. *curvula* und *Carex curvula* ssp. *rosae* in der Dolomiten, Italien. [The Ionic States of the Rooting Zone and its Influence on the Distribution of the *Carex curvula*-subspecies, *Carex curvula* ssp. *curvula* and *Carex curvula* ssp. *rosae*, in the Dolomites, Italy.]. – Flora. 185(5): 345–355.
[https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30494-2](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30494-2)
31. Syso A.I. 2007. [Patterns of the distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk. 277 p. (In Russian)
32. Bityutskiy N.P. [Trace elements of higher plants]. 2020. St. Petersburg. (In Russian)
33. Siromlya T.I. 2014. [The content of the chemical elements in the aqueous extract of *Plantago major* L. under anthropogenic load]. – Voprosy biologicheskoy meditsinskoyi farmatsevticheskoy khimii. 9: 65–66. (In Russian)