

УДК 581.192:582.949.2(571.1/5)

**ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОГО ХИМИЧЕСКОГО
СОСТАВА РАСТЕНИЙ *Leonurus quinquelobatus*
(на примере Западной Сибири)**

Ю.В. Загурская¹, Т.И. Сиромля²

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
г. Кемерово, 650065, Россия

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, 630090, Россия

Аннотация

Проведена экологическая оценка содержания и особенностей накопления химических элементов растениями *Leonurus quinquelobatus* в различных экологических условиях на юге Западной Сибири. Отмечена статистически значимая разница содержания Cu, Ga, Fe, K, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Si, Sn, Sr, Ti, V, Y, Yb, Zn, Zr в растениях *L. quinquelobatus* из различных регионов Западной Сибири. В алтайских образцах выявлено наиболее высокое валовое содержание K и Cu, в кемеровских – Mn и Na, остальные элементы преобладали в растениях из Новосибирска. Более высокое валовое содержание ряда химических элементов может быть вызвано повышенной запыленностью растений (часть элементов содержится не в тканях растений, а в мелкодисперсных почвенных частицах, осевших на их поверхности), что подтверждают показатели содержания подвижных форм химических элементов и их степени извлекаемости. Исследованные нами растения *L. quinquelobatus* соответствуют требованиям к общей зольности, содержанию золы, нерастворимой в 10%-ной HCl, а также концентрации нормируемых химических элементов в лекарственном растительном сырье. Отмечена значительная вариабельность коэффициентов биологического поглощения и биогеохимической подвижности. *L. quinquelobatus* относится к гумидокатному типу растений. Интенсивность накопления Cr, Pb, Co Zn и В ниже среднестатистических.

Ключевые слова: пустырник пятилопастной, потенциально токсичные элементы, тяжелые металлы, лекарственное растительное сырье, экологическая оценка

Введение

Растения – одни из наиболее исследованных и признанных объектов биомониторинга загрязнения почв потенциально опасными химическими элементами (ХЭ). Изучение закономерностей концентрирования ХЭ высшими растениями, на которые наиболее значительное влияние оказывают условия среды и видовая специфика, дает возможность познания эволюционных процессов в биосфере и оценки ее устойчивости к интенсивным техногенным воздействиям [1].

Исследование элементного химического состава не только решает важную теоретическую задачу: определение роли факторов окружающей среды в накоплении связанных и подвижных форм химических элементов растениями различных

таксонов, но и имеет огромное практическое значение для потенциально ресурсных растений. В настоящее время интенсивно развивается лекарственное растениеводство, особенно в направлении интродукции и реинтродукции редких и исчезающих видов растений [2], а также с целью повышения продуктивности биомассы растений и улучшения качества получаемого сырья, в том числе для рудеральных, разреженно произрастающих в большинстве ценопопуляций или ограниченно распространенных растений. При этом одной из основных проблем, отмечаемых исследователями, является снижение качества растительного лекарственного сырья вследствие влияния на растения индустриальной и транспортной нагрузки, что особенно актуально для крупных городов и прилегающих к ним территорий [3]. Антропогенное накопление и трансформация химических элементов в почвенной среде представляют собой реальную угрозу для здоровья живых организмов и устойчивости биосферы. Одним из наиболее масштабных источников загрязнения среды потенциально опасными элементами в настоящее время является автомобильный транспорт [4, 5]. Серьезной экологической проблемой является также загрязнение всех компонентов природных сред вредными веществами в районах интенсивной добычи, переработки и эксплуатации угля [6, 7].

Лекарственным действием обладают многие виды рода *Leonurus* L. (сем. Lamiales): в европейской медицине траву *Leonurus cardiaca* L. (пустырника сердечного) использовали при нервных и сердечных заболеваниях, расстройствах пищеварения, аменорее, а также наружно при ранах [8]. В современной медицине препараты травы пустырника принимают как нейро- и кардиопротекторное средство, действие которого обеспечивается богатым составом биологически активных веществ [9, 10]. Аналогичное действие на сердечно-сосудистую систему отмечено для растения китайской народной медицины *Leonurus japonicus* Houtt. [11]. Растение монгольской народной медицины – *Leonurus sibiricus* L. – применяется при лечении сахарного диабета 2-го типа [12], он также обладает антибактериальной активностью [13].

Leonurus quinquelobatus Gilib. (пустырник пятилопастной) – многолетнее травянистое лекарственное растение, которое в Российской Федерации применяется для создания лекарственных препаратов наряду с *L. cardiaca*, согласно Государственной фармакопее 1990 и 2015 гг. [14, 15], он также обладает выраженным седативным и антигипертензивным действием [16]. Вопросы содержания химических элементов и их зависимости от различных факторов практически не исследованы не только для растений вида *L. quinquelobatus*, но и для рода *Leonurus* в целом, включая наиболее филогенетически близкий таксон [17] – *L. cardiaca* L. (пустырник сердечный).

Цель настоящей работы – экологическая оценка содержания и особенностей накопления ХЭ растениями *Leonurus quinquelobatus* на примере Западной Сибири.

Для этого были поставлены следующие задачи: определить содержание ХЭ в растениях *L. quinquelobatus* при выращивании в различных экологических условиях на юге Западной Сибири и установить содержание подвижных форм ХЭ в растениях, а также рассчитать коэффициенты биологического накопления, биогеохимической подвижности, биогеохимической активности вида.

Материал и методы исследований

Растения выращивали из генетически однородного материала рассадным способом в трех регионах юга Западной Сибири на опытных участках: Кузбасский ботанический сад Института экологии человека СО РАН (г. Кемерово); Сад мичуринцев Новосибирского государственного аграрного университета (НГАУ) (г. Новосибирск); Горно-Алтайский ботанический сад (с. Камлак, Республика Алтай). Сбор образцов растений проводили в 2011 и 2012 гг. в фазу цветения согласно требованиям Государственной фармакопеи СССР [14], даты сбора различались в зависимости от года и региона [18]. Для сравнения исследовали образцы аптечного препарата *Leonuri herba*.

Сад мичуринцев НГАУ находится в урбанизированной среде г. Новосибирска, вблизи двух автомагистралей с интенсивным движением, что обуславливает существенную транспортную нагрузку на растения. Территория Кузбасского ботанического сада расположена на окраине левобережной части г. Кемерово, одного из крупнейших угледобывающих и перерабатывающих центров Западной Сибири. Контрольный участок – Горно-Алтайский ботанический сад – находится в окрестностях с. Камлак Шебалинского района Республики Алтай, занимает урочище Чистый луг в смешанном лесу. Все регионы проведения исследований имеют близкие показатели и сходные тенденции изменения климатических факторов. По суммарной степени загрязнения окружающей среды в результате хозяйственной деятельности человека наиболее высокие показатели характеризуют Кемеровскую и Новосибирскую области.

Общее содержание ХЭ определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа (установка для проведения исследований включает источник возбуждения спектров – дуговой аргоновый двухструйный плазмотрон (ДДП, Россия), устройство для распыления и подачи в плазменную струю исследуемого тонкодисперсного порошка, спектрометр (PGS-2, Германия), многоканальный анализатор эмиссионных спектров (МАЭС, Россия)). Концентрацию As и Hg определяли по ГОСТ Р 51766-2001 и ГОСТ Р 53183-2008 [19, 20]. Анализ содержания ХЭ, извлекаемых из растений раствором 10%-ной HCl, проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе Квант-2А (Россия). Содержание ХЭ приведено в пересчете на абсолютно-сухое вещество. В качестве стандартов использованы отраслевой стандартный образец состава травяной муки злаковой (гранулированной) (ТМЗг-01) ОСО № 10-176-2011 и стандартный образец состава листа березы (ЛБ-1) ГСО 8923-2007. Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения. Общую зольность и количество золы, не растворимой в 10%-ной HCl, определяли согласно Государственной фармакопее Российской Федерации 2015 г. [21]. Степень извлечения α определяли как отношение содержания ХЭ, извлекаемого раствором 10%-ной HCl, к валовому содержанию ХЭ в растительном сырье, в процентах.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью пакета программ SNEDECOR. Нормальность распределения исследуемых ХЭ определялась по критериям Уилка – Шапиро, проверка гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках проводилась по критериям Кохрена. При подтверждении гипотезы в дальнейшем проводился

однофакторный параметрический дисперсионный анализ. Анормальное распределение было выявлено для Са и Сг, для этих элементов вместо средних арифметических значений были рассчитаны медианы, а также проведен непараметрический дисперсионный анализ по критериям Краскела – Уоллиса. Во всех процедурах статистического анализа критический уровень значимости p принимался равным 0.05.

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным данным в зависимости от региона выращивания существенно не различалось валовое содержание В, Ва, Ве, Сd, Со, Mg, Р, Са и Сг (табл. 1), для остальных элементов разница статистически значима. Общая зольность и количество золы, нерастворимой в 10%-ной HCl, соответствуют требованиям Государственной фармакопеи РФ, предъявляемым к качеству сырья (12% и 6 % соответственно) [21]. Концентрация As и Hg оказалась ниже предела обнаружения.

Растения *L. quinquelobatus*, выращенные в условиях Горного Алтая, содержат наименьшее количество большинства исследованных ХЭ, в том числе тяжелых металлов. Помимо «экологической чистоты» данного региона, существенную роль играет почвенный фактор – почвы опытных участков характеризуются тяжелосуглинистым гранулометрическим составом (около 50% фракции физической глины) и содержат большое количество гумуса (около 8.5%), что приводит к уменьшению подвижности ХЭ в почвах и снижению их доступности растениям [22].

В алтайских образцах наиболее высокие содержания выявлены только для К (одного из жизненно необходимых элементов) и Cu (установленная концентрация входит в оптимальный диапазон [23], поэтому данный элемент стоит также рассматривать как жизненно необходимый). В растениях из Кемерово (региона с наибольшей техногенной нагрузкой) выявлено максимальное содержание Mn и Na, а вовсе не потенциально токсичных элементов. Максимум валового содержания большинства исследованных ХЭ, в том числе и потенциально опасных, характеризует не растения из Кемерово, а новосибирские образцы – Ga, Fe, Mo, Ni, Pb, Si, Sn, Sr, Ti, V, Y, Yb, Zn, Zr. Это напрямую связано с физико-химическими свойствами почв новосибирского экспериментального участка – они являются легкосуглинистыми и содержат практически в 2 раза меньше гумуса, чем алтайские почвы [22], что способствует увеличению подвижности ХЭ и делает их более доступными для растений.

Кроме того, новосибирские растения являются наиболее «запыленными» – содержание золы, нерастворимой в 10%-ной HCl, в них в 2–4 раза выше, чем в других регионах, что также может являться одной из причин максимального содержания большинства исследованных ХЭ в новосибирских образцах *L. quinquelobatus* и отражает повышенную транспортную нагрузку на эти растения. Их повышенную запыленность подтверждает содержание кремния и хром-никелевое отношение (в 2 раза выше, чем в алтайских образцах).

Табл. 1

Валовое содержание химических элементов в траве *Leonurus quinquelobatus* при выращивании в регионах Западной Сибири (мг/кг)

ХЭ	Кемерово		Новосибирск		Алтай		НСР ₀₅	Аптечное сырье	Кларк ¹	Норм. ²
	<i>M</i> ³	<i>m</i> ⁴	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>		<i>M</i>		
B	29	6	32	3	25	2	10*	34	25	10–100
Ba	163	13	123	18	119	7	59*	95	22	< 1–7
Be	0.035	0.004	0.045	0.006	0.033	0.006	0.022*	0.085	0.10	–
Cd	0.052	0.005	0.044	0.005	0.036	0.003	0.023*	0.32	0.005	0.05–0.2
Co	0.17	0.05	0.18	0.02	0.16	0.03	0.12*	0.41	1.0	0.02–1
Cu	6.3	0.8	11.3	1.0	13.3	1.0	1.8	19.7	10	5–30
Ga	0.13	0.01	0.21	0.01	0.12	0.02	0.04	0.38	0.05	–
Fe	160	8	250	36	110	8	64	570	200	–
K	10370	880	16300	1630	19160	2960	3820	17790	11000	–
Mg	4970	400	4030	430	4650	250	1320*	4190	3200	–
Mn	113	11	94	12	70	4	23	67	240	30–300
Mo	0.27	0.05	0.45	0.05	0.39	0.06	0.09	0.66	0.6	0.5–2
Na	489	35	188	13	69	13	51	369	1200	–
Ni	4.4	0.1	7.4	0.4	5.8	0.2	0.7	4.1	2.0	0.1–5
P	3890	730	4290	520	4120	250	1950*	3990	2000	–
Pb	0.34	0.04	0.61	0.06	0.33	0.04	0.14	1.21	2.5	5–10
Si	1510	120	2430	80	910	60	180	5130	3000	–
Sn	0.26	0.02	0.36	0.03	0.13	0.02	0.16	0.96	0.25	–
Sr	234	42	239	39	95	15	81.8	98	40	–
Ti	14.8	1.3	37.1	5.3	9.0	0.5	12.6	47.4	32	–
V	0.44	0.08	0.88	0.13	0.38	0.07	0.20	1.72	1.5	0.2–1.5
Y	0.22	0.02	0.29	0.02	0.19	0.01	0.04	0.46	0.8	–
Yb	0.028	0.005	0.038	0.004	0.024	0.004	0.006	0.049	0.0015	–
Zn	31.8	2.1	33.7	2.5	22.2	1.5	5.5	17.2	50	27–150
Zr	1.6	0.2	2.3	0.4	1.2	0.2	0.6	4.1	7.5	–
**Ca	15300 (11400–25900)		16100 (11400–32100)		14800 (10700–24800)		–	17400	15000	–
**Cr	0.54 (0.35–2.53)		1.03 (0.64–2.80)		0.48 (0.27–2.47)		–	2.66	1.8	0.1–0.5
Зола, %	8.27	0.14	9.09	0.08	9.10	0.10	0.44	10.6	–	–
Н.о. ⁵ , %	0.28	0.02	0.61	0.02	0.15	0.01	0.08	1.09	–	–

¹ Кларк – кларк в растительности суши (по [26]).

² норм. – диапазон нормальной концентрации ХЭ в листьях растений (по [23]).

³ *M* – среднее арифметическое.

⁴ *m* – ошибка среднего арифметического.

⁵ Н.о. – нерастворимый остаток.

* НСР₀₅ статистически незначима.

** Аномально распределенные элементы: Med (min–max).

Сильное влияние запыленности на элементный химический состав пустырника подтверждают и проведенные нами исследования аптечного сырья *Leonuri herba* – его запыленность значительно сильнее (в разы больше содержание золы, нерастворимой в 10%-ной HCl, кремния, соотношение хром/никель), содержание практически всех исследованных ХЭ также существенно выше. Зависимость общего содержания ХЭ от степени запыленности растений объясняется анатомо-морфологическими особенностями изучаемого вида: растения густо опушены длинными мягкими волосками [24], которые задерживают пылевые частицы.

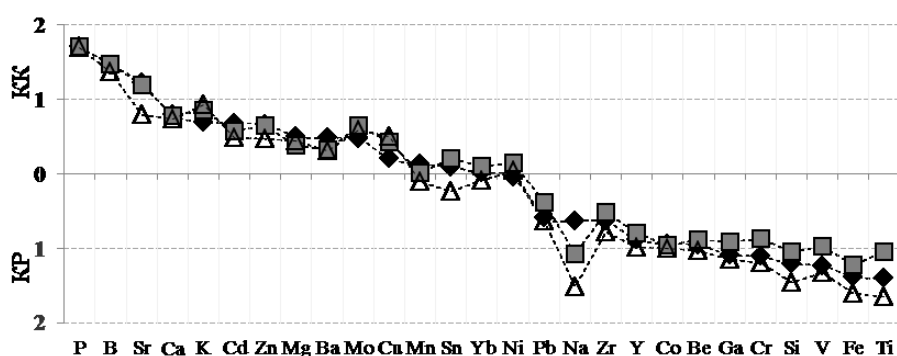


Рис. 1. Биогеохимические спектры распределения химических элементов в траве *Leonurus quinquelobatus* в условиях Западной Сибири по отношению к кларку литосферы (логарифмическая шкала). Обозначения: КК – кларки концентрации, КР – кларки рассеяния; ромб – Кемерово, квадрат – Новосибирск, треугольник – Республика Алтай

Необходимо отметить высокую разницу для соотношения количества К и Са к Na в алтайских растениях (более 270, по сравнению с 21–31 и 86–87 в Кемерово и Новосибирске соответственно), снижение доли валового содержания Са и Mg по отношению к Fe, а также увеличение Fe (в том числе физиологически активного) по сравнению с Mn в условиях Новосибирска.

Различия в накоплении ХЭ растениями *L. quinquelobatus* в разных регионах можно также продемонстрировать, используя кларки концентрации (КК), предложенные В.И. Вернадским. Кларки концентрации представляют собой отношение содержания ХЭ в исследуемом объекте (в данном случае – золе растений) к кларку литосферы (нами использованы значения по А.П. Виноградову). Поскольку концентрация многих исследованных ХЭ в золе растений значительно ниже их кларка в литосфере, для получения целых чисел и большей контрастности показателя обычно пользуются понятием «кларк рассеяния» (КР), а не «кларк концентрации», так как ХЭ в изучаемом объекте рассеивается, а не накапливается. Кларк рассеяния – это величина, обратная кларку концентрации, представляющая собой отношение кларка элемента в литосфере к его содержанию в исследуемом природном объекте [25]. Биогеохимические спектры распределения наглядно показывают, какие ХЭ концентрируются/рассеиваются в растениях относительно литосферы (рис. 1). Можно отметить также, что в новосибирских пробах ХЭ сконцентрированы в большей степени, чем в алтайских. Кроме того, выявилась разница в поведении Mn, Sn и Yb – данные элементы рассеиваются в растениях Горного Алтая, но накапливаются в других регионах.

Анализ общего содержания макро- и микроэлементов в исследуемых образцах показал, что по большинству ХЭ их количество в изученных растениях относительно близко кларкам в растительности суши (табл. 1) [26], несколько ниже содержание Co, Na и Pb, но намного выше – Ba, Sr, Cd и Yb. Высокое содержание в растениях региона Ba и Sr мы уже отмечали ранее для других видов растений, вероятно, это может быть связано с почвенно-геохимической обстановкой и природно-климатическими условиями. Показателей содержания в растительных объектах Cd и Yb, соответствующих указанным кларкам, в целом не встречается в мировой литературе.

В диапазоны оптимального содержания [23] также укладывается большинство ХЭ, однако содержание Pb значительно ниже, а Ва значительно выше, как уже было отмечено при сравнении с кларками.

Оценка *L. quinquelobatus* как потенциально ресурсного для Западной Сибири лекарственного растения свидетельствует об отсутствии превышений допустимых значений содержания нормируемых ХЭ для растительного лекарственного сырья по Государственной фармакопее РФ 2015 г. [15] и БАД на растительной основе по СанПиН 2.3.2.1078-01 [27].

Литературных сведений о содержании ХЭ в растениях пустырника пятилопастного крайне мало. Полученные нами данные в целом совпадают с результатами ученых Центрального ботанического сада НАН Беларуси: доминирующее положение в спектре макроэлементов принадлежит К, затем Са, Р и Mg, среди микроэлементов лидирует Fe, а за ним в порядке снижения долевого участия – Mn, Zn, В, Cu, Со [28, 29]. В условиях Ставрополя были отмечены более высокие, чем на юге Западной Сибири, концентрации (среднее значение; пределы варьирования) Pb (3.6, 3.2–4.0), Mn (279, 212–318) и Cd (3.2, 1.1–5.4), а содержание Са (23110, 19700–25080), Cu (11.3, 10.3–17.0) и Zn (32.3, 21.9–44.5) практически не различалось [30]. Образцы из Донецкого ботанического сада по количеству Zn почти в два раза превосходили изученные нами – 82 мг/кг [31]. Растения родственного вида – *L. cardiaca* – содержат следующие количества макроэлементов (мг/г): К – 38, Са – 18, Mg – 4.2 и Fe – 0.3 [32]. Валовое содержание тяжелых металлов в надземной массе *Leonurus cardiaca* Брянской области совпадает с диапазоном полученных нами значений только для Sr и Mn, при этом количество Zn и Ni в брянских растениях оказалось выше в два раза, Cu – в три, а Pb, Со, Fe и Cr – в 10 и более раз [33].

Поверхностное загрязнение растений нерастворимыми минеральными частицами может привести к искажению получаемых аналитических данных, в частности существенно увеличить результаты при определении валового содержания некоторых ХЭ. Чтобы по возможности оценить влияние запыленности сырья на получаемые результаты, для ряда ХЭ было проведено определение их содержания в экстракте 10%-ной HCl (табл. 2), а также рассчитана степень извлечения (рис. 2).

Полученные данные полностью подтверждают высказанное нами предположение о том, что более высокое содержание ряда ХЭ в новосибирских и аптечных растениях может быть вызвано их повышенной запыленностью. Самая низкая степень извлечения ХЭ из данных образцов показывает, что часть элементов содержится не в растительных тканях, а в мелкодисперсных почвенных частицах, осевших на их поверхности.

Учитывая, что спиртовые и водные экстракты растений, применяемые в медицине, зачастую характеризуются еще более низкой степенью извлечения ХЭ [34–36], использование такого сырья в лекарственных целях вполне безопасно. В литературе отмечается, что некоторые виды растений, в том числе пустырник, даже при выращивании на заведомо загрязненных тяжелыми металлами почвах не накапливают физиологически активных форм этих элементов, что дает возможность получать продукцию, соответствующую требованиям безопасности [37].

Табл. 2

Содержание извлекаемых форм некоторых ХЭ в траве *Leonurus quinquelobatus* при выращивании в Западной Сибири (мг/кг)

ХЭ	Кемерово		Новосибирск		Алтай		НСП ₀₅	Аптечное сырье
	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>m</i>		<i>M</i>
Cd	0.047	0.005	0.017	0.002	0.028	0.004	0.027	0.051
Co	0.15	0.02	0.10	0.01	0.15	0.02	0.04	0.50
Pb	0.30	0.07	0.31	0.05	0.20	0.04	0.09	0.17
Ni	4.0	0.3	5.6	0.6	5.1	0.5	1.3	1.8
Cu	5.6	0.3	8.6	0.5	11.9	0.7	3.0	2.1
Zn	25	4	24	2	19	2	2	3
Sr	36	4	24	3	11	2	4	5
Mn	97	9	75	4	58	3	12	11
Fe	121	13	175	12	86	6	74	45
Na	252	30	57	5	19	2	66	71
Mg	3200	150	2200	120	3600	240	700	1050
K	9800	370	15900	830	18200	720	1260	14100
Ca	14200	320	10800	460	12000	230	3050	1470

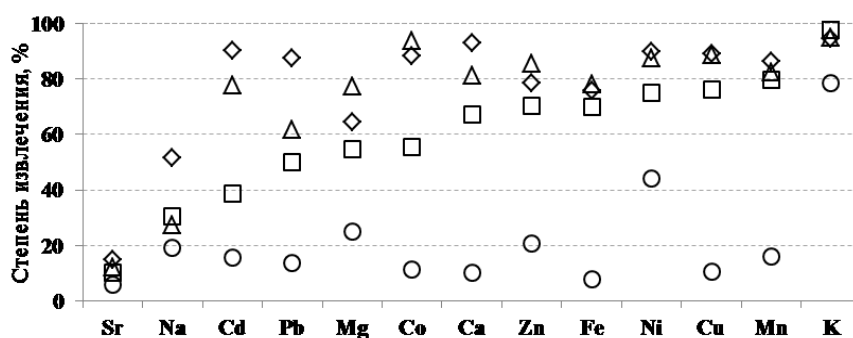


Рис. 2. Степень извлечения химических элементов из растений *Leonurus quinquelobatus* в регионах Западной Сибири. Обозначения: ромб – Кемерово, квадрат – Новосибирск, треугольник – Республика Алтай, круг – аптечный препарат (*Herba Leonuri*)

Данные о содержании ХЭ в растениях сами по себе не дают возможности оценить интенсивность их поглощения из почвы. Б.Б. Полюнов предложил оценивать отношение количества ХЭ в золе растений к общему их количеству в почве, А.И. Перельман назвал данный показатель коэффициентом биологического поглощения A_x (в литературе часто обозначают КБН, или Кб). А.И. Перельман и Н.С. Касимов указывают, что значение A_x для ХЭ не является постоянной величиной, причем для изменчивости макроэлементов ведущее значение имеет генетический фактор, у микроэлементов же сильнее проявляется ландшафтно-геохимический (экологический) фактор (особенно в рудных и техногенных районах) [25]. По интенсивности биологического поглощения традиционно выделяют ХЭ «биологического накопления» ($A_x > 1$) и «биологического захвата» ($A_x < 1$), подразделяя их на четыре группы (иногда выделяют пятую), однако ХЭ с A_x около 1 могут переходить из группы в группу.

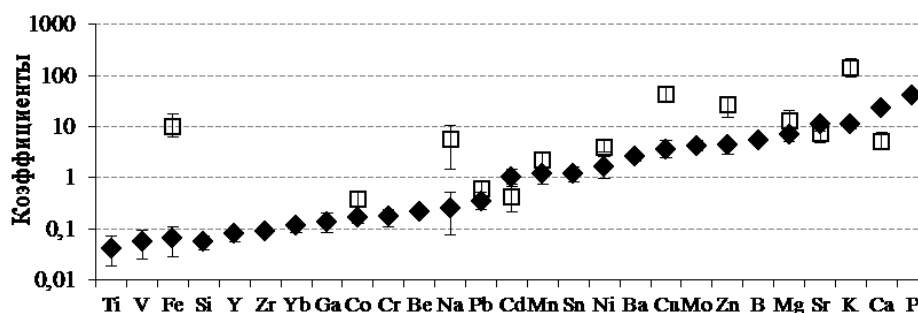


Рис. 3. Коэффициенты биологического поглощения и биогеохимической подвижности химических элементов в траве *Leonurus quinquelobatus* в условиях Западной Сибири (средние значения). Обозначения: черный маркер – коэффициент биологического поглощения; белый маркер – коэффициент биогеохимической подвижности; погрешности – размах (минимум-максимум)

Значения коэффициентов A_x , рассчитанные для *L. quinquelobatus*, в основном укладываются в общую градацию, хотя интенсивность накопления некоторых ХЭ несколько ниже – Zn и B смещаются в группу элементов среднего накопления и сильного захвата, а Cr, Pb и Co – в группу среднего, слабого и очень слабого захвата. Кроме того, для некоторых ХЭ наблюдается значительная вариабельность (рис. 3).

Коэффициент биологического поглощения отражает потенциальную биогеохимическую подвижность ХЭ, поэтому Н.С. Касимовым был предложен коэффициент биогеохимической подвижности B_x , рассчитываемый как отношение содержания ХЭ в сухом веществе растений к его подвижным, доступным для растений воднорастворимым, солевым, органоминеральным формам ХЭ, извлекаемым из почв слабыми растворителями [25]. Он характеризует доступность ХЭ растениям и степень использования ими подвижных форм ХЭ, содержащихся в почве.

Известно, что значения B_x у большинства ХЭ обычно значительно выше, чем A_x , однако в данном случае для Ca, Sr и Cd – элементов, характеризующихся наибольшей подвижностью в почвах, – коэффициент B_x оказался ниже (рис. 3). Подобное явление уже отмечалось нами ранее [38]. К сожалению, у коэффициента B_x есть серьезный недостаток – из-за отсутствия четких методических указаний разные авторы используют в своих исследованиях различные экстрагенты, что очень затрудняет либо делает невозможным сопоставление полученных результатов. В работе М.Я. Ловковой с соавторами [32] для *L. quinquelobatus* приводятся следующие значения коэффициентов биологического накопления (КБН, он же B_x): Mn – 0.24, Cu – 0.56, Zn – 0.38, Mo – 4.8, Cr – 0.06, Ba – 0.07, V – 0.21, Se – 7.7, Ni – 21.6, Sr – 0.68, Pb – 0.08. Однако сравнение с полученными нами коэффициентами B_x будет некорректно, так как в качестве экстрагента для извлечения подвижной формы ХЭ из почвы нами использовался ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4.8 (РД 52.18.289-90), а в вышеуказанной работе – 1 н. раствор HCl. Хотелось бы обратить на это особое внимание, поскольку исследователи часто игнорируют данный факт, причем иногда КБН, указанные в [32], превращаются в содержание ХЭ, выраженное в мкг/г.

Коэффициент биологического поглощения используется также для характеристики биогеохимической активности вида (БХА). Данный показатель, предложенный А.Д. Айвазян [39], определяется как отношение суммарной величины A_x , к числу суммируемых ХЭ (n), вычисляемой отдельно для катионогенных и анионогенных элементов. Виды растений, сформировавшиеся в гумидных ландшафтах, где преобладают кислые почвы, энергично накапливают катионогенные элементы (Pb, Cu, Zn и др.), их называют гумидокатными. В нейтральных и щелочных почвах аридных ландшафтах легче мигрируют и активнее накапливаются в растениях анионогенные элементы (Mo, V, Sr и др.), произрастающие там виды являются ариданидными. Однако, закрепляясь наследственностью, гумидокатность может проявиться и в аридных ландшафтах (при миграции гумидокатных видов), и наоборот [25].

Проведенные расчеты показали, что исследованный вид *L. quinquelobatus* относится к гумидокатным – $K_{БХА}$ составляет 3.1–3.9 (минимальные значения этого показателя выявлены в Горно-Алтайском ботаническом саду), $A_{БХА}$ – 1.5–1.6 (практически стабильно).

Выводы

Исследованные нами растения *L. quinquelobatus* соответствуют требованиям Государственной фармакопеи РФ по содержанию золы, нерастворимой в 10%-ной HCl, и общей зольности, а также к количеству нормируемых химических элементов, предъявляемых к растительному лекарственному сырью и БАД на растительной основе. Валовое содержание большинства макро- и микроэлементов в западносибирских растениях *L. quinquelobatus* достаточно близко кларкам в растительности суши и диапазону оптимального содержания в листьях растений. Высокое содержание в растениях региона Ba и Sr уже отмечалось нами ранее, в том числе и для других видов растений, и связано как с почвенно-геохимической обстановкой, так и с природно-климатическими условиями. Не выявлено статистически значимых региональных отличий в валовом содержании B, Ba, Be, Cd, Co, Mg, P, Ca и Sr. В алтайских образцах наиболее высокие содержания установлены для K и Cu, в кемеровских – для Mn и Na, в новосибирских – для Ga, Fe, Mo, Ni, Pb, Si, Sn, Sr, Ti, V, Y, Yb, Zn, Zr. Повышенная концентрация ХЭ в новосибирских растениях объясняется физико-химическими свойствами почв опытного участка (в частности, легким гранулометрическим составом и относительно низким содержанием гумуса), а также результатом более высокой транспортной нагрузки на данный экспериментальный участок, приводящей к увеличению запыленности растений, что отражается в существенном снижении степени извлекаемости ХЭ. Повышения содержания потенциально опасных химических элементов в растениях *L. quinquelobatus* в условиях промышленно развитого региона не наблюдается. По накоплению катионогенных и анионогенных ХЭ *L. quinquelobatus* относится к гумидокатному типу растений. Для коэффициентов биологического поглощения и биогеохимической подвижности наблюдается определенная варибельность, интенсивность накопления некоторых элементов (Sr, Pb, Co Zn и B) в условиях Западной Сибири оказалась несколько ниже среднестатистических, а для ХЭ,

характеризующихся наибольшей подвижностью в почвах (Ca, Sr и Cd), коэффициент V_x оказался ниже, чем A_x .

Благодарности. Авторы выражают признательность доктору биологических наук А.И. Сысо и кандидату биологических наук И.И. Баяндиной за научные консультации, а также сотрудникам Новосибирского государственного аграрного университета (г. Новосибирск) и Горно-Алтайского ботанического сада (с. Камлак) за участие в выращивании и сборе материала для исследования.

Литература

1. Уфимцева М.Д. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биогеохимических провинциях // Геохимия. – 2015. – № 5. – С. 450–465. – doi: 10.1134/S001670291503012X.
2. Петрищева Т.Ю., Янович А.И. Вопросы реинтродукции и культуры выращивания лекарственных растений в условиях Центрального Черноземья // В мире науч. открытий. – 2016. – Т. 21, Вып. 9. – С. 105–112. – doi: 10.12731/wsd-2016-9-105-112.
3. Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Impact of geochemical barriers on the accumulation of heavy metals in urban soils // Dokl. Earth Sci. – 2014. – V. 458, No 1. – P. 1149–1153. – doi: 10.1134/S1028334X14090165.
4. Asagba E.U., Okieimen F.E., Osokpor J. Screening and speciation of heavy metal contaminated soil from an automobile spare-parts market // Chem. Speciation Bioavailability. – 2007. – V. 19, No 1. – P. 9–15. – doi: 10.3184/095422907X198022.
5. Вишнева Ю.С., Попова Л.Ф. Влияние автотранспорта на загрязнение почвенного покрова г. Архангельска тяжелыми металлами // Вестн. Северного (Арктического) фед. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – № 2. – С. 32–41. – doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.2.32.
6. Galiulin R.V., Galiulina R.A. Heavy metal pollution in the territory of Chelyabinsk upon coal combustion // Solid Fuel Chem. – 2013. – V. 47, No 2. – P. 129–131. – doi: 10.3103/S0361521913020043.
7. Тарасова Н.П., Осипов К.Ю., Осипова Н.А., Язиков Е.Г. Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных предприятий и их влияние на здоровье населения // Безопасность в техносфере. – 2015. – Т. 4, № 2. – С. 16–26. – doi: 10.12737/11329.
8. Wojtyniak K., Szymański M., Matławska I. *Leonurus cardiaca* L. (Motherwort): A review of its phytochemistry and pharmacology // Phytother. Res. – 2012. – V. 27, No 8. – P. 1115–1120. – doi: 10.1002/ptr.4850.
9. Ritter M., Melichar K., Strahler S., Kuchta K., Schulte J., Sartiani L., Cerbai E., Mugelli A., Mohr F.-W., Rauwald H.W., Dhein S. Cardiac and electrophysiological effects of primary and refined extracts from *Leonurus cardiaca* L. (Ph.Eur.) // Planta Med. – 2010. – V. 76, No 6. – P. 572–582. – doi: 10.1055/s-0029-1240602.
10. Rastogi S., Pandey M.M., Rawat A.K.S. Traditional herbs: A remedy for cardiovascular disorders // Phytomedicine. – 2016. – V. 23, No 11. – P. 1082–1089. – doi: 10.1016/j.phymed.2015.10.012.
11. Zhao J., Lv G.P., Chen Y.W., Li S.P. Advanced development in analysis of phytochemicals from medicine and food dual purposes plants used in China // J. Chromatogr. A. – 2011. – V. 1218, No 42. – P. 7453–7475. – doi: 10.1016/j.chroma.2011.06.041.
12. Schmidt S., Jakab M., Jav S., Streif D., Pitschmann A., Zehl M., Purevsuren S., Glasl S., Ritter M. Extracts from *Leonurus sibiricus* L. increase insulin secretion and proliferation

- of rat INS-1E insulinoma cells // J. Ethnopharmacol. – 2013. – V. 150, No 1. – P. 85–94. – doi: 10.1016/j.jep.2013.08.013.
13. Ahmed F., Islam M.A., Rahman M.M. Antibacterial activity of *Leonurus sibiricus* aerial parts // Fitoterapia. – 2006. – V. 77, No 4. – P. 316–317. – doi: 10.1016/j.fitote.2006.03.005.
 14. Государственная фармакопея СССР: Вып. 2. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
 15. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII издания. Т. 2. – М., 2015. – 1004 с.
 16. Rącz G., Rącz-Kotilla E. Sedative and Antihypertensive Activity of *Leonurus quinquelobatus* // Planta Med. – 1989. – V. 55, No 1. – P. 97. – doi: 10.1055/s-2006-961851.
 17. Marciniuk P., Gawrońska B., Marciniuk J., Joachimiak A.J. Taxonomic individuality of *Leonurus cardiaca* and *Leonurus quinquelobatus* in view of morphological and molecular studies // Plant Syst. Evol. – 2014. – V. 300, No 2. – P. 255–261. – doi: 10.1007/s00606-013-0878-7.
 18. Загурская Ю.В., Баяндина И.И., Сиromля Т.И., Сысо А.И., Дымина Е.В., Вронская О.О., Казанцева Л.М. Качество сырья лекарственных растений при выращивании в антропогенно нарушенных регионах Западной Сибири на примере *Hypericum perforatum* L. и *Leonurus quinquelobatus* Gilib // Химия растительного сырья. – 2013. – № 4. – С. 141–150. – doi: 10.14258/jcrpm.1304141.
 19. ГОСТ Р 51766-2001. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка. – М., 2011. – 10 с.
 20. ГОСТ Р 53183-2008. Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии холодного пара с предварительной минерализацией пробы под давлением. – М., 2009. – 8 с.
 21. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII издания. Т. 3. – М., 2015. – 1294 с.
 22. Сиromля Т.И., Сысо А.И., Загурская Ю.В., Баяндина И.И. Эколого-агрохимическая оценка состава и свойств почв ботанических садов юго-востока Западной Сибири // Агрохимия. – 2017. – № 10. – С. 16–23.
 23. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. – Boca Raton, FL: Crc Press., 2010. – 548 p. – doi: 10.1201/b10158-6.
 24. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России: в 3 т. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – Т. 3: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). – 665 с.
 25. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель-2000, 1999. – 610 с.
 26. Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. – 1988. – № 2. – С. 292–306.
 27. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М., 2001. – 144 с.
 28. Рупасава Ж.А., Русаленка В.Г., Игнаценка В.А., Рудакоуская Р.М., Афанаскина И.П. Асаблівасці мінеральнага абмену лекавых культур ваумовах Беларусі // Весці Акад. навук Беларусі. Сер. біялагічных. навук. – 1994. – № 2. – С. 3–9.
 29. Тарасенко С.А., Брилева С.В., Белоус О.А. Физиолого-биохимические основы высокой продуктивности лекарственных растений в агроценозах. – Гродно: ГГАУ, 2008. – 191 с.
 30. Самсонова О.Е., Маликова И.В., Федотова Н.Н., Надеин О.Н., Судакова Н.В. Фронтальный элементный анализ как критерий качества растительного сырья // Вестн. Северо-Кавказ. фед. ун-та. – 2015. – Т. 48, № 3. – С. 35–37.

31. *Останко И.Н.* Сравнительный анализ содержания элементов полезных растений из коллекций Донецкого ботанического сада НАН Украины // Промышл. ботаника. – 2003. – № 3. – С. 87–90.
32. *Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.Н.* Почему растения лечат. – М.: Наука, 1990. – С. 142–143.
33. *Шатурко В.Н.* Ресурсы и экологическое качество лекарственных растений (на примере Брянской области): Автореф. ... канд. биол. наук. – Брянск, 2014. – 24 с.
34. *Konieczynski P., Wesolowski M., Radecka I., Rafalski P.* Bioavailable inorganic forms of essential elements in medicinal plants from Northern Poland // Chem. Speciation Bioavailability. – 2011. – V. 23, No 2. – P. 61–70. – doi: 10.3184/095422911X13026925862779.
35. *Гравель И.В., Шойхет Я.Н., Яковлев Г.П., Самылина И.А.* Фармакогнозия. Экотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 304 с.
36. *Zhou Y., Gao X., Wu Ch., Wu Y.* Bioaccessibility and safety assessment of trace elements from decoction of “Zhebawei” herbal medicines by in vitro digestion method // J. Trace Elem. Med. Biol. – 2014. – V. 28, No 2. – P. 173–178. – doi: 10.1016/j.jtemb.2013.12.007.
37. *Zheljazkov V.D., Jeliakova E.A., Kovacheva N., Dzhurmanski A.* Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter // Envir. Experim. Bot. – 2008. – V. 64, No 3. – P. 207–216. – doi: 10.1016/j.envexpbot.2008.07.003.
38. *Сысо А.И., Сиромля Т.И., Мяделец М.А., Черевко А.С.* Эколого-биогеохимическая оценка элементного и биохимического состава растительности антропогенно нарушенных экосистем (на примере *Achillea millefolium* L.) // Сиб. экол. журн. – 2016. – № 5. – С. 782–792.
39. *Айвазян А.Д.* Геохимическая специализация флоры Алтая: Автореф. ... дис. канд. геогр. наук. – М., 1974. – 21 с.

Поступила в редакцию
06.09.17

Загурская Юлия Васильевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга Института экологии человека

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
пр. Ленинградский, д. 10, г. Кемерово, 650065, Россия
E-mail: syjil@mail.ru

Сиромля Татьяна Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
пр. академика Лаврентьева, д. 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: tatiana@issa.nsc.ru

Chemical Composition of *Leonurus quinquelobatus* in Western SiberiaY.V. Zagurskaya^{a*}, T.I. Siromlya^{b**}^aFederal Research Center on Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Kemerovo, 650065 Russia^bInstitute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, 630090 Russia

E-mail: *syjil@mail.ru, **tatiana@issa.nsc.ru

Received September 6, 2017

Abstract

The chemical composition of plants should be studied in order to understand the role of environmental factors in accumulation of various chemical elements by them, as well as to make a better sense of the specifics of potential resource plants. The safety of the content and accumulation of chemical elements in the phytomass of *Leonurus quinquelobatus* Gilib. under different environmental conditions in the south of Western Siberia has been assessed. The concentrations of chemical elements have been studied using the ashes of plants grown from genetically homogeneous seeds in the following three regions of the south of Western Siberia: Kemerovo, Novosibirsk, and the Altai Republic (Kamlak). The content of chemical elements in the ash of *L. quinquelobatus* has been determined by the atomic-emission method using a double-jet argon arc plasmatron and a multichannel analyzer of emission spectra. The content of chemical elements in the extracts has been determined by the atomic absorption method. The concentrations of As and Hg have been found according to the State Standard R 51766-2001 and R 53183-2008, respectively. Statistically significant ($p \leq 0.05$) differences in the content of chemical elements contained by the *L. quinquelobatus* phytomass from different geographical locations in Western Siberia have been revealed for Cu, Ga, Fe, K, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Si, Sn, Sr, Ti, V, Y, Yb, Zn, and Zr. It has been shown that the concentrations of As and Hg are below the detection limit. The phytomass of the samples from the Altai Republic has the highest K and Cu content. The contents of Mn and Na are highest in the samples from the Kemerovo region with other chemical elements showing highest levels in plants from the Novosibirsk region. The revealed content of the available forms of chemical elements in plants suggests that the high total concentration of some chemical elements in plants sampled from the Novosibirsk region is most likely due to dust accumulation, because some chemical elements have been shown to be contained in solid soil particles on the plant surface, rather than inside the plant phytomass. The coefficients of biological uptake and biogeochemical mobility vary to a significant degree. The overall total and insoluble (in 10% HCl) ash content and the content of chemical elements in the *L. quinquelobatus* plants have been found to comply with the regulation requirements for medicinal plants. The accumulation of cation-forming elements prevails in plants of this species. The accumulation of Cr, Pb, Co, Zn, and B in the *L. quinquelobatus* phytomass has been found to be below average values.

Keywords: *Leonurus quinquelobatus* Gilib., potentially toxic elements, heavy metals, raw material for herbal medicines, environmental assessment

Acknowledgments. We are grateful to A.I. Syso, Doctor of Biology, and I.I. Bayandina, PhD in Biology, for their scientific advice, as well as to the staff of Novosibirsk State Agricultural University (Novosibirsk) and Gorno-Altai Botanical Garden (Kamlak) for participating in growing and sampling of the materials used for this research.

Figure Captions

Fig. 1. The biogeochemical spectra of chemical elements in *Leonurus quinquelobatus* under the conditions of Western Siberia in relation to the clark values (percentage abundance) in the lithosphere

(logarithmic scale). Key: CC – concentration clark values, DC – dispersion clark values; rhombus – Kemerovo, square – Novosibirsk, triangle – Altai Republic.

Fig. 2. The degree of extraction of chemical elements from *Leonurus quinquelobatus* plants in the regions of Western Siberia. Key: rhombus – Kemerovo, square – Novosibirsk, triangle – Altai Republic, circle – pharmacy (*Herba Leonuri*).

Fig. 3. The coefficients of biological uptake and biogeochemical mobility of chemical elements in *Leonurus quinquelobatus* under the conditions of Western Siberia (average values). Key: black marker – coefficient of biological uptake; white marker – coefficient of biogeochemical mobility; errors – step value (minimum–maximum).

References

1. Ufimtseva M.D. The patterns in accumulation of chemical elements by higher plants and their responses in biogeochemical provinces. *Geochem. Int.*, 2015, vol. 53, no. 5, pp. 441–455. doi: 10.1134/S001670291503012X.
2. Petrishcheva T.Yu., Yanovich A.I. Questions of reintroduction and culture of cultivation of herbs in the conditions of the Central Chernozem region. *V Mire Nauch. Otkrytii*, 2016, vol. 21, no. 9, pp. 105–112. doi: 10.12731/wsd-2016-9-105-112. (In Russian)
3. Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Impact of geochemical barriers on the accumulation of heavy metals in urban soils. *Dokl. Earth Sci.*, 2014, vol. 458, no. 1, pp. 1149–1153. doi: 10.1134/S1028334X14090165.
4. Asagba E.U., Okieimen F.E., Osokpor J. Screening and speciation of heavy metal contaminated soil from an automobile spare-parts market. *Chem. Speciation Bioavailability*, 2007, vol. 19, no. 1, pp. 9–15. doi: 10.3184/095422907X198022.
5. Vishnevaya Yu.S., Popova L.F. Motor transport impact on the soil cover contamination with heavy metals in the city of Arkhangelsk. *Vestn. Sev. (Arkt.) Fed. Univ. Ser. Estestv. Nauki*, 2016, no. 2, pp. 34–41. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.2.32. (In Russian)
6. Galiulin R.V., Galiulina R.A. Heavy metal pollution in the territory of Chelyabinsk upon coal combustion. *Solid Fuel Chem.*, 2013, vol. 47, no. 2, pp. 129–131. doi: 10.3103/S0361521913020043.
7. Tarasova N.P., Osipov K.Yu., Osipova N.A., Yazikov E.G. Heavy metals in soils affected by coal enterprises and their impact on human health. *Bezop. Tekhnos.*, 2015, vol. 4, no. 2, pp. 16–26. doi: 10.12737/11329. (In Russian)
8. Wojtyniak K., Szymański M., Matławska I. *Leonurus cardiaca* L. (Motherwort): A review of its phytochemistry and pharmacology. *Phytother. Res.*, 2012, vol. 27, no. 8, pp. 1115–1120. doi: 10.1002/ptr.4850.
9. Ritter M., Melichar K., Strahler S., Kuchta K., Schulte J., Sartiani L., Cerbai E., Mugelli A., Mohr F.-W., Rauwald H.W., Dhein S. Cardiac and electrophysiological effects of primary and refined extracts from *Leonurus cardiaca* L. (Ph.Eur.). *Planta Med.*, 2010, vol. 76, no. 6, pp. 572–582. doi: 10.1055/s-0029-1240602.
10. Rastogi S., Pandey M.M., Rawat A.K.S. Traditional herbs: A remedy for cardiovascular disorders. *Phytomedicine*, 2016, vol. 23, no. 11, pp. 1082–1089. doi: 10.1016/j.phymed.2015.10.012.
11. Zhao J., Lv G.P., Chen Y.W., Li S.P. Advanced development in analysis of phytochemicals from medicine and food dual purposes plants used in China. *J. Chromatogr. A*, 2011, vol. 1218, no. 42, pp. 7453–7475. doi: 10.1016/j.chroma.2011.06.041.
12. Schmidt S., Jakab M., Jav S., Streif D., Pitschmann A., Zehl M., Purevsuren S., Glasl S., Ritter M. Extracts from *Leonurus sibiricus* L. increase insulin secretion and proliferation of rat INS-1E insulinoma cells. *J. Ethnopharmacol.*, 2013, vol. 150, no. 1, pp. 85–94. doi: 10.1016/j.jep.2013.08.013.
13. Ahmed F., Islam M. A., Rahman M.M. Antibacterial activity of *Leonurus sibiricus* aerial parts. *Fitoterapia*, 2006, vol. 77, no. 4, pp. 316–317. doi: 10.1016/j.fitote.2006.03.005.
14. *Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR* [State Pharmacopeia of the USSR]. Iss. 2. Moscow, Meditsina, 1990. 400 p. (In Russian)
15. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii XIII izdaniya* [State Pharmacopeia of the Russian Federation. Ed. XIII]. Vol. 2. Moscow, 2015. 1004 p. (In Russian)

16. Rácz G., Rácz-Kotilla E. Sedative and antihypertensive activity of *Leonurus quinquelobatus*. *Planta Med.*, 1989, vol. 55, no. 1, p. 97. doi: 10.1055/s-2006-961851.
17. Marciniuk P., Gawrońska B., Marciniuk J., Joachimiak A.J. Taxonomic individuality of *Leonurus cardiaca* and *Leonurus quinquelobatus* in view of morphological and molecular studies. *Plant Syst. Evol.*, 2014, vol. 300, no. 2, pp. 255–261. doi: 10.1007/s00606-013-0878-7.
18. Zagurskaya Y.V., Bayandina I.I., Siromlya T.I., Syso A.I., Dymina E.V., Vronskaya O.O., Kazantseva L.M. Quality of raw medicinal plants (*Hypericum perforatum* L. and *Leonurus quinquelobatus* Gilib.) cultivated in the anthropogenic disturbed areas of the Siberian cities. *Khim. Rastit. Syr'ya*, 2013, no. 4, pp. 141–150. doi: 10.14258/jcprm.1304141. (In Russian)
19. State Standard R 51766-2001. Raw material and food-stuffs. Atomic absorption method for determination of arsenic. Moscow, 2011. 10 p. (In Russian)
20. State Standard R 53183-2008. Foodstuffs. Determination of trace elements. Determination of mercury by cold-vapour atomic absorption spectrometry (CVAAS) after pressure digestion. Moscow, 2009. 8 p. (In Russian)
21. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii XIII izdaniya* [State Pharmacopoeia of the RF. XIII Ed.]. Vol. 3. Moscow, 2015. 1294 p. (In Russian)
22. Siromlya T.I., Syso A.I., Zagurskaya Y.V., Bayandina I.I. Ecological and agrochemical evaluation of the soil composition and properties in the south-east of West-Siberian botanical gardens. *Agrokimiya*, 2017, no. 10, pp. 16–23. (In Russian)
23. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton, FL, Crc Press, 2010, 548 p. doi: 10.1201/b10158-6.
24. Gubanov I.A., Kiseleva K.V., Novikov V.S., Tikhomirov V.N. *Illyustrirovannyi opredelitel' rastenii Srednei Rossii* [Illustrated Key to Plants of Central Russia]. Vol. 3: Angiosperms (Dicotyledons: Choripetalae). Moscow, T-vo. Nauch. Izd. KMK, 2004. 665 p. (In Russian)
25. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape Geochemistry]. Moscow, Astreya-2000, 1999. 610 p. (In Russian)
26. Romankevich E.A. Living matter of the Earth (biogeochemical aspects of the problem). *Geokhimiya*, 1988, no. 2, pp. 292–306. (In Russian)
27. Sanitary Rules and Regulations 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements of safety and nutrition value of foodstuff. Moscow, 2001. 144 p. (In Russian)
28. Rupasava Zh.A., Rusalenka V.G., Ignacenko V.A., Rudakouskaja R.M., Afanaskina I.P. Features of mineral metabolism of medicinal crops in Belarus. *Vesti Akad. Navuk Belarusi. Ser. Bijal. Navuk*, 1994, no 2, pp. 3–9. (In Belarusian)
29. Tarasenko S.A., Brileva S.V., Belous O.A. *Fiziologo-biokhicheskie osnovy vysokoi produktivnosti lekarstvennykh rastenii v agrotsenozakh* [Physiological and Biochemical Basis of High Productivity of Medicinal Plants in Agroecosystems]. Grodno, GGAU, 2008. 191 p. (In Russian)
30. Samsonova O.E., Malikova I.V., Fedotova N.N., Nadein O.N., Sudakova N.V. Frontal elemental analysis as a quality criterion for plant raw materials. *Vestn. Sev.-Kavk. Fed. Univ.*, 2015, vol. 48, no. 3, pp. 35–37 (In Russian)
31. Ostapko I.N. The comparative analysis of the contents of elements of useful plants from collections of Donetsk Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Prom. Bot.*, 2003, no. 3, pp. 87–90. (In Russian)
32. Lovkova M.Ya., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.N. *Pochemu rasteniya lechat* [Why Do Plants Heal]. Moscow, Nauka, 1990, pp. 142–143. (In Russian)
33. Shapurko V.N. Resources and ecological quality of medicinal plants (based on the Bryansk region). *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Bryansk, 2014. 24 p. (In Russian)
34. Konieczynski P., Wesolowski M., Radecka I., Rafalski P. Bioavailable inorganic forms of essential elements in medicinal plants from Northern Poland. *Chem. Speciation Bioavailability*, 2011, vol. 23, no. 2, pp. 61–70. doi: 10.3184/095422911X13026925862779.
35. Gravel' I.V., Shoikhet Ja.N., Jakovlev G.P., Samylina I.A. *Farmakognoziya. Ekotoksikanty v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i fitopreparatakh* [Pharmacognosy. Ecotoxicants in Herbal Raw Materials and Herbal Remedies]. Moscow, GEOTAR-Media, 2013. 304 p. (In Russian)

36. Zhou Y., Gao X., Wu Ch., Wu Y. Bioaccessibility and safety assessment of trace elements from decoction of “Zhebawei” herbal medicines by in vitro digestion method. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 2014, vol. 28, no. 2, pp. 173–178. doi: 10.1016/j.jtemb.2013.12.007.
37. Zheljazkov V.D., Jeliaskova E.A., Kovacheva N., Dzhurmanski A. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter. *Envir. Experim. Bot.*, 2008, vol. 64, no. 3, pp. 207–216. doi: 10.1016/j.envexpbot.2008.07.003.
38. Syso A.I., Syromlya T.I., Myadelets M.A., Cherevko A.S. Ecological and biogeochemical assessment of elemental and biochemical composition of the vegetation of anthropogenically disturbed ecosystems (based on the example of *Achillea millefolium* L.). *Contemp. Probl. Ecol.*, 2016, vol. 9, no. 5, pp. 643–651. doi:10.15372/SEJ20160515.
39. Aivazyan A.D. Geochemical specialization of flora in Altai. *Extended Abstract of Cand. Geogr. Sci. Diss.* Moscow, 1974. 21 p. (In Russian)

⟨ **Для цитирования:** Загурская Ю.В., Сиromля Т.И. Оценка элементного химического состава растений *Leonurus quinquelobatus* (на примере Западной Сибири) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 3. – С. 419–435. ⟩

⟨ **For citation:** Zagurskaya Y.V., Siromlya T.I. Chemical composition of *Leonurus quinquelobatus* in Western Siberia. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 3, pp. 419–435. (In Russian) ⟩