

УДК 581.192: 582.684.1 (571.1/5)

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ *HYPERICUM PERFORATUM* – НЕНОРМИРУЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

© Т.И. Сиромля<sup>1</sup>, Ю.В. Загурская<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр. Академика  
Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630090 (Россия)

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН  
(Институт экологии человека), Советский пр., 18, Кемерово, 650099  
(Россия), e-mail: syjil@mail.ru

*Hypericum perforatum* L. – востребованное лекарственное растение, элементный химический состав которого изучен недостаточно, особенно на территории РФ. Цель работы – изучить элементный химический состав *Hypericum perforatum* L. юга Западной Сибири, обобщить литературные данные для различных природно-климатических зон и регионов и установить диапазоны содержания ХЭ, характерных для данного вида. Содержание химических элементов определяли методом АЭС в 100 образцах надземной и 60 образцах подземной части *H. perforatum* из Западной Сибири (Новосибирская обл., Кемеровская обл., Респ. Алтай). Статистически значимые отличия по валовому содержанию ХЭ в различных образцах практически не проявляются. Для надземной части характерно очень высокое содержание К, Са, Р, Si, Mg ( $n \times 10^3$ – $10^4$  мг/кг), высокое – Al, Fe, Na ( $n \times 10^2$  мг/кг), среднее – Mn, Sr, Ba, Zn, В, Ti, Cu ( $n \times 10$  мг/кг), пониженное – Ni, Zr ( $n$  мг/кг), низкое – V, Cr, Mo, Co, Y, Ga ( $n \times 10^{-1}$  мг/кг), очень низкое – Sc, Be, Yb ( $n \times 10^{-2}$  мг/кг). В накоплении Ba и Sr проявились региональные особенности – уровень их содержания в сибирских растениях выше, чем в европейских. Среднемировые диапазоны содержания ХЭ в растениях *H. perforatum* несколько шире региональных, а в отдельных случаях отмечаются экстремально низкие и высокие значения. Исследованные нами растения безбарьерно поглощают Zn, P, B, Mg, Mn и K, но у Ca, Ba, Sr, Mo, Co в различных образцах значение коэффициента корневого барьера составляет как больше, так и меньше единицы.

**Ключевые слова:** зверобой продырявленный, *Hypericum perforatum*, элементный химический состав, макроэлементы, биогенные элементы, эссенциальные элементы, коэффициент корневого барьера.

Работа подготовлена в рамках проектов ГЗ № 0313-2016-0001 (НИОКТР № АААА-А17-117030110078-1) и № 0352-2016-0002 (НИОКТР № АААА-А17-117041410053-1).

### Введение

Одно из наиболее популярных лекарственных растений – *Hypericum perforatum* L. (зверобой продырявленный), многолетнее травянистое растение сем. *Hypericaceae*, распространено во многих странах мира, в том числе в культуре. Препараты зверобоя (трава, настойки, экстракты) выпускаются в виде почти 200 лекарственных средств, реализующихся на современном российском рынке («Государственный реестр лекарственных средств»), а также входят в состав многих комплексных средств. Помимо биологически активных веществ (БАВ), в растениях содержится широкий спектр химических элементов (ХЭ). Однако многие ХЭ в высоких концентрациях могут быть потенциально опасны для здоровья человека. В России в настоящее время нормативными документами регулируется содержание в лекарственном растительном сырье (Государственная Фармакопея XIII изд.) и БАД на растительной основе (СанПиН 2.3.2.1078-01) четырех «токсичных» химических элементов (Cd, Pb, Hg, As), а концентрации остальных ХЭ ни для лекарственного растительного сырья (ЛРС), ни для БАД на растительной основе не регламентированы. В литературе приводятся

Сиромля Татьяна Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,  
e-mail: tatiana@issa.nsc.ru  
Загурская Юлия Васильевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: syjil@mail.ru

сведения об элементном химическом составе *H. perforatum*, но большинство работ принадлежит иностранным авторам [1–21], исследования на территории РФ весьма разрознены и характеризуются

\* Автор, с которым следует вести переписку.

очень узким спектром исследуемых ХЭ [22–26], при этом данные по Сибирскому региону вообще крайне ограничены [24, 27].

В связи с этим возникает необходимость определения элементного химического состава *Hypericum perforatum* L. Западной Сибири, а также обобщения литературных данных по различным природно-климатическим зонам и регионам и выявления диапазонов содержания ХЭ, характерных для данного вида.

### **Экспериментальная часть**

Объектами исследования являлись растения *H. perforatum*, выращенные на юге Западной Сибири (Новосибирская обл., Кемеровская обл. и Респ. Алтай) в культуре на опытных участках Сада мичуринцев Новосибирского ГАУ, Кузбасского ботанического сада ИЭЧ СО РАН и Горно-Алтайского ботанического сада в 2011–2012 гг., а также дикорастущие растения из различных экотопов (в том числе антропогенно преобразованных), собранные в 2013–2015 гг. Материал (подземная часть растений: корневища с корнями и надземная часть: верхняя часть растений без грубых, одревесневших стеблей, используемая в качестве лекарственного сырья) собран во 2–3 декаде июля, даты сбора соответствовали началу стадии массового цветения растений и различались в зависимости от года и региона [27]. Сушку и пробоподготовку образцов проводили общепринятыми стандартными методами в соответствии с требованиями ГОСТов (24027.0-80, 24027.1-80, 24027.2-80) и Государственной Фармакопеи (ОФС.1.5.3.0005.15, ОФС.1.5.3.0007.15, ОФС.1.5.3.0009.15). Изучено 100 образцов надземной и 60 образцов подземной части *H. perforatum*, анализы выполнены в трех аналитических повторностях в аккредитованной испытательной лаборатории ИПА СО РАН.

Элементный химический состав растений определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа (дуговой аргоновый двухструйный плазматрон (Россия), спектрометр PGS-2 (Германия), многоканальный анализатор эмиссионных спектров (Россия)). Данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество.

В качестве стандартов использованы образцы травяной муки злаковой (гранулированной) (ТМЗг-01) ОСО № 10-176-2011, листа березы (ЛБ-1) ГСО 8923-2007 и элодии канадской (ЭК-1) ГСО 8921-2007. Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при помощи пакета программ STATISTICA 6.1. Нормальность распределения исследуемых ХЭ оценивалась по критериям Уилка-Шапиро, проверка гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках проводилась по критериям Кохрена. Статистическую значимость различий оценивали по методу Краскела-Уоллиса, критический уровень значимости  $p$  принимался равным 0,05. Поскольку для большинства исследуемых ХЭ было выявлено аномальное (логарифмическое) распределение данных, для их описания использовали медиану ( $Me$ ) и 95% доверительный интервал (ДИ).

### **Результаты и их обсуждение**

Элементный химический состав *H. perforatum* варьирует в весьма широких пределах, поэтому статистически значимые отличия по валовому содержанию ХЭ между культивируемыми и дикорастущими на фоновых и антропогенно преобразованных территориях растениями практически не проявляются, в таблице 1 представлены обобщенные данные.

Обращает на себя внимание определенная разница значений кларков многих ХЭ – например, в приведенных в таблице 1 литературных источниках содержания ХЭ отличаются в 3–5 и более раз. Особенно резкие отличия (мг/кг) наблюдаются у Zr – 0.1 по [31] и 3.0–7.5 по другим источникам, Ga – от 0.01 · n до 0.1, Sc – 0.008–0.02, Be – 0.001–0.1, Yb – 0.0015–10 · n. Если сравнивать полученные нами данные с наиболее близкими между собой значениями кларков по [28] и [29], можно сделать вывод о том, что в наземной части *H. perforatum* юга Западной Сибири содержится меньше Be, Ca, Co, Mn, Na, Y, Zr и больше редкоземельных элементов Sc и Yb. Содержание последних двух элементов намного выше кларков и в других травянистых видах растений региона [32]; в литературе также практически не встречается настолько низких значений.

Элементный химический состав подземных органов растений имеет определенные отличия от надземной части (табл. 1), которые четко выявляются при расчете коэффициента корневого барьера (Ккб) – отношение содержания ХЭ в корнях к их концентрации в надземных органах, позволяющего оценить распределение ХЭ в растениях (рис. 1).

Таблица 1. Валовое содержание ХЭ в растениях *H. perforatum* юга Западной Сибири и кларк в наземной растительности

ХЭ	Надземная часть		Подземная часть		Кларки			
	Ме	ДИ	Ме	ДИ	[28]*	[29]	[30]	[31]
% масс.								
K	1.22	0.54–3.68	0.55	0.23–2.71	1.1	1.4	0.3	1.9
Ca	0.69	0.40–1.21	0.44	0.21–1.43	1.5	1.8	0.5	1.0
P	0.32	0.14–0.75	0.07	0.01–0.30	0.2	0.23	0.07	0.2
Si	0.15	0.06–0.36	0.48	0.12–1.98	0.3	0.5	0.15	0.1
Mg	0.20	0.10–0.48	0.09	0.04–0.24	0.32	0.32	0.07	0.2
Al	0.05	0.02–0.13	0.22	0.12–0.55	0.03	0.05	0.02	0.008
Fe	0.02	0.01–0.06	0.08	0.05–0.15	0.02	0.02	0.02	0.015
Na	0.01	0.01–0.06	0.05	0.01–0.56	0.12	0.12	0.02	0.015
мг/кг								
Mn	54	11–150	25	6–110	240	205	10·n	200
Sr	39	22–150	31	15–100	40	35	20	50
Ba	28	8–86	33	6–210	22	22.5	10·n	40
Zn	34	19–79	18	7–83	50	30	20	50
B	31	12–60	7	4–15	25	25	10	40
Ti	22	9–55	75	42–240	32	32.5	n	5
Cu	11	4–33	16	11–30	10	8	2.0	10
Ni	2.5	1.0–5.9	2.7	2.5–3.1	2.0	2.0	0.5	1.5
Zr	1.3	0.6–2.9	3.1	1.0–21.3	7.5	7.5	3.0	0.1
V	0.7	0.3–2.0	4.0	2.0–8.7	1.5	1.5	n	0.5
Cr	0.7	0.2–2.1	1.3	0.6–3.3	1.8	1.8	0.1·n	1.5
Mo	0.4	0.2–1.0	0.3	0.1–1.6	0.6	0.5	0.1·n	0.5
Co	0.3	0.1–0.8	0.6	0.2–1.7	1.0	0.5	0.2	0.2
Y	0.2	0.1–0.4	0.7	0.1–3.8	0.8	0.8	0.3	0.2
Ga	0.12	0.07–0.24	0.44	0.28–0.73	0.05	0.05	0.01·n	0.1
Sc	0.08	0.02–0.24	0.16	0.02–2.10	0.008	–	–	0.02
Yb	0.03	0.01–0.08	0.1	0.07–0.17	0.0015	–	10·n	0.02
Be	0.02	0.02–0.04	0.04	0.02–0.34	0.10	–	0.04	0.001

Примечание. \* Содержание макроэлементов приведено по Х. Боуэну, 1966.

Как видно на рисунке 1, пропускная избирательность корневой системы растений по отношению к отдельным ХЭ резко отличается. Для биофильных элементов, выполняющих в растениях наиболее важные физиологические функции, в целом характерен акропетальный тип накопления и безбарьерное поглощение, что уже наблюдалось нами ранее при исследовании *Plantago major* L., *Achillea millefolium* L. и др., а также многократно отмечалось в литературе. С этим вполне согласуются и полученные нами данные – все исследованные растения *H. perforatum* безбарьерно поглощают Zn, P, B, Mg, Mn и K, хотя у Ca, Ba, Sr, Mo, Co в различных образцах значение Ккб составляет как больше, так и меньше единицы.

Величина Ккб больше единицы указывает на наличие барьера при поступлении ХЭ в надземную часть растений. Не останавливаясь подробно на возможных механизмах данного явления, широко обсуждаемых в литературе, можно лишь отметить, что приводимые исследователями данные зачастую резко отличаются между собой и напрямую зависят от природы ХЭ, видов растений, условий окружающей среды и т.д.

Остальные исследованные нами ХЭ содержатся в надземной части растений в меньшем количестве, чем в корнях, при этом Ккб значительно варьирует, изменяясь в диапазоне от 1 до 10 (Cu, Be, Zr, Ni, Cr, Y, Sc, Ga, Yb) и более (Si, Ti, Fe, Al, V, Na). Наиболее значительная варибельность данного показателя у последней группы элементов может быть связана с различной запыленностью растений мелкодисперсными почвенными частицами, для которых характерны высокие содержания вышеуказанных ХЭ. В многочисленных зарубежных публикациях, посвященных вопросам содержания ХЭ в атмосферных аэрозолях и фолитарного поступления ХЭ в растения, указывается, что агрегаты размером менее 10 мкм, идентифицируемые как почвенные частицы, содержат преимущественно Al и Fe, несколько меньше – Si и Ti, а также отмечается значительный вклад V, Na, Cr, Ni и в случае сильного антропогенного воздействия – ряда других элементов. В работе [33] данная информация подтверждается снимками электронного сканирующего микроскопа – на поверхности листьев четко показаны микрочастицы соединений железа и алюмосиликатов.

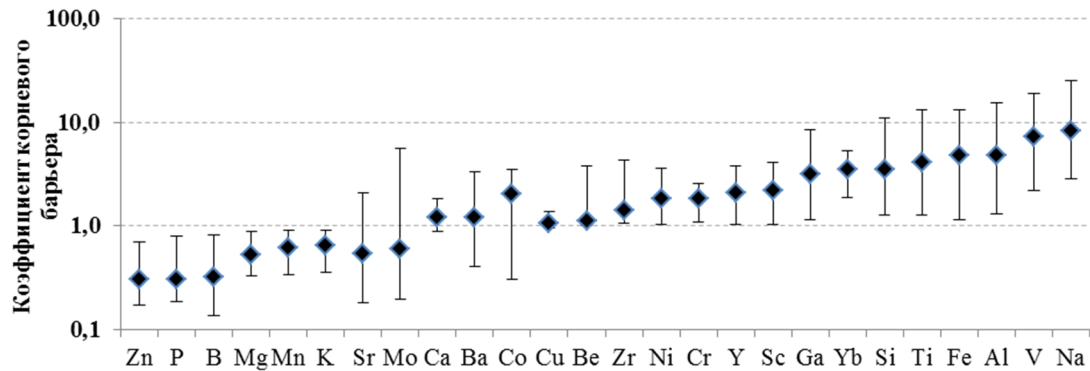


Рис. 1. Коэффициент корневого барьера растений *H. perforatum* юга Западной Сибири (Ме, диапазон варьирования)

Благодаря широкому спектру исследованных ХЭ их общепринятое разделение на 2 группы – макро- и микроэлементы – может быть несколько дополнено и расширено, как это практикуется и в других работах [14]. Так, для надземной части *H. perforatum* юга Западной Сибири в среднем характерно очень высокое содержание К, Са, Р, Si, Mg ( $n \times 10^3$ – $10^4$  мг/кг), высокое – Al, Fe, Na ( $n \times 10^2$  мг/кг), среднее – Mn, Sr, Ba, Zn, B, Ti, Cu ( $n \times 10^1$  мг/кг), пониженное – Ni, Zr ( $n \times 10^0$  мг/кг), низкое – V, Cr, Mo, Co, Y, Ga ( $n \times 10^{-1}$  мг/кг), очень низкое – Sc, Be, Yb ( $n \times 10^{-2}$  мг/кг).

При анализе литературных данных об элементном химическом составе *H. perforatum* можно сделать вывод, что содержание макроэлементов изучается достаточно редко (табл. 2), больший интерес вызывают микроэлементы.

Количество К и Mg в сибирском *H. perforatum* в основном совпадает с довольно близкими между собой литературными данными, однако результаты польских [16] и аргентинских [7] исследователей значительно ниже. По накоплению Са в растениях явно выделяются две группы – с высокой (0.26–0.95% масс.) и низкой (0.01–0.05% масс.) концентрацией, что может быть связано с географической областью отбора образцов [14], а более конкретно – с содержанием и подвижностью данного элемента в почвах. В литературе [25, 29] также отмечается, что Са часто присутствует в растительных клетках в высоких концентрациях, так как выполняет многочисленные функции, в том числе ослабляет токсическое воздействие металлов.

Концентрация Na в весьма широких пределах варьирует в растениях как сибирского региона, так и различных стран мира, поэтому в целом литературные данные (табл. 2) соответствуют экспериментальным (табл. 1), хотя отмечаются как экстремально высокие [12], так и низкие значения [10]. Количество Al (мг/кг), приводимое также в работах [11] (<5–76), [4] (49±3) и [23] (258), в исследуемых нами растениях намного выше литературных данных, которые лишь в отдельных случаях близки к нижней границе регионального диапазона. Содержание (мг/кг) Р и Si приводится лишь в единичных работах: Р – 2300–2800 [16], 2304±50 [12], Si – 80 [23], причем данные для последнего элемента отличаются от экспериментальных более чем на порядок.

В литературе не очень много информации о накоплении *H. perforatum* Mo, B, V. Так, концентрация (мг/кг) в надземной части растений Mo в основном выше полученных нами данных – 1.4–4.8 [14, 25, 35] хотя встречаются и близкие значения – 0.32 [21]; а вот содержание B – 16–47 [14, 16, 19, 34] и V – 1.6–6.0 [8, 21, 25] в растениях других стран приближается к западносибирским значениям.

Таблица 2. Содержание макроэлементов в *H. perforatum*, %масс.

ХЭ	РФ [34]	Азия		Европа						Америка	
		Пакистан	Узбекистан	Англия	Польша	Сербия			Эстония	Аргентина	США
		[10]	[35]	[14]	[16]	[12]	[19]	[21]	[9]	[7]	[2]*
К	1.68	–	1.15	–	0.10/0.13	0.97	0.96	1.28	0.76–1.24	0.08/0.09	–
Са	0.73	0.02	0.78	0.26–0.95	0.01/0.02	0.29	0.29	0.31	–	0.01/0.05	0.04
Mg	0.22	–	0.23	0.08–0.19	0.01/0.01	0.16	0.18	0.11	0.19–0.22	0.003/0.01	0.27
Al	–	–	–	0.002–0.037	0.001/0.02	–	0.003	0.004	–	0.0002	0.003
Na	–	0.001	0.008	–	0.01/0.03	0.12	–	0.005	–	0.05/0.06	–

Примечание. Здесь и далее через «–» указаны пределы варьирования, «/» – средние значения для различных регионов, производителей и т.п., \* – исследовалось содержание ХЭ в порошке из травяных капсул (дополнительные ингредиенты – мальтодекстрин, желатин и др.).

В накоплении Ва и Sr выявились определенные региональные особенности (что уже отмечалось нами ранее и для других видов лекарственных растений юга Западной Сибири [32]): в целом уровень содержания данных элементов в сибирских растениях выше, чем в европейских – содержание Ва в них находится в диапазоне 0.5–22 мг/кг [4, 11, 14, 16, 19], Sr – 1–30 мг/кг [11, 14, 16, 20, 25]. А вот растения *H. perforatum* Средней Азии [35] содержат столько же Sr (40 мг/кг) и еще больше Ва (125 мг/кг), которого также много (до 74 мг/кг) в китайских образцах (Yi, 2004: цит. по [14]).

В целом концентрация микроэлементов в растениях даже одного вида может существенно варьировать – это подтверждают как экспериментальные (табл. 1), так и литературные данные (табл. 2, 3). К сожалению, во многих работах (особенно российских исследователей) зачастую рассматриваются лишь отдельные ХЭ; можно отметить, что их содержание в основном также укладывается в нижеприведенные среднемировые диапазоны.

Таким образом, в целом среднемировые диапазоны содержания ХЭ в растениях *H. perforatum* аналогичны региональным, но, как правило, шире и, кроме того, в отдельных случаях отмечаются экстремально низкие и высокие значения. Так, например, содержание (мг/кг) Со изменяется от 0.1 до 2.6; Cr – <0.005–6.1 (до 20 [11]); Cu – 2–26 (до 120 [14]); Ni – 0.5–11.7 (менее 0.006 [10] и 0.04–0.12 [7]); Zn – 20–106 (13–182 [1]). Еще сильнее варьирует концентрация (мг/кг) Fe – 25–1200 (от 4.6 [16] до 3000 [1]) и Mn – 8–260 (около 7 [2, 16] и 240–780 [25]), что отмечается и в других работах [1, 11, 13, 14]. Одной из возможных причин данного явления может быть сильное загрязнение растительных образцов [3], однако стоит учитывать, что из-за переменной валентности и различной степени окисления данных элементов концентрация и состав их форм соединений в почвах напрямую зависят от реакции среды и окислительно-восстановительного потенциала, что значительно отражается на их доступности растениям.

Таблица 3. Содержание наиболее изученных химических элементов в *H. perforatum*, мг/кг

Регион		Источник	Со	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
РФ		[25]	0.37–0.52	2.8–5.3	4.1–8.3	–	240–780	5.6–8.2	–
		[24]	–	–	4.7/8.5	–	22/69	–	21/49
		[23]	–	1.29	26.1	254	210	9.96	69.0
		[22]	–	–	7	154	61	3	25
		[26]	–	–	10–16	–	–	–	38–53
Азия	Пакистан	[10]	2.6	<0.003	25.4	1020	–	<0.006	78.2
	Турция	[20]	0.94±0.04	3.70±0.15	11.9±0.1	1177±100	127±5	6.25±0.04	67.2±5.5
		[1]	–	–	1.8–10.1	54–2990	9.1–197.9	–	13–182
	Узбекистан	[35]	0.33	0.51	11	170	70	7.8	40
Европа	Англия	[14]	не опр.	не опр.–1.4	4.6–120	38–760	59–261	не опр.–5.4	23–64
	Болгария	[13]	–	–	6–25	25–860	28–183	–	27–106
		[15]	1.4/1.8	3.5/6.1	5.6/9.1	40/99	12/32	1.2/11.7	23/46
	Польша	[16]	–	–	1.59/1.65	4.6/25.5	6.78/7.60	–	65.3/75.7
	Румыния	[11]	–	<1–20	–	89–288	31–219	0.5–4.9	40–96
		[6]	<0.1	1.05	7.86	178	171	3.5	54.9
		[18]	<0.001/0.047	<0.001/0.28	0.97/20.5	–	–	0.20/0.76	24.5/42.7
	Сербия	[19]	–	–	10.2±0.6	56±3	155±1	–	30.0±1.0
		[17]	–	–	10–18	–	25–226	1.0–8.0	21–59
		[21]	–	0.93±0.02	9.0±0.1	14.9±0.1	57±1	2.0±0.0	27.1±0.1
Словения	[5]	–	–	6.3–11.7	32–109	7.8–75.4	–	27–103	
Украина	[3]	0.21	<0.005	8	40	100	–	25	
Эстония	[9]	0.10–0.18	0.12–0.24	–	–	31–58	–	30–36	
Америка	Аргентина	[7, 8]	0.09/0.33	<0.005	12.8/13.5	7.43/8.79	81–92	0.04–0.12	43/46
	США	[2]*	0.31±0.01	0.31±0.03	8.25±0.17	79.6±3.3	7.77±0.17	1.07±0.07	19.7±0.4

Примечание. не опр. – ниже предела обнаружения.

## Выводы

1. Для надземной части *H. perforatum* юга Западной Сибири в среднем характерно очень высокое содержание К, Са, Р, Si, Mg ( $n \times 10^3$ – $10^4$  мг/кг), высокое – Al, Fe, Na ( $n \times 10^2$  мг/кг), среднее – Mn, Sr, Ва, Zn, В, Ti, Cu ( $n \times 10^1$  мг/кг), пониженное – Ni, Zr ( $n \times 10^0$  мг/кг), низкое – V, Cr, Мо, Со, Y, Ga ( $n \times 10^{-1}$  мг/кг), очень

низкое – Sc, Be, Yb ( $n \times 10^{-2}$  мг/кг). Статистически значимые отличия по валовому содержанию ХЭ между образцами из различных экотопов практически не проявляются.

2. Среднемировые диапазоны содержания в растениях *H. perforatum* наиболее изученных макро- и микроэлементов несколько шире региональных, в отдельных случаях отмечаются экстремально низкие и высокие значения. В накоплении Ba и Sr проявились региональные особенности – в целом уровень содержания данных элементов в сибирских растениях выше, чем в европейских.

3. Все исследованные нами растения *H. perforatum* безбарьерно поглощают Zn, P, B, Mg, Mn и K, но у Ca, Ba, Sr, Mo, Co в различных образцах значение Ккб составляет как больше, так и меньше единицы. Остальные исследованные ХЭ содержатся в надземной части растений в меньшем количестве, чем в корнях, при этом Ккб значительно варьирует, изменяясь в диапазоне от 1 до 10 (Cu, Be, Zr, Ni, Cr, Y, Sc, Ga, Yb) и более (Si, Ti, Fe, Al, V, Na).

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

### Список литературы

1. Ayan A.K., Kizilkaya R., Cirak C., Kevseroglu K. Heavy metal contents of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) growing in northern Turkey // Journal of Plant Sciences. 2006. Vol. 1. N3. Pp. 182–186. DOI: 10.3923/jps.2006.182.186.
2. Bu K., Cizdziel J.V., Reidy L. Analysis of herbal supplements for selected dietary minerals and trace elements by laser ablation- and solution-based ICPMS // Microchemical Journal. 2013. Vol. 106. Pp. 244–249. DOI: 10.1016/j.microc.2012.07.011.
3. Derkach T., Khomenko V. Elemental Composition of the Medicinal Plants *Hypericum perforatum*, *Urtica dioica* and *Matricaria chamomilla* Grown in Ukraine: A Comparative Study // Pharmacognosy Journal. 2018. Vol. 10. N3. Pp. 486–491. DOI: 10.5530/pj.2018.3.80.
4. Filipiak-Szok A., Kurzawa M., Szlyk E. Determination of toxic metals by ICP-MS in Asiatic and European medicinal plants and dietary supplements // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2015. N30. Pp. 54–58. DOI: 10.1016/j.jtemb.2014.10.008.
5. Glavač N.K., Djogo S., Ražić S., Kreft S., Veber M. Accumulation of heavy metals from soil in medicinal plants // Archives of Industrial Hygiene and Toxicology. 2017. Vol. 68. N3. Pp. 236–244. DOI: 10.1515/aiht-2017-68-2990.
6. Gogoasa I., Jurca V., Alda L.M., Velciov A., Rada M., Alda S., Sirbulescu C., Bordean D.M., Gergen I. Mineral content of some medicinal herbs // Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 2013. Vol. 17. N4. Pp. 65–67.
7. Gomez M.R., Soledad C., Olsina R.A., Silva M.F., Martínez L.D. Metal content monitoring in *Hypericum perforatum* pharmaceutical derivatives by atomic absorption and emission spectrometry // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2004. Vol. 34. N3. Pp. 569–576. DOI: 10.1016/s0731-7085(03)00643-5.
8. Gomez M.R., Cerutti S., Sombra L.L., Silva M.F., Martínez L.D. Determination of heavy metals for the quality control in argentinian herbal medicines by ETAAS and ICP-OES // Food and Chemical Toxicology. 2007. Vol. 45. N6. Pp. 1060–1064. DOI: 10.1016/j.fct.2006.12.013.
9. Helmja K., Vaher M., Püssa T., Orav A., Viitak A., Levandi T., Kaljurand M. Variation in the composition of the essential oils, phenolic compounds and mineral elements of *Hypericum perforatum* L. growing in Estonia // Natural Product Research. 2011. Vol. 25. N5. Pp. 496–510. DOI: 10.1080/14786411003792165.
10. Hussain J., Bahader A., Ullah F., Rehman N.U., Khan A.L., Ullah W., Shinwari Z.K. Proximate and nutrient analysis of the locally manufactured herbal medicines and its raw material // Journal of American Science. 2009. Vol. 6. N5. Pp. 91–96.
11. Jurca T., Marian E., Vicas L., Gatea D. Simultaneous determination of metals in *Hypericum perforatum* L. by ICP-OES // Revista de Chimie (Bucharest). 2011. Vol. 62. N12. Pp. 1154–1156.
12. Mihaljev Z., Zivkov-Balos M., Cupic Z., Jaksic S. Levels of some microelements and essential heavy metals in herbal teas in Serbia // Acta Pol. Pharm. 2014. Vol. 71. N3. Pp. 385–391.
13. Nikolova E.L., Valcheva R.D., Angelov Ch.V. Essential and toxic element concentrations in medical herbs from Rila and Pirin (Bulgaria) measured using Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) Analysis // Acta zool. bulg. 2018. Vol. 11. Pp. 163–167.
14. Owen J.D., Kirton S.B., Evans S.J., Stair J.L. Elemental fingerprinting of *Hypericum perforatum* (St John's Wort) herb and preparations using ICP-OES and chemometrics // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2016. Vol. 125. Pp. 15–21. DOI: 10.1016/j.jpba.2016.02.054.
15. Pavlova D., Karadjova I., Krasteva I. Essential and toxic element content in *Hypericum perforatum* // Australian Journal of Botany. 2015. Vol. 63. N2. Pp. 152–158. DOI: 10.1071/BT14260

16. Pytlakowska K., Kita A., Janoska P., Połowniak M., Kozik V. Multi-element analysis of mineral and trace elements in medicinal herbs and their infusions // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 135. N2. Pp. 494–501. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.05.002.
17. Radanovic D., Antic-Mladenovic S., Jakovljevic M. Influence of Some Soil Characteristics on heavy metal content in *Hypericum perforatum* L. and *Achillea millefolium* L. // *Acta Horticulturae*. 2002. N576. Pp. 295–301. DOI: 10.17660/actahortic.2002.576.44.
18. Radulescu C., Stihl C., Popescu I. V., Ionita I., Dulama I. D., Chilian A., Bancuta O. R., Chelarescu E. D., Let D. Assessment of heavy metals level in some perennial medicinal plants by flame atomic absorption spectrometry // *Romanian Reports in Physics*. 2013. Vol. 65. N1. Pp. 246–260.
19. Ražić S., Onjia A., Dogo S., Slavković L., Popović A. Determination of metal content in some herbal drugs – empirical and chemometric approach // *Talanta*. 2005. Vol. 67. N1. Pp. 233–239. DOI: 10.1016/j.talanta.2005.03.023.
20. Tokaloğlu S. Determination of trace elements in commonly consumed medicinal herbs by ICP-MS and multivariate analysis // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 134. N4. Pp. 2504–2508. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.04.093.
21. Veljković J.N., Pavlović A.N., Brčanović J.M., Mitić S.S., Tošić S.B., Pecev-Marinković E.T., Mitić M.N. Differentiation of black, green, herbal and fruit bagged teas based on multi-element analysis using inductively-coupled plasma atomic emission spectrometry // *Chemical Papers – Slovak Academy of Sciences*. 2015. Vol. 70. N4. Pp. 488–494. DOI: 10.1515/chempap-2015-0215.
22. Бабошкина С.В., Пузанов А.В. Химический состав почв и растений различных по антропогенной нагрузке территорий г. Барнаула // *Мир науки, культуры, образования*. 2008. Т. 10. №3. С. 14–18.
23. Власов А.С., Белоногова В.Д., Курицын А.В. Оценка экологической безопасности лекарственного растительного сырья некоторых районов Пермского края // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. №5. URL: [www.science-education.ru/119-15027](http://www.science-education.ru/119-15027).
24. Мальгин М.А., Пузанов А.В., Ельчинонова О.А., Горюнова Т.А. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих лекарственных растениях Алтая // *Сибирский экологический журнал*. 1995. №6. С. 510–514.
25. Ноздрюхина Л.Н., Гринкевич Н.И. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. М., 1980. 280 с.
26. Стрекалова А.Н. Обоснование технологии сбора лекарственных растений в условиях современной экологической ситуации (на примере Волгоградской области): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Волгоград, 2007. 22 с.
27. Загурская Ю.В., Баяндина И.И., Сиромля 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.
28. Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // *Геохимия*. 1988. №2. С. 292–306.
29. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.
30. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник в 6 томах. Москва: Недра, 1994. Т. 1. 304 с.
31. Markert B. Establishing of 'reference plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting // *Water, Air, and Soil Pollution*. 1992. Vol. 64. Pp. 533–538. DOI: 10.1007/BF00483363.
32. 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.) // *Сибирский экологический журнал*. 2016. №5. С. 782–792. DOI: 10.15372/SEJ20160515.
33. Schreck E., Foucault Y., Sarret G., Sobanska S., Cecillon L., Castrec-Rouelle M., Uzu G., Dumat C. Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: Mechanisms involved for lead // *Science of the Total Environment*. 2012. Т. 427–428. Pp. 253–262. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.051.
34. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.Н. Почему растения лечат. М.: Ленанд, 2014. 288 с.
35. Игамбердиева П.К., Данилова Е.А., Осинская Н.С. Исследование содержания химических элементов в лекарственных растениях южной Ферганы и перспективы применения при лечении заболеваний // *Микроэлементы в медицине*. 2017. №3. С. 48–53. DOI: 10.19112/2413-6174-2016-17-3-48-53.

Поступила в редакцию 10 апреля 2018 г.

После переработки 16 октября 2018 г.

Принята к публикации 28 октября 2018 г.

**Для цитирования:** Сиромля Т.И., Загурская Ю.В. Элементный химический состав *Hypericum perforatum* – нормируемые элементы // *Химия растительного сырья*. 2019. №2. С. 179–187. DOI: 10.14258/jcrpm.2019023965.

Siromlya T.I.<sup>1</sup>, Zagurskaya Yu.V.<sup>2\*</sup> CHEMICAL ELEMENT COMPOSITION OF *HYPERICUM PERFORATUM* PLANTS: ELEMENTS WHICH CONCENTRATIONS ARE NOT REGULATED

<sup>1</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pr. Akademika Lavrentieva, 8/2, Novosibirsk, 630090 (Russia)

<sup>2</sup> Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Institute of Human Ecology), Sovetsky pr., 18, Kemerovo, 650099 (Russia), e-mail: syjil@mail.ru

*Hypericum perforatum* L. (St. John's wort) is a popular medicinal plant, but its chemical element composition has been studied insufficiently, especially of the plants originated in the Russian Federation. The aim of the study was to examine chemical element composition of *Hypericum perforatum* L plants originating from the south of West Siberia and to review similar data on plants grown in other climatic zones and regions, attempting to establish chemical elements' ranges in the phytomass of the studied species. Chemical element concentrations were determined by AES in 100 samples of aboveground and 60 samples of belowground *H. perforatum* plant parts collected in West Siberia (Novosibirsk and Kemerovo regions, the Altai Republic). Total concentrations of various chemical elements did not differ ( $P \leq 0.05$ ) in different samples. The aboveground plant parts were found to have very high concentrations of K, Ca, P, Si, Mg ( $n \times 10^3$ – $10^4$  mg/kg) alongside with high concentrations of Al, Fe, Na ( $n \times 10^2$  mg/kg) and moderate concentrations of Mn, Sr, Ba, Zn, B, Ti, Cu ( $n \times 10$  mg/kg), whereas such elements as Ni, Zr ( $n$  mg/kg) were found in decreased concentrations, while V, Cr, Mo, Co, Y, Ga showed low concentrations ( $n \times 10^{-1}$  mg/kg), Sc, Be, Yb ( $n \times 10^{-2}$  mg/kg) being very low. The accumulation of Ba and Sr in plants revealed some regional peculiarities as their concentrations in plants of Siberian origin was higher than in plants of the European one. The average chemical element concentrations for a wide set of world data displayed a wider range, with extremely high or low values, as compared to the regional range of variation. The studied plants had no barriers for the uptake of Zn, P, B, Mg, Mn and K, but for Ca, Ba, Sr, Mo, Co in different samples the root barrier coefficient was higher, lower or equal to 1.

**Keywords:** St. John's wort, *Hypericum perforatum*, Chemical element composition, macroelements, biogenic elements (nutrients), essential elements, root barrier coefficient.

### References

1. Ayan A.K., Kizilkaya R., Cirak C., Kevseroglu K. *Journal of Plant Sciences*, 2006, vol. 1, no. 3, pp. 182–186, DOI: 10.3923/jps.2006.182.186
2. Bu K., Cizdziel J.V., Reidy L. *Microchemical Journal*, 2013, vol. 106, pp. 244–249, DOI: 10.1016/j.microc.2012.07.011.
3. Derkach T., Khomenko V. *Pharmacognosy Journal*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 486–491, DOI: 10.5530/pj.2018.3.80
4. Filipiak-Szok A., Kurzawa M., Szlyk E. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2015, no. 30, pp. 54–58, DOI: 10.1016/j.jtemb.2014.10.008.
5. Glavač N.K., Djogo S., Ražić S., Kreft S., Veber M. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 2017, vol. 68, no. 3, pp. 236–244. DOI: 10.1515/aiht-2017-68-2990.
6. Gogoasa I., Jurca V., Alda L.M., Velcirov A., Rada M., Alda S., Sirbulescu C., Bordean D.M., Gergen I. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 2013, vol. 17, no. 4, pp. 65–67.
7. Gomez M.R., Soledad C., Olsina R.A., Silva M.F., Martinez L.D. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2004, vol. 34, no. 3, pp. 569–576, DOI: 10.1016/s0731-7085(03)00643-5.
8. Gomez M.R., Cerutti S., Sombra L.L., Silva M.F., Martinez L.D. *Food and Chemical Toxicology*, 2007, vol. 45, no. 6, pp. 1060–1064. DOI: 10.1016/j.fct.2006.12.013.
9. Helmja K., Vaher M., Püssa T., Orav A., Viitak A., Levandi T., Kaljurand M. *Natural Product Research*, 2011, vol. 25, no. 5, pp. 496–510, DOI: 10.1080/14786411003792165.
10. Hussain J., Bahader A., Ullah F., Rehman N.U., Khan A.L., Ullah W., Shinwari Z.K. *Journal of American Science*, 2009, vol. 6, no. 5, pp. 91–96.
11. Jurca T., Marian E., Vicas L., Gatea D. *Revista de Chimie (Bucharest)*, 2011, vol. 62, no. 12, pp. 1154–1156.
12. Mihaljev Z., Zivkov-Balos M., Cupic Z., Jaksic S. *Acta Pol. Pharm.*, 2014, vol. 71, no. 3, pp. 385–391.
13. Nikolova E.L., Valcheva R.D., Angelov Ch.V. *Acta zool. bulg.*, 2018, vol. 11, pp. 163–167.
14. Owen J.D., Kirton S.B., Evans S.J., Stair J.L. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2016, vol. 125, pp. 15–21, DOI: 10.1016/j.jpba.2016.02.054.
15. Pavlova D., Karadjova I., Krasteva I. *Australian Journal of Botany*, 2015, vol. 63, no. 2, pp. 152–158, DOI: 10.1071/BT14260.
16. Pytlakowska K., Kita A., Janoska P., Połowniak M., Kozik V. *Food Chemistry*, 2012, vol. 135, no. 2, pp. 494–501. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.05.002.
17. Radanovic D., Antic-Mladenovic S., Jakovljevic M. *Acta Horticulturae*, 2002, no. 576, pp. 295–301, DOI: 10.17660/actahortic.2002.576.44.
18. Radulescu C., Stihl C., Popescu I. V., Ionita I., Dulama I. D., Chilian A., Bancuta O. R., Chelarescu E. D., Let D. *Romanian Reports in Physics*, 2013, vol. 65, no. 1, pp. 246–260.
19. Ražić S., Onjia A., Dogo S., Slavković L., Popović A. *Talanta*, 2005, vol. 67, no. 1, pp. 233–239, DOI: 10.1016/j.talanta.2005.03.023.
20. Tokalhoğlu S. *Food Chemistry*, 2012, vol. 134, no. 4, pp. 2504–2508, DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.04.093.
21. Veljković J.N., Pavlović A.N., Brčanović J.M., Mitić S.S., Tošić S.B., Pecev-Marinković E.T. Mitić M.N. *Chemical Papers – Slovak Academy of Sciences*, 2015, vol. 70, no. 4, pp. 488–494, DOI: 10.1515/chempap-2015-0215.

\* Corresponding author.



22. Baboshkina S.V., Puzanov A.V. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, 2008, vol. 10, no. 3, pp. 14–18. (in Russ.).
23. Vlasov A.S., Belonogova V.D., Kuritsyn A.V. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 5, URL: [www.science-education.ru/119-15027](http://www.science-education.ru/119-15027). (in Russ.).
24. Mal'gin M.A., Puzanov A.V., Yel'chinina O.A., Goryunova T.A. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 1995, no. 6, pp. 510–514. (in Russ.).
25. Nozdryukhina L.N., Grinkevich N.I. *Narusheniye mikroelementnogo obmena i puti yego korrektsii*. [Violation of microelement metabolism and ways to correct it]. Moscow, 1980, 280 p. (in Russ.).
26. Strekalova A.N. *Obosnovaniye tekhnologii sbora lekarstvennykh rasteniy v usloviyakh sovremennoy ekologicheskoy situatsii (na primere Volgogradskoy oblasti): avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. [The rationale for the collection of medicinal plants in the current environmental situation (on the example of the Volgograd region): author. dis. ... Cand. biol. sciences]. Volgograd, 2007, 22 p. (in Russ.).
27. Zagurskaya Yu.V., Bayandina I.I., Siromlya T.I., Syso A.I., Dymina Ye.V., Vronskaya O.O., Kazantseva L.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 4, pp. 141–150, DOI: 10.14258/jcprm.1304141 (in Russ.).
28. Romankevich Ye.A. *Geokhimiya*, 1988, no. 2, pp. 292–306. (in Russ.).
29. Dobrovolskiy V.V. *Osnovy biogeokhimi*. [Basics of biogeochemistry]. Moscow, 2003, 400 p. (in Russ.).
30. Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Spravochnik v 6 tomakh*. [Ecological geochemistry of elements. Reference in 6 volumes]. Moskva, 1994, vol. 1, 304 p. (in Russ.).
31. Markert B. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1992, vol. 64, pp. 533–538, DOI: 10.1007/BF00483363
32. Syso A.I., Siromlya T.I., Myadelets M.A., Cherevko A.S. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2016, no. 5, pp. 782–792, DOI: 10.15372/SEJ20160515 (in Russ.).
33. Schreck E., Foucault Y., Sarret G., Sobanska S., Cecillon L., Castrec-Rouelle M., Uzu G., Dumat C. *Science of the Total Environment*, 2012, vol. 427–428, pp. 253–262, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.051.
34. Lovkova M.YA., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.N. *Pochemu rasteniya lechat*. [Why are plants treated]. Moscow, 2014, 288 p. (in Russ.).
35. Igamberdiyeva P.K., Danilova Ye.A., Osinskaya N.S. *Mikroelementy v meditsine*, 2017, no. 3, pp. 48–53, DOI: 10.19112/2413-6174-2016-17-3-48-53 (in Russ.).

Received April 10, 2018

Revised October 16, 2018

Accepted October 28, 2018

**For citing:** Siromlya T.I., Zagurskaya Yu.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 179–187. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019023965.

