

СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ СЕМ. *ASTERACEAE*
ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹Т.И. Сиромля, ^{1,2}Е.Г. Остроухова

¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
(Новосибирск, Россия)
tatiana@issa.nsc.ru

² Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Новосибирской области
(Новосибирск, Россия)
suetina.lena@yandex.ru

Семейство *Asteraceae* (или *Compositae*) — одно из самых больших семейств двудольных растений, включающее в себя несколько десятков тысяч видов, объединенных более чем в тысячу родов, распространенных по всему земному шару и представленных во всех климатических зонах. Характерный вид цветов данного семейства, собранных в соцветие «корзинка», без особых трудностей позволяет узнавать их в природе. Сложноцветные распространены везде, где в принципе возможно существование высших растений (Яковлев, Челомбитко, 1990). На территориях, испытывающих антропогенную нагрузку, данное семейство зачастую является доминирующим (Жесткова, Чеснокова, Уромова, 2013; Мяделец, Сиромля, 2015). Многие виды данного семейства используются в качестве лекарственных растений как в народной, так и в официальной медицине. Препараты из лекарственного растительного сырья (ЛРС) составляют большую долю в общем объеме лекарственных средств, так как выгодно отличаются от синтетических практически полным отсутствием побочных эффектов и привыкания, низкой токсичностью, благоприятным воздействием на весь организм и т. п. (Ловкова и др., 2014).

Отрицательные изменения состояния окружающей среды на глобальном уровне оказывают влияние и на дикорастущие лекарственные растения, в связи с чем в 60-х годах прошлого века за рубежом, а с 80-х годов уже и в России ЛРС стало объектом экологических исследований. При употреблении препаратов из лекарственного растительного сырья в организм человека поступает не только комплекс биологически активных веществ, но и целый спектр ХЭ, оказывающих на него комплексное воздействие. «Биогенные», «биофильные»,

«эссенциальные» химические элементы (ХЭ) участвуют в различных биохимических процессах, стимулируют и нормализуют обмен веществ, обладают высокой биологической активностью. Одновременно с ними организм может подвергаться и влиянию потенциально токсических соединений, в частности тяжелых металлов, которые в высоких концентрациях могут быть опасны для здоровья людей (Ноздрюхина, Гринкевич, 1980; Гравель и др., 2012; Ловкова и др., 2014). Однако в литературе отмечается, что некоторые виды растений даже при выращивании на заведомо загрязненных тяжелыми металлами почвах не накапливают физиологически активных форм этих элементов, что дает возможность получать продукцию, соответствующую требованиям безопасности (Zheljazkov et al., 2008).

Элементный состав растений является весьма вариабельным параметром, на него оказывает влияние большое количество одновременно действующих факторов, среди которых выделяют от двух до четырех групп (Ковалевский, 1991; Алексеенко, 2001; Степанок, 2003; Kabata-Pendias, 2010): внутренние, кристаллохимические факторы, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений; внутренние, биохимические факторы, определяемые биологическими особенностями конкретного вида; внешние, ландшафтно-геохимические факторы, определяемые условиями среды обитания; антропогенные факторы. В связи с этим большую актуальность имеет изучение закономерностей содержания, накопления и распределения максимально широкого спектра ХЭ в растениях (в частности, лекарственных) различных регионов и создание базы данных по их элементному химическому составу. Также большую теоретическую и практическую значимость приобретают исследования ЛРС, произрастающего на антропогенно преобразованных территориях, что может позволить в дальнейшем расширить сырьевую базу дикорастущих лекарственных растений.

Целью данной работы стало исследование и эколого-биогеохимическая оценка элементного химического состава дикорастущих растений сем. *Asteraceae*, произрастающих на фоновых и антропогенно преобразованных территориях юга Западной Сибири.

В качестве объектов исследования были использованы образцы почв (глубина отбора 0-20 см в зоне расположения основной части корневой системы) и растений (надземная и подземная части), отобранных в фазу цветения. Изучались 5 видов растений, принадлежащих к семейству *Asteraceae* Dum.: нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.), одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale* Wigg. s.l.), ромашка лекарственная (*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert, *Matricaria recutita* L., *M. chamomilla* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.). Пробы почв и растений отбирали на фоновых и антропогенно преобразованных территориях по общепринятым методикам. На каждой площадке бралось не менее 5 индивидуальных проб почв и различных видов растений, из которых составлялась средняя проба.

Элементный химический состав растений и почв определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа (установка для проведения исследований включает источник возбуждения спек-

тров — 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). Все анализы выполнены в трех аналитических повторностях, данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество.

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

При статистической обработке экспериментальных данных нормальность распределения исследуемых ХЭ оценивалась по критериям Уилка-Шапиро, проверка гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках проводилась по критериям Кохрена. Поскольку для большинства исследуемых ХЭ было выявлено аномальное распределение данных, для их описания использовали медиану (Me), а в качестве мер рассеяния — квартили (Q_1 и Q_3) и пределы варьирования ($min-max$). Для оценки статистической значимости различий проводился непараметрический дисперсионный анализ по методу Краскела-Уоллиса. Критический уровень значимости p принимался равным 0,05.

Статистически значимой разницы валового содержания исследованных ХЭ в фоновых и антропогенно преобразованных почвах не обнаружено. Не наблюдается и существенных отличий от их фонового содержания в почвах НСО (Ильин, Сысо, 2001). В супесчаных почвах выявлено превышение ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) Ni и Zn по ГН 2.1.7.2511-09. Однако причиной этого является не загрязнение окружающей среды, а региональная геохимическая специфика почв юга Западной Сибири, для которых характерно естественное повышенное содержание данных элементов; к сожалению, низкие значения ОДК не учитывают подобных природных явлений. Превышение ОДК по As практически во всех исследованных почвах также вызвано его природным происхождением. Кроме того, в почвах региона преобладают малоподвижные формы As (Ильин, Конарбаева, 1995), которые не представляют опасности для растительных и животных организмов (Motuzova, Artikaev, Kargova, 2006). Это подтверждают и проведенные нами исследования — во всех растительных образцах содержание As было ниже предела обнаружения.

Исследованные виды растений оказались довольно близки по элементному химическому составу, причем не было обнаружено статистически значимых отличий между растительным сырьем фоновых и антропогенно преобразованных территорий, поэтому на рис. 1 и 2 представлены обобщенные результаты. Подобное явление вызвано высокой внутривидовой вариабельностью содержания ХЭ в пробах и вполне соответствует литературным данным (Сибгатуллина, 2009; Сосорова, Меркушева, Убугунов, 2016), в том числе и по исследуемому региону (Синдирева, 2012; Фещенко, 2015). Отмечается также, что не обнаружено значительных колебаний в среднем содержании ХЭ даже в растениях разных ботанических семейств при заметных различиях

внутри них (Ельчиногова, 2009), хотя ранее в монографии В.Б. Ильина (1985) указывалось, что, несмотря на значительную вариабельность концентрации рассматриваемых ХЭ внутри различных семейств, между группами растений наблюдаются существенные отличия. К работе М.Ш. Сибгатуллиной (2009) указывается, что содержание некоторых ХЭ в растениях одних и тех же видов, произрастающих на нескольких площадках, значительно отличалось, в то время как в растениях других видов оставалось практически одинаковым. Также есть данные о том, что с увеличением техногенной нагрузки видовые различия в накоплении ХЭ большинством видов растений закономерно уменьшаются (Чаплыгин, 2014).

Принимая во внимание, что концентрация различных ХЭ в растениях отличается на несколько математических порядков, их классическое разделение на 2 группы — макро- и микроэлементы — может быть несколько расширено. В.Б. Ильин (2012) выделил 4 группы ХЭ по абсолютному содержанию в растительном веществе: 1) повышенной концентрации — Sr, Mn, Zn; 2) средней — Cu, Ni, Pb, Cr; 3) низкой — Mo, Cd, Se, Co, Sn; 4) очень низкой — Hg. Более широкий спектр ХЭ, исследованный в данной работе, позволяет несколько расширить и дополнить вышеприведенные градации. Таким образом, в надземной части растений сем. *Asteraceae* юга Западной Сибири очень низкое содержание Be, Yb ($n \times 10^{-2}$); низкое и пониженное — Sc, Ga, Co, Cd, Cr, Pb, Y ($n \times 10^{-1}$), V, Mo, La, Ni, Zr ($n \times 10^{-1}$ - $n \times 10^0$); среднее и повышенное — Cu, Ti, Zn, B, Ba, Mn, ($n \times 10^0$ - $n \times 10^1$), Sr, Fe, Na ($n \times 10^1$ - $n \times 10^2$); высокое и очень высокое — Al, Si ($n \times 10^2$ - $n \times 10^3$), Mg, P, Ca, K ($n \times 10^3$ - $n \times 10^4$) (рис. 1). Можно отметить, что полученные нами данные вполне соответствуют среднему уровню для растений сем. *Asteraceae* (Ильин, 1985) по содержанию B, Ca, Co, Fe, K, Si, Mg, Mn, Mo, P и Zn, но несколько ниже для Cu и Na.

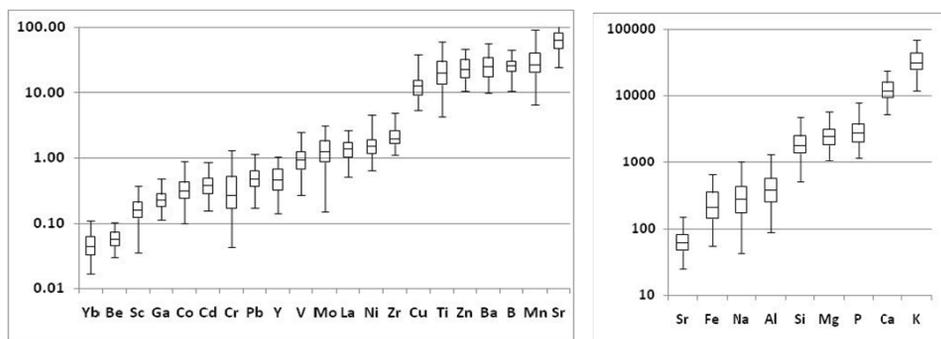


Рис. 1. Содержание ХЭ в надземной части растений сем. *Asteraceae* юга Западной Сибири, мг/кг

Элементный химический состав подземных органов растений имеет определенные отличия от надземной части (рис. 2), которые четко выявляются при расчете коэффициента корневого барьера Ккб (отношение содержания ХЭ в корнях к их концентрации в надземных органах), позволяющего оценить степень накопления ХЭ растениями (рис. 3).

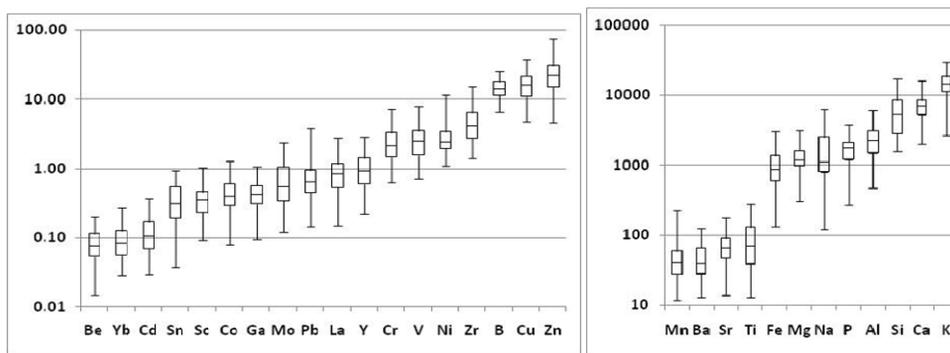


Рис. 2. Содержание ХЭ в подземной части растений сем. *Asteraceae* юга Западной Сибири, мг/кг

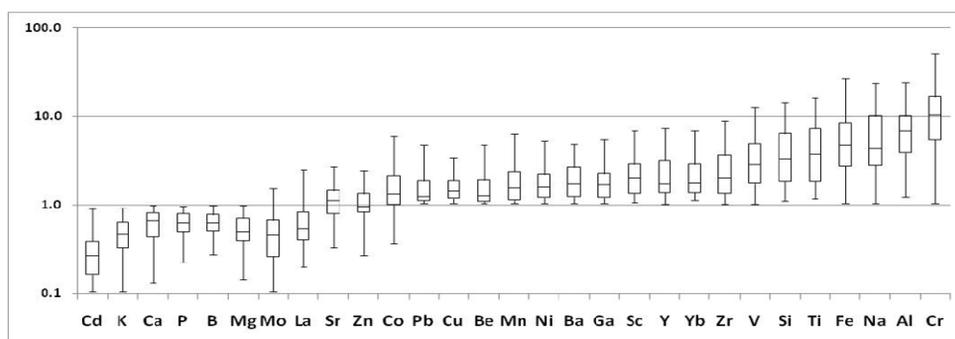


Рис. 3. Коэффициент корневого барьера растений сем. *Asteraceae* юга Западной Сибири

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.

Исследованные нами *Ach. millefolium*, *C. intybus*, *Ch. recutita*, *L. vulgare* и *T. officinale* безбарьерно поглощают В, Са, К, Mg, Р, а также относящийся к токсичным элементам Cd; значение Ккб составляет как больше, так и меньше единицы для Со, La, Мо, Sr и Zn. Остальные исследованные ХЭ содержатся в надземной части растений в меньшем количестве, чем в корнях, при этом Ккб значительно варьирует в разных точках, изменяясь в диапазоне от 1 до 10 (Ba, Be, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Sc., Y, Yb, Zr) и более (Al, Cr, Fe, Na, Si, Ti, V). Содержание Sn в надземной части растений ниже предела обнаружения, поэтому рассчитать Ккб не представляется возможным.

Оценка элементного химического состава исследованных видов растений свидетельствует об отсутствии превышений допустимых значений содержания нормируемых ХЭ по СанПиН 2.3.2.1078-01 (для БАД на растительной ос-

нове) и подтверждает аналогичное заключение, сделанное нами ранее для *Ach. millefolium* (Syso et al., 2016).

В результате проведенных исследований определены диапазоны содержания широкого спектра ХЭ в растениях сем. *Asteraceae*, произрастающих на юге Западной Сибири. Исследованные виды — *Ach. millefolium*, *C. intybus*, *Ch. recutita*, *L. vulgare* и *T. officinale* — оказались довольно близки по элементному химическому составу, причем не было обнаружено статистически значимых отличий между растительным сырьем фоновых и антропогенно преобразованных территорий, что связано с высокой внутривидовой вариабельностью содержания ХЭ.

В надземной части растений очень низкая концентрация Be, Yb ($n \times 10^{-2}$); низкая и пониженная — Sc, Ga, Co, Cd, Cr, Pb, Y ($n \times 10^{-1}$), V, Mo, La, Ni, Zr ($n \times 10^{-1}$ – $n \times 10^0$); средняя и повышенная — Cu, Ti, Zn, B, Ba, Mn, ($n \times 10^0$ – $n \times 10^1$), Sr, Fe, Na ($n \times 10^1$ – $n \times 10^2$); высокая и очень высокая — Al, Si ($n \times 10^2$ – $n \times 10^3$), Mg, P, Ca, K ($n \times 10^3$ – $n \times 10^4$). Безбарьерное поглощение характерно для B, Ca, K, Mg, P и относящегося к токсичным элементам Cd, а также проявляется в отдельных точках для Co, La, Mo, Sr и Zn. Оценка всех исследуемых видов как аптечного сырья свидетельствует об отсутствии превышений допустимых значений содержания нормируемых ХЭ по СанПиН 2.3.2.1078-01 (для БАД на растительной основе).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко В.А. Основные факторы накопления химических элементов организмами // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 8. С. 20-24.
2. Гравель И.В., Шойхет Я.Н., Яковлев Г.П., Самылина И.А. Фармакогнозия. Эко-токсиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 304 с.
3. Ельчианинова О.А. Микроэлементы в наземных экосистемах Алтайской горной области: автореф. дис. ... д-ра с./х. наук. Барнаул, 2009. 35 с.
4. Жесткова Д.Б., Чеснокова Е.В., Уромова И.П. Анализ флоры городских территорий вдоль автомагистралей Нижнего Новгорода // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 1 (1). С. 140-145.
5. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.
6. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 221 с.
7. Ильин В.Б., Конарбаева Г.А. Мышьяк в почвах Западной Сибири в связи с региональным мониторингом окружающей среды // Агрохимия. 1995. № 5. С. 634-638.
8. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
9. Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука, 1991. 294 с.
10. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.Н. Почему растения лечат. М.: Ленанд, 2014. 288 с.
11. Мяделец М.А., Сиромля Т.И. Особенности экологического состояния почвенно-растительного покрова вдоль автомагистралей и в рекреационных зонах г. Новосибирска // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5; URL: www.science-education.ru/128-22706 (дата обращения: 19.11.2015).
12. Ноздрюхина Л.Н., Гринкевич Н.И. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. М.: Наука, 1980. 280 с.

13. Сибгатуллина М.Ш. Металлы в дикорастущих растениях Татарстана и факторы, определяющие их содержание: Автореф. дис. канд. биол. наук. Казань, 2009. 23 с.
14. Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва – растение – животное: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2012. 36 с.
15. Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л. Содержание микроэлементов в лекарственных растениях разных экосистем озера Котокельского (Западное Забайкалье) // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 5359.
16. Степанок В.В. Влияние комплексов техногенных элементов на химический состав сельскохозяйственных культур // Агрехимия. 2003. № 1. С. 50-60.
17. Фещенко В.П. Мониторинг тяжелых металлов на сельскохозяйственных угодьях Новосибирской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2015. 20 с.
18. Чаплыгин В.А. Накопление и распределение тяжелых металлов в травянистой растительности техногенных ландшафтов Нижнего Дона: дисс. канд. биол. наук. Ростов н/Д, 2014. 193 с.
19. Яковлев Г.П., Челомбитко В.А. Ботаника. Москва: «Высшая школа», 1990. 367 с.
20. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. 548 p.
21. Motuzova G.V., Aptikaev R.S., Karpova E.A. Fractionation of Soil Arsenic Compounds // Eurasian Soil Science. 2006. Т. 39. № 4. P. 387-396.
22. 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. of Ecol. 2016. V. 9. № 5. P. 643-651.
23. Zheljazkov V.D., Jeliaskova E.A., Kovacheva N., Dzhurmanski A. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter // Envir. and Experim. Botany. 2008. V. 64. № 3. P. 207-216.