

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – ДИКОРАСТУЩЕЕ ЛЕКАРСТВЕННОЕ РАСТЕНИЕ» (НА ПРИМЕРЕ *CICHORIUM INTYBUS* L.)

© 2022

Бускунова Г.Г., Ягафарова Г.А.

Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного университета
(г. Сибай, Республика Башкортостан, Российская Федерация)

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности содержания тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье *Cichorium intybus* L. в условиях Зауральского региона Республики Башкортостан. Рассчитаны вариационно-статистические показатели содержания тяжелых металлов в почвах и в растениях. Коэффициенты вариации валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах высокие (выше 21%), исключение составила валовая форма Fe, для которой характерна низкая вариация (до 10%). Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах превышало предельно допустимые концентрации по Cu (в 18 раз), Zn (13 раз), Cd (2 раза), Co (1,2 раза) на пробной площади 2 и по Mn (1,2 раза) и Cu (2,5 раза) на пробной площади 3. Содержание подвижных форм Fe и Pb в почвах не превышало предельно допустимые концентрации. Образцы имели повышенный уровень подвижных форм по Cu (39 раз), Zn (2,1–4,3 раза), Ni (1,12 раза), Mn (2,3–2,6 раза), Co (1,3–1,5 раза), Cd (2,1–5,7 раза). Степень подвижности тяжелых металлов в почвах уменьшалась в ряду Pb → Co → Cd → Zn → Mn → Cu → Ni → Fe. По степени загрязнения Zc изученные почвы относились к категории допустимой (Zc от 0,2 до 5,2), за исключением пробной площади 2, которая относилась к категории высокоопасной (Zc до 48,2). Уровень загрязнения почвенного покрова минимальный, а экологическая обстановка относительно удовлетворительная (Zc от 0,2 до 5,2), за исключением пробной площади 2, где уровень загрязнения высокий, а экологическая обстановка критическая (Zc до 48,2). Растения *Cichorium intybus* L. загрязнены Ni, Cd, Fe, а концентрации Pb и Mn в растениях не превышали максимально допустимые уровни. Наиболее поглощаемыми элементами оказались Fe (254,7) и Cu (65,4), которые отнеслись к группе элементов энергичного накопления (индекс аккумуляции >10); Ni (8,9), Pb (4,7), Zn (2,2), Cd (2,06), Co (1,1) и Mn (1,06) отнеслись к группе элементов сильного накопления (индекс аккумуляции от 1 до 10). В растениях *Cichorium intybus* L. Cu, Fe, Ni, Mn, Cd, Co распределены по акропетальному типу (акропетальный коэффициент >1,0), а Zn и Pb – по базипетальному типу (акропетальный коэффициент <1,0). Величина биогеохимической активности в растении *Cichorium intybus* L. варьирует от 47,4 до 728,3.

Ключевые слова: загрязнение; тяжелые металлы; предельно допустимая концентрация; максимально допустимые уровни; индекс аккумуляции; биогеохимическая активность; акропетальный коэффициент; индекс суммарного загрязнения.

HEAVY METALS IN THE SYSTEM «SOIL – WILD MEDICINAL PLANT» (ON THE EXAMPLE OF *CICHORIUM INTYBUS* L.)

© 2022

Buskunova G.G., Yagafarova G.A.

Sibay Institute (Branch) of Bashkir State University (Sibay, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

Abstract. This paper discusses the features of the heavy metals content in medicinal plant raw materials *Cichorium intybus* L. in the conditions of the Trans-Ural region of the Republic of Bashkortostan. Variational and statistical indicators of the heavy metals content in soils and plants are calculated. The coefficients of variation of gross and mobile forms of heavy metals in soils are high (above 21%), the exception was the gross form of Fe, which is characterized by low variation (up to 10%). The content of gross forms of heavy metals in soils exceeded the maximum permissible concentrations of Cu (18 times), Zn (13 times), Cd (2 times), Co (1,2 times) in the sample area 2, and Mn (1,2 times) and Cu (2,5 times) in the sample area 3. The content of mobile forms of Fe and Pb in soils did not exceed the maximum permissible concentrations. The samples had an increased level of mobile forms in Cu (39 times), Zn (2,1–4,3 times), Ni (1,12 times), Mn (2,3–2,6 times), Co (1,3–1,5 times), Cd (2,1–5,7 times). The degree of mobility of heavy metals in soils decreases in the series Pb → Co → Cd → Zn → Mn → Cu → Ni → Fe. According to the degree of Zc contamination, the studied soils were classified as permissible (Zc from 0,2 to 5,2), with the exception of sample area 2, which was classified as highly hazardous (Zc up to 48,2). The level of contamination of the soil cover is minimal, and the environmental situation is relatively satisfactory (Zc from 0,2 to 5,2), with the exception of test area 2, where the level of pollution is high and the environmental situation is critical (Zc up to 48,2). Plants of *Cichorium intybus* L. are contaminated with Ni, Cd, Fe, and concentrations of Pb and Mn in plants did not exceed the maximum permissible levels. The most absorbed elements were Fe (25,7) and Cu (65,4), which belonged to the group of elements of energetic accumulation (accumulation index >10), Ni (8,9), Pb (4,7), Zn (2,2), Cd (2,06), Co (1,1), and Mn (1,06) related to a group of elements of strong accumulation (accumulation index from 1 to 10). In plants of *Cichorium intybus* L. Cu, Fe, Ni, Mn, Cd, Co are distributed by acropetal type (acropetal coefficient >1,0),

and Zn and Pb are distributed by basipetal type (acropetal coefficient $<1,0$). The value of biogeochemical activity in the plant *Cichorium intybus* L. varies from 47,4 to 728,3.

Keywords: pollution; heavy metals; maximum permissible concentration; maximum permissible levels; accumulation index; biogeochemical activity; acropetal coefficient; total pollution index.

Введение

Башкирское Зауралье – уникальная биогеохимическая провинция, характеризующаяся многочисленными рудопроявлениями меди и цинка. Зауральский регион обеспечивает металлургические предприятия концентратом медно-цинкоколчеданных руд. В Башкирском Зауралье находится один из крупнейших карьеров не только региона, но и всего мира. Именно Сибайский карьер является вторым по размеру карьером в мире. Развитие и активное функционирование горно-обогатительных комбинатов привело к загрязнению окружающей среды тяжелыми металлами [1, с. 63]. В Башкирском Зауралье техногенные геохимические аномалии накладываются на природные, в результате чего наблюдаются повышенные концентрации тяжелых металлов (ТМ) в почвах, в поверхностных водах, растениях.

Объектом наших исследований явилось распространение в регионе многолетнее травянистое, дикорастущее, лекарственное растение – цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.). Цикорий обыкновенный имеет прямостоячие стебли с растопыренными боковыми побегами [2, с. 11]. Изучаемый вид встречается по обочинам дорог, произрастает на лугах и пустырях. По отношению к богатству почвы предпочитает плодородные почвы и невлажные местообитания [3, с. 328]. Трава и корни растения применяются местным населением в виде настоя и отваров. Надземная фитомасса и подземная часть цикория (*Herba Cichorii intybi*) используется в качестве лекарственного сырья в официальной медицине. Препараты на основе цикория повышают аппетит, улучшают обмен веществ, усиливают отделение желчи, обладают мочегонными, противовоспалительными и вяжущими свойствами [4, с. 131; 5, с. 174; 6, с. 696]. В корнях содержатся флавоноиды, инулин, дубильные вещества, гликозиды, стерин, кумарины, лактоны, тритерпеноиды. В пищевой промышленности из корней получают заменитель кофе, инулин, а надземная часть цикория входит в состав тонизирующих безалкогольных напитков.

Проблемам накопления тяжелых металлов в растениях посвящены работы многих авторов как в нашей стране, так и за рубежом [7, с. 467; 8, с. 407; 9].

Выбор темы исследования связан с отсутствием данных об экологической оценке чистоты лекарственного растительного сырья *Cichorium intybus* L. в условиях геохимической провинции Зауральского региона Республики Башкортостан. В связи с этим изучение содержания тяжелых металлов в надземных и подземных частях вида является актуальным.

Цель исследования: изучить особенности содержания и аккумуляции тяжелых металлов в растениях *Cichorium intybus* L. и оценить экологическую чистоту лекарственного растительного сырья в условиях геохимической провинции Башкирского Зауралья.

Материалы и методика исследований

Исследования проводили на территории Башкирского Зауралья Республики Башкортостан на 4 проб-

ных площадях (ПП). ПП 1 – окрестности д. Мукасово Баймакского района, ПП 2 – г. Сибай Республики Башкортостан, ПП 3 – д. Исяново Баймакского района, ПП 4 – с. Красная Башкирия Абзелиловского района.

Почвенные образцы отобраны методом конверта [10, с. 185] с участка, имеющего общую площадь 1 га. Почвы отбирали лопатой в 3-х повторностях. Глубина отбора почвы составляла 10 см. Растения собраны в июле в фазе цветения *Cichorium intybus* L. Корни отмывались в проточной воде с целью удаления почвенных частиц. Растения высушивались до воздушно-сухого состояния и были разобраны на части: цветки, листья, стебли, корни [11, с. 15–19]. Отдельные части растения размалывали на мельнице до мелких частиц (0,1 мм). Измельченный материал упаковывали в конверты, которые были маркированы и отправлены в химическую лабораторию для определения в них концентраций тяжелых металлов. Содержание Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Hg, Pb в почвенных и растительных образцах определяли атомно-абсорбционным методом в центральной лаборатории Сибайской обогатительной фабрики ОАО «УГОК».

Показатели предельно допустимых концентраций (ПДК) тяжелых металлов для валовых (ПДК_{в.ф.}) и подвижных (ПДК_{п.ф.}) форм были использованы для оценки состояния почвенного покрова [12, с. 8–11; 13, с. 52–53].

Уровень загрязнения почв оценивали по коэффициенту концентрации тяжелых металлов (Кс) и суммарному показателю загрязнения (Zc).

Коэффициент концентрации тяжелых металлов определили по формуле $Kc = C/Cф$, где C – фактическая концентрация тяжелых металлов в почве, мг/кг; $Cф$ – фоновая концентрация тяжелых металлов в почве, мг/кг.

Сумма коэффициентов концентраций тяжелых металлов в почвах отображает суммарный показатель загрязнения (Zc), который вычисляется по формуле: $Zc = \sum Kc - (n - 1)$, где Kc – коэффициент концентрации тяжелых металлов; n – число оцениваемых ингредиентов [14, с. 38].

Оценку загрязненности почв тяжелыми металлами можно производить, используя значения суммарного показателя Zc.

Шкалы определения категории загрязненности почвенного покрова и оценки экологической обстановки территории [15, с. 29] по суммарному показателю Zc представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю [14, с. 38]

Степень опасности	Показатели Zc	Категория загрязнения почв
I	Менее 16	Допустимая
II	16–32	Умеренно опасная
III	32–128	Высоко опасная
IV	Более 128	Чрезвычайно опасная

Таблица 2 – Оценка экологической обстановки по суммарному показателю загрязнения [15, с. 29]

Степень опасности	Показатели Zc	Уровень загрязнения	Оценка экологической обстановки
I	Менее 8	Минимальный	Относительно удовлетворительная
II	8–16	Слабый	Относительно удовлетворительная
III	16–32	Средний	Напряженная
IV	32–128	Высокий	Критическая
V	Более 128	Максимальный	Катастрофическая

Для экологической оценки чистоты лекарственного растительного сырья применяли нормативное содержание тяжелых металлов в растениях. Максимально допустимый уровень (МДУ) Cu в растениях составляет 30 мг/кг, Zn – 50 мг/кг, Ni, Co – 1 мг/кг, Fe, Mn – 100 мг/кг, Pb – 5 мг/кг, Cd – 0,3 мг/кг [16, с. 3].

Степень поглощаемости тяжелых металлов растениями показывает такой геохимический показатель, как индекс аккумуляции (I_a) [17, с. 59–60; 18, с. 30; 19, с. 33, 20, с. 37], который отражает реальную интенсивность поглощения. Индекс аккумуляции представляет собой отношение концентрации тяжелых металлов в воздушно-сухой массе растений к концентрации подвижных форм в почве [21, с. 132].

Ряд биологического поглощения по А.О. Перельману [20, с. 38–41] показывает, что если величина $I_a < 0,1$, то металл относится к элементам слабого и очень слабого захвата, если $1 > I_a > 0,1$ – к элементам среднего захвата, если $10 > I_a > 1$ – к элементам сильного накопления, $I_a > 10$ – к элементам энергичного накопления.

Суммарная величина, получающаяся при сложении показателей индекса аккумуляции, называется биогеохимической активностью вида (БХА) [22, с. 71; 23, с. 93]. Биогеохимическая активность отображает более истинную картину миграции тяжелых металлов в растения. Величина БХА зависит главным образом от формы нахождения элемента в почве и от физиологических особенностей вида.

Для выявления особенностей распределения тяжелых металлов в надземных и подземных частях растений рассчитан акропетальный коэффициент (АК).

Акропетальный коэффициент представляет собой отношение содержания тяжелых металлов в корневой системе к содержанию его в надземной фитомассе. Если $AK > 1,0$, то распределение металлов идет по акропетальному типу, $AK < 1,0$ – по базипитальному типу [18, с. 52].

Таблица 3 – Вариационно-статистические показатели валовых форм тяжелых металлов в почвах исследуемой территории, мг/кг воздушно-сухой почвы

Тяжелые металлы	$M \pm m$	lim (min – max)	$C_v, \%$	ПДК _{в.ф.}
Медь	$302,3 \pm 230,0$	30,0–989,0	100	55
Цинк	$403,1 \pm 318,0$	54,3–1356,0	100	100
Железо	$9506,2 \pm 365,7$	8992,0–10591,0	7,7	25000
Никель	$39,7 \pm 6,3$	22,6–52,0	31,9	85
Марганец	$962,7 \pm 351,0$	345,0–1825,0	72,9	1500
Свинец	$1,5 \pm 0,3$	0,9–2,1	37,7	32
Кадмий	$2,1 \pm 0,7$	1,2–4,2	67,2	2
Кобальт	$11,1 \pm 3,7$	2,3–19,8	67,6	16,2

Статистический анализ результатов проведен с использованием программ Excel 7.0 и Statistica 6.0, где M – среднее значение признака, m – стандартная ошибка, min и max – минимальное и максимальное значение признака. Изменчивость содержания ТМ в почвах и растениях оценивали по коэффициенту вариации ($C_v, \%$). Коэффициент вариации рассчитывается по формуле $C_v = \delta/M \times 100$, где δ – стандартное отклонение, M – среднее арифметическое. Величина C_v до 10% показывает низкую изменчивость; от 11% до 20% – среднюю; от 21% и выше – высокую изменчивость признаков [24, с. 7].

Результаты исследований и их обсуждение

Наибольшие и наименьшие концентрации валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследуемых пробных площадях представлены в таблицах 3, 4.

Коэффициенты вариации валовых форм тяжелых металлов в почвах высокие (выше 21%), исключение составляет Fe, для которого характерна низкая вариация (до 10%). Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах не превышало предельно допустимые концентрации, за исключением Cu (в 18 раз), Zn (в 13 раз), Cd (в 2 раза), Co (в 1,2 раза) на пробной площади 2 и Mn (в 1,2 раза), Cu (в 2,5 раза) на пробной площади 3.

Коэффициенты вариации подвижных форм тяжелых металлов в почвах высокие (выше 21%) (табл. 3, 4).

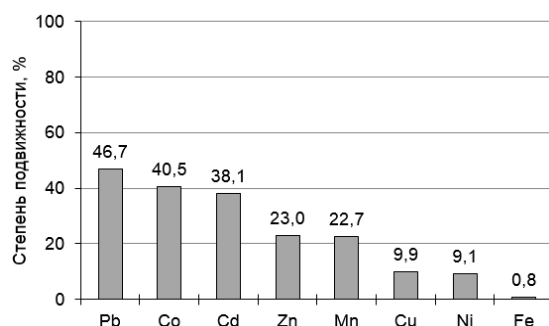
Содержание подвижных форм Fe и Pb в почвах не превышало нормы. Образцы имели повышенный уровень подвижных форм по Cu (39 ПДК), Zn (2,1–4,3 ПДК), Ni (1,12 ПДК), Mn (2,3–2,6 ПДК), Co (1,3–1,5 ПДК), Cd (2,1–5,7 ПДК).

Максимальное процентное содержание подвижных форм от валового количества для Pb составляло 46,7%, Co – 40,5%, Cd – 38,1%, Zn – 23,0%, Mn – 22,7%, Cu – 9,9%, Ni – 9,1%, Fe – 0,8%. Степень подвижности тяжелых металлов в почвах уменьшалась в ряду Pb → Co → Cd → Zn → Mn → Cu → Ni → Fe (рис. 1).

По степени загрязнения Zc изученные почвы относились к категории допустимой (Zc от 0,2 до 5,2), за исключением почв ПП 2, которые относились к категории высокоопасной (Zc до 48,2). Уровень загрязнения почвенного покрова минимальный, а экологическая обстановка относительно удовлетворительная (Zc от 0,2 до 5,2), за исключением ПП 2, где уровень загрязнения высокий, а экологическая обстановка критическая (Zc до 48,2). Таким образом, наибольшим загрязнением характеризовались почвы пробной площади 2, расположенной в окрестностях г. Сибай (табл. 5).

Таблица 4 – Вариационно-статистические показатели подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследуемой территории, мг/кг воздушно-сухой почвы

Тяжелые металлы	$M \pm m$	lim (min – max)	C_v , %	ПДК _{п.ф.}
Медь	$29,8 \pm 29,0$	0,35–117,0	100	3
Цинк	$92,9 \pm 29,2$	48,5–173,0	62,8	23
Железо	$80,1 \pm 66,3$	12,0–279,0	100	3800
Никель	$3,6 \pm 0,77$	1,3–4,5	42,8	4
Марганец	$218,2 \pm 74,5$	63,0–364,0	68,3	140
Свинец	$0,7 \pm 0,1$	0,44–0,96	35,7	6
Кадмий	$0,8 \pm 0,1$	0,48–1,2	38,2	0,22
Кобальт	$4,5 \pm 1,5$	0,94–7,5	67,3	5

**Рисунок 1** – Степень подвижности тяжелых металлов в почвах**Таблица 5** – Оценка уровня загрязненности и экологической обстановки по суммарному показателю загрязнения

№ ПП	Zc	Категория загрязнения почв	Уровень загрязнения	Экологическая обстановка
1	5,2	Допустимое	Минимальный	Относительно удовлетворительная
2	48,2	Высокоопасное	Высокий	Критическая
3	3,6	Допустимое	Минимальный	Относительно удовлетворительная
4	0,17	Допустимое	Минимальный	Относительно удовлетворительная

Допустимые нормы Cu в траве колеблются от 6 до 15 мг/кг сухой массы, а накопление выше 20 мг/кг считается токсичным [19, с. 33], выше 150 мг/кг – критическим [25, с. 45]. МДУ меди равен 30 мг/кг [16, с. 3]. Содержание меди в *Cichorium intybus* L. изменяется в широких пределах: коэффициент вариации в цветках составил 66,73%, в листьях – 39,14%, в стеблях – 22,84%, в корнях – 23,97%. Содержание меди в надземных и подземных частях растения не превышало МДУ, за исключением 1,1 раза в корнях (ПП 2) и 2,2 раз в цветках (ПП 3) (рис. 2: А).

На чистых почвах оптимальное содержание Zn в надземной фитомассе составляет 53,3 мг/кг [19, с. 31]. Нормальное содержание цинка в тканях растений варьирует от 15 до 150 мг/кг сухого вещества [19, с. 33], а его концентрации в пределах 300–500 мг/кг сухого вещества [26, с. 36] является токсичной. МДУ для цинка определен на уровне 50 мг/кг [16, с. 3]. Коэффициент вариации цинка в цветках *Cichorium intybus* L. составил 37,02%, в листьях – 41,80%, в стеблях – 27,60%, в корнях – 31,10%. Содержание цинка в растительных образцах превышало максимально допустимые уровни на пробной площади 2 во всех органах растений, на пробной площади 3 – в цветках и листьях (рис. 2: Б).

Токсичность никеля для растений наблюдалась при его содержании в растительном материале в количестве 50 мг/кг [26, с. 37]. Коэффициент вариации

Ni в цветках *Cichorium intybus* L. составил 15,80%, в листьях – 38,59%, в стеблях – 55,64%, в корнях – 24,32%. Содержание никеля в растениях не достигало токсичных концентраций, но превышало МДУ (1 мг/кг) [16, с. 3] во всех образцах (рис. 2: В).

Содержание железа в растениях на уровне 20–300 мг/кг считается нормой [19, с. 33], а концентрация выше 750 мг/кг – токсичной [25, с. 60]. МДУ железа равна 100 мг/кг [16, с. 3]. Концентрация железа во всех частях растения превысила не только максимально допустимые уровни, но и токсичные концентрации. Наибольшие концентрации железа отмечены в подземных частях, превышающие МДУ в 30 раз (рис. 2: Г). Статистический анализ содержания Fe в органах растения показал, что коэффициент вариации в цветках составил 22,63%, в листьях – 27,17%, в стеблях – 26,65%, в корнях – 33,80%.

В естественных местах произрастания растений концентрация марганца меньше 20 мг/кг считается недостаточной [19, с. 33], 25–250 мг/кг – оптимальной [19, с. 118], 500 мг/кг – фитотоксичной [19, с. 118; 25, с. 54]. МДУ марганца в растениях составляет 100,0 мг/кг [16, с. 3]. Коэффициент вариации Mn в цветках – 50,09%, в листьях – 14,01%, в стеблях – 58,21%, в корнях – от 53,27%. Концентрации Mn в цветках, листьях и стеблях *Cichorium intybus* L. не превышали МДУ, за исключением в корнях в ПП 3 (рис. 2: Д).

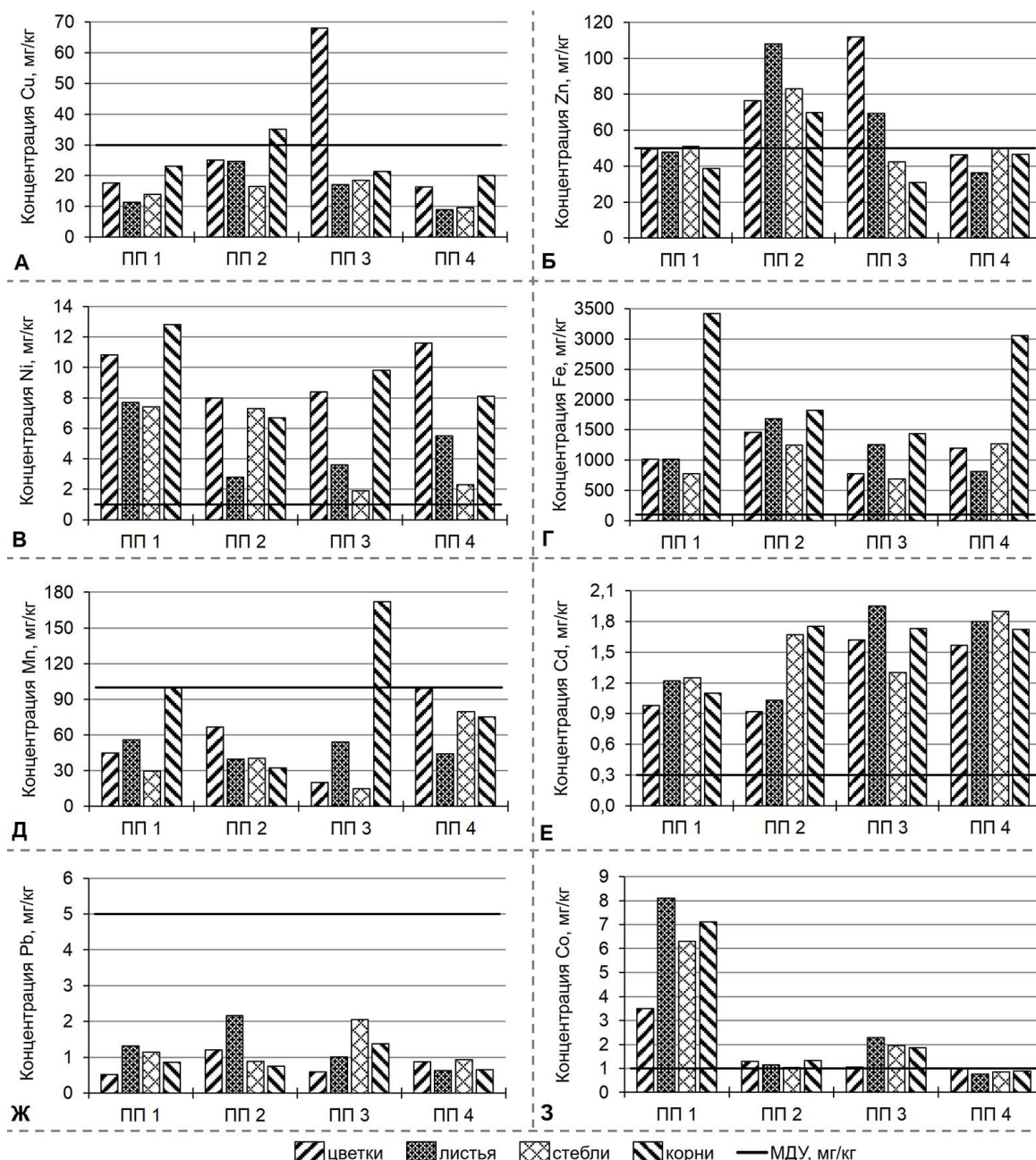


Рисунок 2 – Содержание тяжелых металлов в надземных и подземных частях *Cichorium intybus* L.:
А – Cu, Б – Zn, В – Ni, Г – Fe, Д – Mn, Е – Cd, Ж – Pb, 3 – Co

В тканях растений содержание кадмия в пределах 0,2–0,8 мг/кг считается оптимальным, в аномальных случаях его концентрации могут достигать 80 мг/кг [26, с. 35]. Временный МДУ Cd в растениях определен на уровне 0,3 мг/кг сухой массы [16, с. 3]. Изменчивость кадмия в цветках (24,40%) и листьях (25,60%) – высокая, в стеблях (17,53%) и корнях (17,43%) – средняя. Концентрации кадмия в *Cichorium intybus* L. превысили МДУ во всех исследованных образцах от 3,0 до 6,5 раза (рис. 2: Е).

Концентрация свинца от 0,1 до 5,0 мг/кг сухого вещества считается нормальной, до 10,0 мг/кг – максимальной [19, с. 33], выше 60,0 мг/кг – фитотоксичной [19, с. 118]. Отмечено, что концентрации Pb в растительных образцах не превышали МДУ (5,0 мг/кг) [16, с. 3] (рис. 2: Ж). Коэффициент вариации свинца в цветках *Cichorium intybus* L. составил 33,71%, в листьях – 44,12%, в стеблях – 37,56%, в корнях – 30,54%.

Максимально допустимым уровнем кобальта в растениях считается концентрация 1,0 мг/кг сухого вещества [16, с. 3]. Концентрация кобальта в области 5,0 мг/кг считается критической, более 80,0 мг/кг – фитотоксичной [25, с. 44]. Коэффициенты вариации кобальта во всех частях растения *Cichorium intybus* L. высокие: в цветках 60,40%, в листьях – 96,19%, в стеблях – 87,14%, в корнях – 89,38%. Содержание кобальта в растениях *Cichorium intybus* L. значительно превышало МДУ в ПП 1 от 3,5 до 8,1 раз (рис. 2: 3).

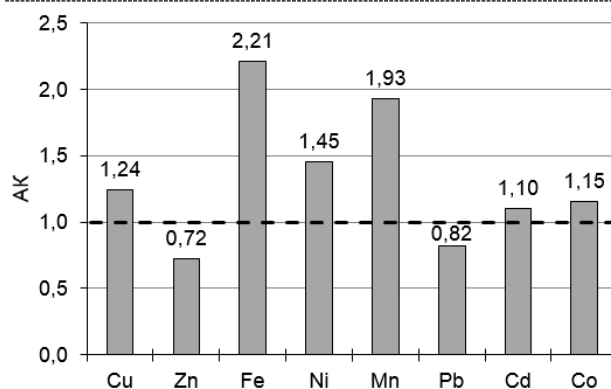
Растения загрязнены Ni, Cd, Fe, а концентрации Pb и Mn в растениях *Cichorium intybus* L. не превышают максимально допустимые уровни.

Наиболее поглощаемыми элементами являются Fe и Cu. Расчет индекса аккумуляции показал, что Fe (254,7) и Cu (65,4) относятся к группе элементов энергичного накопления ($I_A > 10$); Ni (8,9), Pb (4,7), Zn (2,2), Cd (2,06), Co (1,1) и Mn (1,06) относятся к группе элементов сильного накопления ($I_A 1–10$) (табл. 6).

Таблица 6 – Ряд интенсивности поглощения тяжелых металлов (по I_A) в *Cichorium intybus* L.

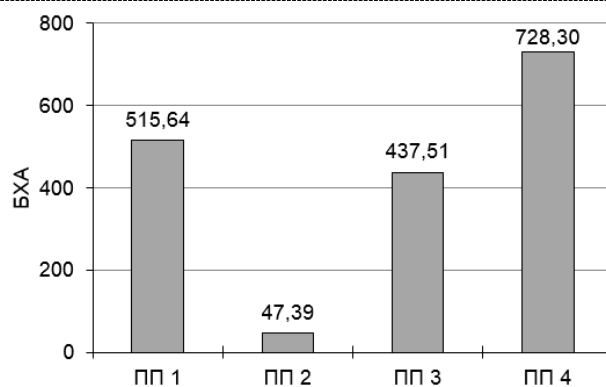
Интенсивность поглощения	100	10	1	0,1	0,01
Энергичного накопления	Fe, Cu				
Сильного накопления		Zn, Cd, Pb Mn, Ni, Co			
Среднего захвата					
Слабого и очень слабого захвата					

В растениях *Cichorium intybus* L. Cu, Fe, Ni, Mn, Cd, Co распределены по акропетальному (АК > 1,0), а Zn и Pb распределены по базипетальному типу (АК < 1,0) (рис. 3).

**Рисунок 3** – Акропетальный коэффициент *Cichorium intybus* L.

Способность вида к концентрации химических элементов разная и зависит от формы нахождения элементов в почве (валового содержания элементов, подвижных форм, а также от форм, связанных с органическими веществами, с окислами, гидроокислами и др.).

Суммарная величина индекса аккумуляции, выраженный через показатель БХА, в растении *Cichorium intybus* L. изменяется от 47,4 до 728,3 (рис. 4).

**Рисунок 4** – Биогеохимическая активность *Cichorium intybus* L. на разных пробных площадках

Наибольший показатель биогеохимической активности обнаружен в растениях *Cichorium intybus* L., произрастающих в окрестностях с. Красная Башкирия Абзелиловского района (ПП 4), наименьший – в г. Сибай (ПП 2). Несмотря на то, что почвенный покров ПП 2 отличался высоким уровнем загрязнения и по степени загрязнения Zc относился к категории

высокоопасной, растения, произрастающие на данном участке, оказались менее загрязненными, на что указывает минимальный показатель БХА. По-видимому, на техногенно загрязненных территориях с повышенным геохимическим фоном у растений срабатывают биохимические и защитные механизмы, снижающие избыточное поступление тяжелых металлов в растения.

Выводы

1. Коэффициенты вариации валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах высокие (выше 21%), исключение составила валовая форма Fe, для которой характерна низкая вариация (до 10%). Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах превышало предельно допустимые концентрации по Cu (в 18 раз), Zn (в 13 раз), Cd (в 2 раза), Co (в 1,2 раза) на пробной площади 2 и по Mn (в 1,2 раза) и Cu (в 2,5 раза) на пробной площади 3. Содержание подвижных форм Fe и Pb в почвах не превышало предельно допустимые концентрации. Образцы имели повышенный уровень подвижных форм по Cu (39 ПДК), Zn (2,1–4,3 ПДК), Ni (1,12 ПДК), Mn (2,3–2,6 ПДК), Co (1,3–1,5 ПДК), Cd (2,1–5,7 ПДК). Степень подвижности тяжелых металлов в почвах уменьшалась в ряду Pb → Co → Cd → Zn → Mn → Cu → Ni → Fe.

2. По степени загрязнения Zc изученные почвы относились к категории допустимой (Zc от 0,2 до 5,2), за исключением пробной площади 2, которая относилась к категории высокоопасной (Zc до 48,2). Уровень загрязнения почвенного покрова минимальный, а экологическая обстановка относительно удовлетворительная (Zc от 0,2 до 5,2), за исключением пробной площади 2, где уровень загрязнения высокий, а экологическая обстановка критическая (Zc до 48,2).

3. Растения *Cichorium intybus* L. загрязнены Ni, Cd, Fe, а концентрации Pb и Mn в растениях не превышали максимально допустимые уровни. Наиболее поглощаемыми элементами оказались Fe (254,7) и Cu (65,4), которые отнеслись к группе элементов энергичного накопления (I_A > 10); Ni (8,9), Pb (4,7), Zn (2,2), Cd (2,06), Co (1,1) и Mn (1,06) отнеслись к группе элементов сильного накопления (I_A 1–10). В растениях *Cichorium intybus* L. Cu, Fe, Ni, Mn, Cd, Co распределены по акропетальному (АК > 1,0), а Zn и Pb распределены по базипетальному типу (АК < 1,0). Величина биогеохимической активности в растении *Cichorium intybus* L. варьирует от 47,4 до 728,3.

Результаты проведенных исследований показали, что растения *Cichorium intybus* L. в изученных нами территориях загрязнены тяжелыми металлами (Ni, Cd, Fe, Zn, Co), в связи с этим на данных участках не рекомендуем сборы растительного сырья в качестве лекарственного фитоматериала.

Список литературы:

1. Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю., Грибальев О.В., Краснов Д.А., Бобров Д.Г., Осипенко О.А., Соловьева Н.И. Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала. II. Экологическое состояние антропогенно нарушенных территорий // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2002. Вып. 1 (№ 7). С. 63–71.

2. Найда Н.М. Морфоанатомические особенности вегетативных и генеративных органов цикория обыкновенного в условиях культуры // Известия Санкт-Петербургского государственного университета. 2019. № 1. С. 10–15.

бургского государственного аграрного университета. 2019. № 56. С. 11–19.

3. Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 10-е изд., испр. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 600 с.

4. Ефремов А.П. Лекарственные растения и грибы средней полосы России. М.: Фитон XXI, 2014. 504 с.

5. Куреннов И.П. Самые необходимые лекарственные растения. 4-е изд., испр. и доп. М.: Мартин, 2015. 224 с.

6. Фармакогнозия. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения: учеб. пособие / под ред. Г.П. Яковлева. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: Спец. лит., 2013. 847 с.

7. Baranowska I., Srogi K., Wlochowicz A., Szczepanik K. Determination of heavy metal contents in samples of medicinal herbs // Polish Journal of Environmental Studies. 2002. Vol. 11, № 5. P. 467–471.

8. Chizzola R., Michitsch H., Franz C. Monitoring of metallic micronutrients and heavy metals in herbs, spices and medicinal plants from Austria // European Food Research and Technology. 2003. Vol. 216. P. 407–411.

9. El-Rjoob A.O., Massadeh A.M., Omari M.N. Evaluation of Pb, Cu, Zn, Cd, Ni and Fe levels in *Rosmarinus officinalis labiatae* (Rosemary) medicinal plant and soils in selected zones in Jordan // Environmental Monitoring and Assessment. 2008. Vol. 140. P. 61–68. DOI: 10.1007/s10661-007-9847-3.

10. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 228 с.

11. Государственная фармакопея СССР. Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. 11-е изд., доп. М.: Медицина, 1991. 400 с.

12. Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.

13. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.

14. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.

15. Завальцева О.А. Основы биогеохимии. Ульяновск: УлГУ, 2012. 71 с.

16. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М., 1987. 4 с.

17. Алексеенко В.А., Бузмаков С.А., Панин М.С. Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. 359 с.

18. Ивлев А.М. Биогеохимия. М.: Высшая школа, 1986. 125 с.

19. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.

20. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.

21. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1996. 248 с.

22. Кириенко Н.Н., Терлеева П.С., Первышина Г.Г. Влияние автотранспортного загрязнения биотопа на биохимическую активность *Arctium lappa* и *Plantago major* // Вестник КрасГАУ. 2009. № 7. С. 70–72.

23. Сибгатуллина М.Ш., Александрова А.Б., Иванов Д.В., Валиев В.С. Оценка биогеохимического состояния травянистых растений и почв Волжско-Камского заповедника // Ученые записки Казанского университета, серия «Естественные науки». 2014. Т. 156, кн. 2. С. 87–102.

24. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1973. 424 с.

25. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Издательство «Самарский университет», 1998. 131 с.

26. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p>Бускунова Гульсина Гильмановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры естественных наук; Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного университета (г. Сибай, Республика Башкортостан, Российская Федерация). E-mail: gulsina_busk@mail.ru.</p> <p>Ягафарова Гульсина Азатовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры естественных наук; Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного университета (г. Сибай, Республика Башкортостан, Российская Федерация). E-mail: iagafarova-gul@mail.ru.</p>	<p>Buskunova Gulsina Gilmanovna, candidate of biological sciences, associate professor of Natural Sciences Department; Sibay Institute (Branch) of Bashkir State University (Sibay, Republic of Bashkortostan, Russian Federation). E-mail: gulsina_busk@mail.ru.</p> <p>Yagafarova Gulsina Azatovna, candidate of biological sciences, associate professor of Natural Sciences Department; Sibay Institute (Branch) of Bashkir State University (Sibay, Republic of Bashkortostan, Russian Federation). E-mail: iagafarova-gul@mail.ru.</p>

Для цитирования:

Бускунова Г.Г., Ягафарова Г.А. Тяжелые металлы в системе «почва – дикорастущее лекарственное растение» (на примере *Cichorium intybus* L.) // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 1. С. 36–42. DOI: 10.55355/snv2022111103.