

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-2-204-218

EDN: IENQLE

УДК 581.192.1

Научная статья / Research article

Накопление и распределение химических элементов в растениях *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. Wigg Забайкальского края

О.А. Лескова¹, Е.А. Бондаревич¹,
Н.Н. Коцюржинская¹, А.П. Лесков²

¹Читинская государственная медицинская академия, Чита, Российская Федерация

²Забайкальский государственный университет, Чита, Российская Федерация

leskova-olga@inbox.ru

Аннотация. Приведены данные по особенностям накопления некоторых химических элементов в почвах и органах *Taraxacum officinale*, произрастающего на территории Дульдургинского и Акшинского районов Забайкальского края. Содержание химических элементов в исследуемых образцах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа. Установлено, что в почвах Акшинского района содержание валовых и подвижных форм элементов выше, чем в пробах почв Дульдургинского района. По индексу геоаккумуляции почвы характеризовались как практически незагрязненные. По содержанию элементов в органах изучаемого вида в целом можно выстроить ряд: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Co > Pb. Расчет коэффициентов корневого барьера показал, что для Zn, Mn, Cu, Pb характерен барьерный тип накопления. Выявлены превышения ПДК (сухие овощи) в надземной и подземной частях растения по Zn и Cu, при этом превышение ПДК (для лекарственного сырья) по Pb не обнаружено.

Ключевые слова: лекарственное растение, тяжелые металлы, надземные и подземные органы, кларки

Вклад авторов. Лескова О.А. – разработка концепции, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, проведение статистического анализа; Бондаревич Е.А. – разработка концепции, ресурсное обеспечение исследования, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, проведение статистического анализа; Коцюржинская Н.Н. – разработка концепции, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта; Лесков А.П. – проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Лескова О.А., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Лесков А.П., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Читинской государственной медицинской академии. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

История статьи: поступила в редакцию 13.01.2025; доработана после рецензирования 25.01.2025; принята к публикации 23.02.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Лескова О.А., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Лесков А.П.* Накопление и распределение химических элементов в растениях *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. Wigg Забайкальского края // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 2. С. 204–218. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-2-204-218>

Accumulation and distribution of chemical elements in *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. plants. Wigg of the Transbaikal region

Olga A. Leskova¹, Evgeniy A. Bondarevich¹,
Natalia N. Kotsyurzhinskaya¹, Artem P. Leskov²

¹Chita State Medical Academy, Chita, Russian Federation

²Transbaikal State University, Chita, Russian Federation

leskova-olga@inbox.ru

Abstract. The study presents data on the peculiarities of accumulation of some chemical elements in soils and organs of *Taraxacum officinale* growing in Duldurginsky and Akshinsky districts of Transbaikal Territory. The content of chemical elements in the studied samples was determined by X-ray fluorescence analysis. It was found that the content of gross and mobile forms of elements in soils of Akshinsky district is higher than in soil samples of Duldurginsky district. According to geoaccumulation index soils were characterised as practically uncontaminated. According to the content of elements in the organs of the studied species as a whole it is possible to build a series: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Co > Pb. Calculation of root barrier coefficients showed that barrier type of accumulation is characteristic for Zn, Mn, Cu, Pb. Exceedances of MPC (dry vegetables) in the above-ground and underground parts of the plant for Zn and Cu were detected, while exceedances of MPC (for medicinal raw materials) for Pb were not detected.

Keywords: medicinal plant, heavy metals, above-ground and underground organs, clarks

Funding. This work was funded from the budget of the Chita State Medical Academy. No additional grants were received to conduct or supervise this particular study.

Authors' contribution. *Leskova O.A.* – conceptualisation, research, text preparation and editing, statistical analysis; *Bondarevich E.A.* – concept development, resource support of the study, conducting the study, preparation and editing of the text, conducting statistical analysis; *Kotsyurzhinskaya N.N.* – concept development, preparation and editing of the text, approval of the final version; *Leskov A.P.* – conducting the study, preparation and editing of the text, visualisation. All authors were familiarised with the final version of the article and approved it.

Article history: received 13.01.2025; revised 25.01.2025; accepted 23.02.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Leskova OA, Bondarevich EA, Kotsyurzhinskaya NN, Leskov AP. Accumulation and distribution of chemical elements in *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. plants. Wigg of the Transbaikal region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(2):204–218. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-2-204-218>

Введение

Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. Wigg) – многолетнее травянистое растение семейства сложноцветных. Лекарственным сырьем являются корни одуванчика, которые заготавливают ранней весной (апрель–май) или осенью (сентябрь – октябрь). Химический состав представлен тритерпеновыми соединениями, стеринами, витаминами А, В₁, В₂, С, смолами, углеводами (до 18 %). Биологически активные соединения одуванчика лекарственного обладают желчегонными, спазмолитическими, слабительными, снотворными, мочегонными свойствами. В медицине используются корни – для улучшения деятельности пищеварительного тракта, при лечении кожных заболеваний; листья – при гиповитаминозе, подагре, кожных заболеваниях¹.

Содержание химических элементов в растениях зависит как от биологических особенностей, так и от условий местообитания вида. При наличии техногенного загрязнения лекарственные растения могут накапливать токсикутанты в различных частях растения, в том числе и тех, которые используются в качестве лекарственного сырья. На изучаемой территории можно выделить ряд факторов, которые негативно влияют на дикорастущие лекарственные растения: загрязнение окружающей среды промышленными и сельскохозяйственными предприятиями, лесозаготовка, добыча и переработка полезных ископаемых [4].

Цель исследования – изучить особенности накопления и распределения некоторых химических элементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb) в растениях *Taraxacum officinale*.

Материалы и методы

Исследования проводились на территории Забайкальского края в Дульдургинском районе (окрестности с. Иля, белоберезовый остепненный лес с мерзлотно-таежными дерновыми почвами, Р 1) и в Акшинском районе (окрестности с. Курулга, сосново-лиственничный лес с мерзлотно-лугово-черноземными почвами, Р 2). Отбор проб растений для анализа проводили в стадию их цветения (июль 2021 г.). Отбирались здоровые, без внешних повреждений растения. В работе использовали надземную и подземную часть

¹ См.: [1–3]; Medicinal Plants in Mongolia. World Health Organization (WHO), Regional Office for the Western Pacific, 2014. 235 p.

T. officinale. Растения очищали от загрязнений, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде и сушили до воздушно-сухого состояния. Образцы почв отбирали на месте произрастания растений на глубине 0–20 см, очищали от крупных примесей, просеивали и составляли смешанную пробу для проведения химического анализа.

Определение микроэлементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb) в почве (валовое содержание и подвижные формы) и растительных образцах выполнено методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano, Germany) после предварительного разложения почв смесью минеральных кислот или экстракции подвижных форм аммонийно-ацетатным буферным раствором (рН = 4,7), растений – после озоления проб в муфельной печи и последующего разложения золы концентрированными кислотами и перекисью водорода.

Оценку степени загрязненности почв проводили по индексу геоаккумуляции (I_{geo}) [5]:

$$I_{geo} = \log_2 [C_m / 1,5 \cdot B_m],$$

где B_m – фоновая концентрация элемента в почве по А.П. Виноградову (см. [6]); C_m – измеренная концентрация химического элемента в почве; 1,5 – коэффициент коррекции, позволяющий анализировать естественные отклонения в содержании элемента в природе и снижать антропогенное влияние. Градация интенсивности загрязнения имеет следующее шкалирование: <0 – практически незагрязненная, >0–1 – от незагрязненной до умеренной, >1–2 – умеренная, >2–3 – от умеренной до сильной, >3–4 – сильная, >4–5 – от сильной до очень сильной, >5 – очень сильная [5].

Для оценки степени накопления химических элементов в растительных образцах рассчитан коэффициент корневого барьера ($K_{кб}$) – отношение величин содержания элементов в корне растения и надземных органах. Величины ПДК и ориентировочных допустимых концентраций ОДК для почв приведены в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Полученные данные были подвергнуты обработке методами описательной статистики с помощью пакета Microsoft Excel 2010 и PAST 3.25 [7].

Результаты и обсуждение

Почвы исследованных районов – мерзлотно-таежные дерновые и мерзлотные лугово-черноземные, характеризуются низким содержанием гумуса (табл. 1). Кислотность почв близка к нейтральной. Как видно из приведенных данных, содержание валовых и подвижных форм Mn, Fe, Co, Ni и Zn на территории Акшинского района выше, чем на территории Дульдургинского, однако их количества не превышали величины предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочных допустимых концентраций (ОДК).

Выявлено превышение кларка для почв Акшинского района по Mn, Zn, Co и Pb. Количества Fe, Ni, Cu значительно ниже кларковых значений. По величине индекса геоаккумуляции все пробы почв характеризовались как практически незагрязненные (табл. 1).

Таблица 1. Содержание химических элементов в почве районов исследования (мг/кг) и индекс геоаккумуляции (I_{geo}) по валовому содержанию микроэлементов

Показатели	pH	Гумус, %	Микроэлементы						
			Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
<i>Валовые формы</i>									
P 1	7,20	3,15	279,2	6927,9	0,2	3,6	5,7	24,6	20,8
I_{geo}			-2,2	-3,1	-5,6	-4,1	-2,4	-1,6	0,5
P 2	7,24	3,76	1172,3	7560,6	11,7	18,4	1,5	155,1	10,2
I_{geo}			-0,1	-2,9	-0,03	-1,7	-4,3	1,1	-0,6
<i>Подвижные формы</i>									
P 1	7,20	3,15	0,2	6,5	0,1	0,2	0,2	2,9	1,2
P 2	7,24	3,76	69,8	243,4	0,2	3,9	0,1	3,1	0,8
Кларк почв Земли [6]			850,0	38000,0	8,0	40,0	20,0	50,0	10,0
ПДК	ВФ		1500	-	-	-	-	-	-
			-	-	80,0	132,0	220,0	130,0	
ОДК ¹	ПФ		100	-	5,0	4,0	3,0	23,0	6,0
			-	-	-	-	-	-	-

Примечание. ¹ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Постановление от 28 января 2021 года № 2 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 25.12.2024).

Источник: составлено О.А. Лесковой, Е.А. Бондаревичем, Н.Н. Котсюржинской, А.П. Лесковым

Table 1. Content of chemical elements in the soil of the study areas (mg/kg) and geoaccumulation index (I_{geo}) by gross content of trace elements

Indicators	pH	Humus, %	Micronutrients						
			Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
<i>Gross forms</i>									
P 1	7.20	3.15	279.2	6927.9	0.2	3.6	5.7	24.6	20.8
I_{geo}			-2.2	-3.1	-5.6	-4.1	-2.4	-1.6	0.5
P 2	7.24	3.76	1172.3	7560.6	11.7	18.4	1.5	155.1	10.2
I_{geo}			-0.1	-2.9	-0.03	-1.7	-4.3	1.1	-0.6
<i>Movable forms</i>									
P 1	7.20	3.15	0.2	6.5	0.1	0.2	0.2	2.9	1.2
P 2	7.24	3.76	69.8	243.4	0.2	3.9	0.1	3.1	0.8
Clark Earth Soils [6]			850.0	38000.0	8.0	40.0	20.0	50.0	10.0
MPC	WF		1500	-	-	-	-	-	-
			-	-	80.0	132.0	220.0	130.0	
APC ¹	PF		100	-	5.0	4.0	3.0	23.0	6.0
			-	-	-	-	-	-	-

Note. ¹ SanPiN 1.2.3685-21 "Hygiene standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness to human factors of habitat". Decree dated on January 28, 2021 No. 2. *Electronic fund for legal and regulatory documents*. (In Russ.). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed: 25.12.2024).

Source: compiled by O.A. Leskova, E.A. Bondarevich, N.N. Kotsyurzhinskaya, A.P. Leskov.

На химический состав растений одновременно оказывают влияние разные факторы: pH, механический состав, тип почвы, видовая специфичность растения, наличие развитых барьерных механизмов и др. Среди изучаемых микроэлементов в надземной и подземной частях одуванчика лекарственного наибольшие значения зафиксированы для железа (табл. 2). Известно, что железо необходимо растениям для процесса фотосинтеза, осуществления

окислительно-восстановительных реакций [8]. Количество данного элемента в растениях может варьировать в широких пределах (18–1000 мг/кг сухой массы) [9]. В нашем случае максимальное содержание отмечено в соцветиях одуванчика с Р 2 – 1697,9 мг/кг. Необходимо отметить достаточно высокие концентрации подвижных форм железа в почвах Акшинского района, которая характеризуется максимальной биодоступностью. Количество Fe во всех органах исследуемого растения превышало кларк для наземных растений в 1,3–18 раз. Оценивая содержание железа в изучаемом виде, произрастающего на территории России, выявлено, что вид с территории Забайкальского края концентрирует элемент в меньшей степени. Так, максимальное содержание данного элемента в одуванчике отмечалось в Свердловской области (256,8–3306,50 мг/кг) [10], тогда как в условиях Забайкальского края пределы варьирования концентрации существенно меньшие (378,4–631,3 мг/кг) (табл. 2).

По количественному содержанию в растениях *T. officinale* второе место принадлежало цинку, что обусловлено его высокой биологической активностью, так как ионы элемента принимают участие в образовании хлорофилла, активации ферментов, стабилизации структуры ДНК [8; 12]. По этой причине растения активно поглощают цинк из окружающей среды и создают его резервы.

Таблица 2. Среднее содержание химических элементов в надземной и подземной частях *T. officinale*, мг/кг сухой массы

Пункты отбора и нормирующие показатели	Микроэлементы						
	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
<i>Корни</i>							
Р 1	40,1	631,3	0,5	3,3	24,2	125,8	0,5
Р 2	34,9	378,4	0,5	4,9	16,9	51,0	0,3
<i>Листья</i>							
Р 1	52,4	686,6	0,9	3,9	11,5	73,1	0,4
Р 2	14,9	405,9	0,4	7,3	4,8	11,4	0,2
<i>Цветоносы</i>							
Р 1	13,7	186,8	0,7	1,0	7,1	36,4	0,4
Р 2	21,8	856,3	0,6	19,2	14,2	43,1	0,3
<i>Соцветия</i>							
Р 1	30,8	229,9	0,8	1,5	3,5	68,4	0,4
Р 2	74,5	1697,9	0,8	19,7	8,7	24,9	0,6
Кларк наземных растений [12]	630,0	140,0	0,5	3,0	14,0	100,0	2,7
ПДК для БАД ²	–	–	–	–	–	–	6,0
ПДК для сухих овощей ³	–	–	–	–	5,0	10,0	–

Источник: составлено О.А. Лесковой, Е.А. Бондаревичем, Н.Н. Коцюржинской, А.П. Лесковым.

² СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Москва, 2001. 269 с.

³ Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах (СанПиН 42-123-4089-86). Москва, 1986. 182 с.

Table 2. Average content of chemical elements in above-ground and underground parts of *T. officinale*, mg/kg dry weight

Sampling points and standardising indicators	Micronutrients						
	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
<i>Roots</i>							
P 1	40.1	631.3	0.5	3.3	24.2	125.8	0.5
P 2	34.9	378.4	0.5	4.9	16.9	51.0	0.3
<i>Leaves</i>							
P 1	52.4	686.6	0.9	3.9	11.5	73.1	0.4
P 2	14.9	405.9	0.4	7.3	4.8	11.4	0.2
<i>Flower stalks</i>							
P 1	13.7	186.8	0.7	1.0	7.1	36.4	0.4
P 2	21.8	856.3	0.6	19.2	14.2	43.1	0.3
<i>Inflorescences</i>							
P 1	30.8	229.9	0.8	1.5	3.5	68.4	0.4
P 2	74.5	1697.9	0.8	19.7	8.7	24.9	0.6
Clark terrestrial plants [12]	630.0	140.0	0.5	3.0	14.0	100.0	2.7
MPC for dietary supplements ⁴	–	–	–	–	–	–	6.0
MPC for dried vegetables ⁵	–	–	–	–	5.0	10.0	–

Source: compiled by O.A. Leskova, E.A. Bondarevich, N.N. Kotsyurzhinskaya, A.P. Leskov.

Из изученных химических элементов Zn наиболее растворим в почвах, и чем больше концентрация элемента, тем активнее растения его поглощают. Содержание данного элемента в фитомассе травянистых растений колеблется от 12 до 47 мг/кг [9]. В нашем эксперименте максимальные количества обнаружены в корнях растения с Р 1 – 125,8 мг/кг, при этом превышение кларка наземных растений не зафиксировано. Обнаружены превышения ПДК по Zn (для сухих овощей) для всех органов *T. officinale*. Установлено, что по сравнению с аналогичным видом, произрастающим на других территориях Российской Федерации, *T. officinale* содержит либо такое же количество микроэлемента – Новосибирская (125,60 мг/кг) [13] и Воронежская области (20,17–97,47 мг/кг) [14; 15], либо вариация содержания была меньшей – Свердловская (11,72–40,75 мг/кг) [10] и Кемеровская (6,29–11,1 мг/кг) области [16].

На третьем месте по количественному содержанию в наземной и подземной фитомассе растения находился марганец. Данный элемент принимает участие в активации ферментов, синтезе аскорбиновой кислоты и танинов [17]. Для Mn характерна высокая подвижность по растению в связи с преобладанием его низкомолекулярных подвижных форм, не связанных с клеточными структурами [9]. Содержание элемента может колебаться в широких пределах: 7–334 мг/кг [9]. В исследуемом виде максимальные концентрации зафиксированы для соцветия с Р 2 – 74,5 мг/кг. Превышение кларка наземных растений не выявлено. В нашем исследовании в подземной части растения отмечен более высокий уровень содержания данного элемента

⁴ СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Москва, 2001. 269 с.

⁵ Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах (СанПиН 42-123-4089-86). Москва, 1986. 182 с.

(34,9–40,1 мг/кг) по сравнению с аналогичным видом, произрастающим на территории Кемеровской области (26,0–30,2 мг/кг) [16].

Медь принимает участие в процессе фотосинтеза, дыхания, ее содержание в растениях колеблется в пределах 6,4–16,4 мг/кг [9]. При определении количества Си зафиксировано максимальное значение в корнях с Р 1 – 24,2 мг/кг, в подземной фитомассе растения Си больше, чем в надземной. Известно, что передвижение Си в надземные органы ограничено за счет связывания веществами клеточной стенки [9]. Некоторые авторы указывают на высокую накопительную способность по отношению Си в корнях одуванчика лекарственного [10; 18]. Обнаружено превышение ПДК по Си для сухих овощей для всех органов изучаемого вида. Превышение кларка наземных растений отмечено для корней одуванчика лекарственного в 1,21 и 1,73 раза. При изучении содержания элемента у данного вида, произрастающего в других регионах, выявлено, что в Забайкалье концентрация микроэлемента меньше, чем в корнях одуванчика, произрастающего в Свердловской области (11,65–95,02 мг/кг) [10], но больше, чем у растений, произрастающих на территории Кемеровской (5,73–9,51 мг/кг) [16], Воронежской (4,17–14,63 мг/кг) [14; 15] и Новосибирской (2,37–3,33 мг/кг) [13] областей.

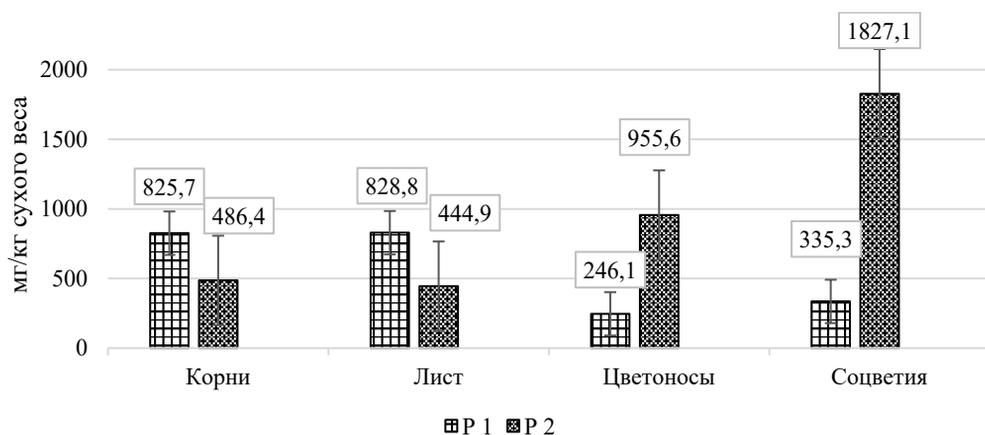
Никель принимает участие в организации пространственной структуры нуклеиновых кислот [19; 20]. Содержание никеля колеблется от 0,1 до 1,7 мг/кг [10]. Нами установлены максимальные значения для соцветия *T. officinale*, собранного в Р 2 – 19,7 мг/кг. Превышение кларка наземных растений зафиксировано для наземной и подземной частей растения, произрастающего в Акшинском районе. При изучении содержания никеля в корнях одуванчика, обитающего на территории Забайкальского края, обнаружено достаточно высокое содержание элемента (3,3–4,98 мг/кг), что больше, чем у видов с территории Кемеровской (1,87–3,15 мг/кг) [16], Воронежской (0,67–4,14 мг/кг) [14; 15] и меньше, чем у растений с территории Новосибирской (19,0–17,2 мг/кг) [13] областей. Известно, что соли никеля в почвах находятся в растворенном состоянии, но в растение поступают небольшие концентрации элемента, что, вероятно, связано с выработкой физиологического барьера к накоплению [14].

Наименьшие концентрации среди изучаемых металлов отмечены для *кобальта* и *свинца*. Кобальт участвует в окислительно-восстановительных реакциях, способствует повышению концентрации пигментов в листьях [18]. Среднее содержание элемента в травянистых растениях 0,03–0,27 мг/кг [10]. Максимальные значения зафиксированы в листьях *T. officinale* в Р 2 – 0,9 мг/кг. Данный химический элемент в наибольшем количестве содержался в надземной фитомассе изучаемого вида, при этом превышение кларка для наземных растений незначительное. При изучении количества элемента в корнях вида с различных территорий России можно отметить примерно одинаково низкие концентрации кобальта (от 0,4 до 0,56 мг/кг)

за исключением вида, обитающего на территории Воронежской области (4,90–14,81 мг/кг) [14; 15].

Превышений пределов колебаний содержания свинца в растениях из незагрязненных регионов мира (0,1–10,0 мг/кг) [9] для исследуемых пунктов исследования не зафиксировано. Максимальные концентрации свинца (0,6 мг/кг) обнаружены в соцветиях растений Акшинского района (Р 2). Распределение данного элемента по растению относительно равномерное. Превышения содержания микроэлемента по кларку для наземных растений и по величине ПДК свинца (6 мг/кг) для лекарственных растений не выявлено⁶. Следует отметить незначительную концентрацию элемента в корнях *T. officinale*, произрастающего на изучаемых территориях (от 0,3 до 2,86 мг/кг). Известно, что Pb среди тяжелых металлов наименее подвижен и находится в труднорастворимой и часто мало доступной для растений форме [19; 21]. Связи между содержанием элемента в почве и образцах *T. officinale* не обнаружено, что, вероятно, связано с биологическими и физиологическими особенностями вида. В целом, анализируя полученные данные, можно выстроить следующую последовательность накопления химических элементов: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Co > Pb.

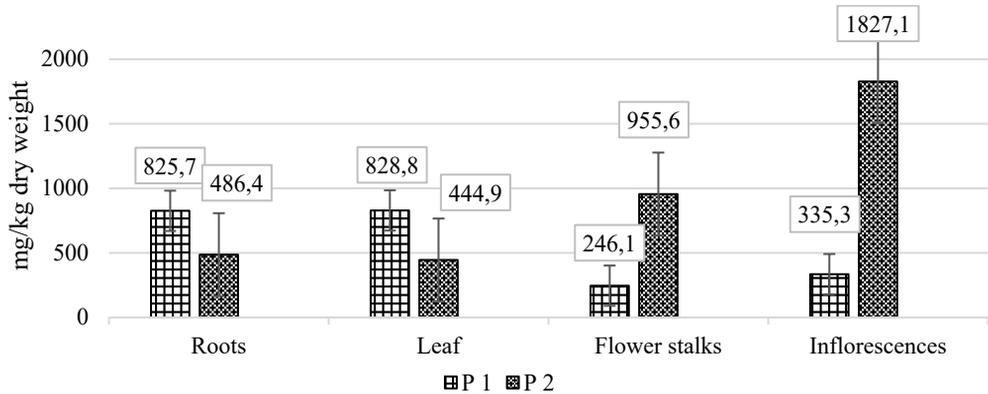
По суммарному содержанию химических элементов в органах *T. officinale* можно отметить максимальные значения в соцветиях Р 2, при этом вклад железа в этот показатель более 90 %. Наименьшее суммарное количество микроэлементов фиксировалось для цветоносов Р 1, однако вклад содержания железа был более 75 % (рис.).



Суммарное содержание исследуемых химических элементов в одуванчике лекарственном, мг/кг

Источник: составлено О.А. Лесковой, Е.А. Бондаревичем, Н.Н. Коцюржинской, А.П. Лесковым.

⁶ ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. URL: <http://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0009-15-opredelenie-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennyh-rastitelnyh-preparatah/> (дата обращения: 18.12.2024).



Total content of the studied chemical elements in dandelion medicinal, mg/kg

Source: compiled by O.A. Leskova, E.A. Bondarevich, N.N. Kotsyurzhinskaya, A.P. Leskov.

Концентрация химических элементов связана с видовыми особенностями, наличием физиологических барьеров в системе «корень – лист, лист – стебель, стебель – цветонос». Значения $K_{кб} > 1$ свидетельствуют о наличии барьера при поступлении элементов в надземную фитомассу [23]. В проведенном исследовании расчет коэффициентов корневого барьера показал, что барьерный тип накопления выявлен для *T. officinale* по Zn, Cu, Pb и Mn (табл. 3). Для цветоносов одуванчика лекарственного, произрастающего в Дульдургинском районе для всех элементов $K_{кб} > 1$; в этом же районе отмечены наименьшие суммарные значения химических элементов в цветоносах (рис. 1).

Таблица 3. Коэффициент корневого барьера в растениях *T. officinale*

Пункт	Микроэлементы						
	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
<i>Листья</i>							
P 1	0,8	0,9	0,6	1,0	2,1	1,7	1,3
P 2	2,3	0,9	1,3	0,7	3,5	4,5	1,5
<i>Цветоносы</i>							
P 1	2,9	3,4	0,7	3,3	3,4	3,5	1,3
P 2	1,6	0,4	0,8	0,2	1,2	1,2	1,0
<i>Соцветия</i>							
P 1	1,3	2,8	0,6	2,2	6,9	1,8	1,3
P 2	0,5	0,2	0,6	0,3	1,9	2,1	0,5

Источник: составлено О.А. Лесковой, Е.А. Бондаревичем, Н.Н. Коцюржинской, А.П. Лесковым.

Table 3. Root barrier coefficient in *T. officinale* plants

Item	Micronutrients						
	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
<i>Leaves</i>							
P 1	0.8	0.9	0.6	1.0	2.1	1.7	1.3
P 2	2.3	0.9	1.3	0.7	3.5	4.5	1.5
<i>Flower stalks</i>							
P 1	2.9	3.4	0.7	3.3	3.4	3.5	1.3
P 2	1.6	0.4	0.8	0.2	1.2	1.2	1.0
<i>Inflorescences</i>							
P 1	1.3	2.8	0.6	2.2	6.9	1.8	1.3
P 2	0.5	0.2	0.6	0.3	1.9	2.1	0.5

Source: compiled by O.A. Leskova, E.A. Bondarevich, N.N. Kotsyurzhinskaya, A.P. Leskov.

Для цветоносов и соцветий одуванчика лекарственного с Акшинского района (Р 2) отмечен коэффициент корневого барьера ниже единицы для Mn, Fe, Co, Ni, что указывает на безбарьерный переход элементов из подземных органов в надземные. Известно, что уровень содержания химических элементов в надземной фитомассе определяется видовыми особенностями растения, степенью подвижности элементов в почве, которая зависит от кислотности основных и окислительно-восстановительных свойств [23].

Выводы

1. В результате проведенных исследований были определены содержания Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb в почвах и растении *T. officinale*, произрастающем на территории Забайкальского края. Содержание валовых и подвижных форм химических элементов в почвах не превышает ПДК и ОДК. По величине индекса геоаккумуляции почвы исследованных территорий относятся к практически незагрязненным.

2. Количество химических элементов в растениях разных районов края значительно отличаются. В целом можно выстроить ряд по количественному содержанию элементов в органах изучаемого вида: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Co > Pb.

3. Для одуванчика лекарственного, произрастающего на территории края, можно отметить большие концентрации Mn, Zn, Cu, чем у аналогичного вида, произрастающего в других регионах России, и меньшие концентрации по Co и Pb.

4. Концентрация Fe и Ni у *T. officinale* пунктов исследования больше величины кларка для наземных растений, а Mn и Pb – меньше этого нормирующего показателя.

5. Обнаружены превышения ПДК по Zn и Cu для сухих овощей в надземной и подземной фитомассе растения. Превышения ПДК по Pb для лекарственных растений и БАД не зафиксировано.

6. Расчет коэффициента корневого барьера показал, что для Zn, Mn, Cu и Pb характерен барьерный тип поступления и накопления в органах и тканях *T. officinale* в условиях лесостепных районов Забайкалья.

Список литературы

- [1] Akbar S. Handbook of 200 Medicinal Plants. *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. Wigg (Asteraceae/Compositae). Springer, 2020. P. 1743–1751. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16807-0_180
- [2] Рабинович М.И. Лекарственные растения в ветеринарной практике. Москва : Агропроиздат, 1987. 288 с.
- [3] Шмерко Е.П. Мазан И.Ф. Практическая фитотерапия. Минск : Лечприрода, 1996. 640.
- [4] Чудновская Г.В. Роль эколого-биологических характеристик лекарственных растений Восточного Забайкалья в оценке продуктивности их сырья // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. 2013. № 24 (167). С. 57–65. EDN: SCEOKV

- [5] Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2017. 436 с.
- [6] *Алексеевко В.А., Алексеевко А.В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2013. 388 с. EDN: ТТОХIV
- [7] *Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D.* 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*, 2001. Vol. 4, no. 1. P. 1–9. URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (accessed: 25.12.2024).
- [8] *Панченко Л.Ф., Маев И.В., Гуревич К.Г.* Клиническая биохимия микроэлементов. Москва : ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2004. 368. EDN: QKMНYZ
- [9] *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях / пер с англ. Москва : Мир, 1989. 439 с.
- [10] *Жуйкова Т.В., Зиннатова Э.Р.* Аккумулирующая способность растений в условиях техногенного загрязнения почв тяжёлыми металлами // *Поволжский экологический журнал*. 2014. № 2. С. 196–207. EDN: SMZDGZ
- [11] *Воткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.И., Прохоров В.Г.* Справочник по геохимии. Москва : Недра, 1990. 480 с.
- [12] *Дьякова Н.А.* Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем полыни горькой // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 445–453. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453> EDN: TELUNC
- [13] *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: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22706> (дата обращения: 18.12.2024). EDN: YTIHTG
- [14] *Дьякова Н. А.* Изучение особенностей накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье синантропной флоры Воронежской области // *Химия растительного сырья*. 2023. № 2. С. 163–170. <https://doi.org/10.14258/jcprtm.20230211725> EDN: ZWJEZY
- [15] *Дьякова Н.А.* Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье одуванчика лекарственного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 2021. Т. 24, № 3. С. 49–55. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-07> EDN: TGLLAO
- [16] *Егорова И.Н.* Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в сырьевых лекарственных растениях Кемеровской области: автореф. дис... канд. биол. наук. Специальность: 03.02.08 – экология. Томск, 2010. 21 с. EDN: QGTQGV
- [17] *Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Убузунев Л.Л.* Содержание микроэлементов в лекарственных растениях разных экосистем озера Котокельское (Западное Забайкалье) // *Химия растительного сырья*. 2016. № 2. С. 53–59. EDN: WKTYXB
- [18] *Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М.* Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам / *Институт биологии КарНЦ РАН*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 77 с. EDN: QKUKXZ
- [19] *Протасова Н.А., Горбунова Н.С.* Формы соединений никеля, свинца и кадмия в черноземах Центрально-Черноземного региона // *Агрохимия*. 2006. № 8. С. 68–76. EDN: HVIXWD

- [20] Кашин В.К. Условно необходимые микроэлементы в лекарственных растениях Забайкалья // Химия в интересах устойчивого развития. 2011. Т. 19, № 3. С. 259–266. EDN: NWYNXJ
- [21] Ельчишинова О.А., Пузанов А.В., Рождественская Т.А. Биогеохимия свинца в горном Алтае // Ползуновский вестник, 2011. № 4-2. С. 122–125. EDN: OIJBVX
- [22] Афанасьева Л.В., Аюшина Т.А. Накопление и распределение микроэлементов в растениях *Arctostaphylos uva-ursi* // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 123–128. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2018033718> EDN: VABOZI
- [23] Афанасьева Л.В., Кашин В.К. Содержание элементов в растениях *Vaccinium uliginosum* L., произрастающих в Южном Прибайкалье // Химия растительного сырья, 2013. № 2. С. 195–200. EDN: RCVKVZ

References

- [1] Akbar S. *Handbook of 200 Medicinal Plants. Taraxacum officinale (L.) Weber ex F.H. Wigg (Asteraceae/Compositae)*. Springer; 2020. p. 1743–1751. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16807-0_180
- [2] Rabinovich MI. *Medicinal plants in veterinary practice*. Moscow: Agropromizdat publ.; 1987. 288 p. (In Russ.).
- [3] Shmerko EP, Mazan IF. *Practical phytotherapy*. Minsk: Lechpriroda publ.; 1996. (In Russ.).
- [4] Chudnovskaya GV. The role of ecological and biological characteristics of medicinal plants of Eastern Transbaikalia in assessing the productivity of their raw materials. *Belgorod State University Scientific Bulletin Natural Sciences*. Natural Sciences. 2013;(24):57–65. (In Russ.). EDN: SCEOKV
- [5] Rikhvanov LP. (ed.) *Biogeochemical monitoring of tailings of mining industry, taking into account microbiological factors of the mineral component transformation*. Novosibirsk: SB RAS publ.; 2017. 437 p. (In Russ.).
- [6] Alekseenko VA, Alekseenko AV. *Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of residential landscapes*. Rostov-on-Don: Southern Federal University; 2013. (In Russ.). EDN: TTOXIV
- [7] Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1–9. Available from: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (accessed: 25.12.2024).
- [8] Panchenko LF, Maev IV, Gurevich KG. *Clinical biochemistry of microelements*. Moscow: GOU VUNMTS MZ RF ; 2004. (In Russ.). EDN: QKMHYZ
- [9] Kabata-Pendias A, Pendias H. *Microelements in soils and plants*. Moscow: Mir publ.; 1989. (In Russ.).
- [10] Zhuykova TV, Zinnatova ER. Accumulating capability of plants in areas anthropogenically polluted with heavy metals. *Povolzhskii Ekologicheskii Zhurnal [Volga Region Environmental Journal]*. 2014;(2):196–207. (In Russ.). EDN: SMZDGZ
- [11] Votkevich GV, Kokin AV, Miroshnikov AI, Prokhorov VG. *Handbook of geochemistry*. Moscow: Nedra publ.; 1990. 480 p. (In Russ.).
- [12] Dyakova NA. Accumulation of heavy metals and arsenic by medicinal plant raw material of bitter hollow. *Izvestiya of Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2020;20(4):445–452. (In Russ.). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453> EDN: TELUNC
- [13] Myadelets MA, Siromlya TI. Features of the ecological state of the soil and vegetation cover along highways and in recreational areas of Novosibirsk. *Modern problems of science and education*. 2015;(5). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22706> (date accessed: 12/18/2024). (In Russ.). EDN: YTIHTG

- [14] Dyakova NA. Study of peculiarities of accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of synanthropic flora of Voronezh region. *Chemistry of plant raw materials*. 2023;(2):163–170. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211725> EDN: ZWJEZY
- [15] Dyakova NA. Features of accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of dandelion of medicinal collected in urb- and agrobiocenoses of Voronezh region. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2021;24(3):49–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-07> EDN: TGLLAO
- [16] Egorova IN. *Content of heavy metals and radionuclides in raw medicinal plants of the Kemerovo region* (abstract of the dissertation). Tomsk; 2010. (In Russ.). EDN: QGTQGV
- [17] Sosorova SB, Merkusheva MG, Ubugunov LL. Content of trace elements in medicinal plants of different ecosystems of Lake Kotokelskoye (Western Transbaikalia). *Chemistry of plant raw materials*. 2016;(2):53–59. (In Russ.). EDN: WKTYXB
- [18] Titov AF, Talanova VV, Kaznina NM. *Physiological bases of plant resistance to heavy metals*. Petrozavodsk: Institute of Biology Karelian Research Center, RAS; 2011. 77 p. (In Russ.). EDN: QKUKXZ
- [19] Protasova NA, Gorbunova NS. Nickel, lead, and cadmium forms in chernozems of the central chernozem zone. *Agrochemistry*. 2006;(8):68–76. (In Russ.). EDN: HVIXWD
- [20] Kashin VK. Conditionally necessary microelements in the medicinal herbs of Transbaikalia. *Chemistry for Sustainable Development*. 2011;19:259–266. (In Russ.). EDN: NWYNXJ
- [21] Elchininova OA, Puzanov AV, Rozhdestvenskaya TA. Biogeochemistry of lead in the Altai Mountains. *Polzunovskiy Vestnik*. 2011;(4-2):122–125. (In Russ.). EDN: OIJBIX
- [22] Afanasyeva LV, Ayushina TA. Accumulation and distribution of trace elements in *Arctostaphylos uva-ursi* plants. *Chemistry of plant raw materials*. 2018;(3):123–128. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018033718> EDN: VABOZI
- [23] Afanasyeva LV, Kashin VK. Content of elements in *Vaccinium uliginosum* L. plants growing in the Southern Baikal region. *Chemistry of plant raw materials*. 2013;(2):195–200. EDN: RCYKVZ (In Russ.).

Сведения об авторах:

Лескова Ольга Александровна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры химии и биохимии, Читинская государственная медицинская академия, Российская Федерация, 672000, г. Чита, ул. Горького, д. 39а. ORCID: 0000-0001-9565-3546; eLIBRARY SPIN-код: 5811-9793. E-mail: leskova-olga@inbox.ru

Бондаревич Евгений Александрович, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры химии и биохимии, Читинская государственная медицинская академия, Российская Федерация, 672000, г. Чита, ул. Горького, д. 39а. ORCID: 0000-0002-0032-3155; eLIBRARY SPIN-код: 2664-0626. E-mail: bondarevich84@mail.ru

Коцюржинская Наталья Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой химии и биохимии, Читинская государственная медицинская академия, Российская Федерация, 672000, г. Чита, ул. Горького, д. 39а. ORCID: 0000-0003-0061-8014; eLIBRARY SPIN-код: 9009-1380. E-mail: nata_nik_k@mail.ru

Лесков Артём Петрович, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биологии, химии и методики их обучения, Забайкальский государственный университет, Российская Федерация, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, д. 30. ORCID: 0000-0002-4158-5952; eLIBRARY SPIN-код: 6790-8613. E-mail: leskova-olga@inbox.ru

Bio notes:

Olga A. Leskova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biochemistry, Chita State Medical Academy, 39a St. Gorky, Chita, 672000, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9565-3546; eLIBRARY SPIN-code: 5811-9793. E-mail: leskova-olga@inbox.ru

Evgeniy A. Bondarevich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biochemistry, Chita State Medical Academy, 39a St. Gorky, Chita, 672000, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0032-3155; eLIBRARY SPIN-code: 2664-0626. E-mail: bondarevich84@mail.ru

Natalia N. Kotsyurzhinskaya, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Biochemistry, Chita State Medical Academy, 39a Gorky St, Chita, 672000, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0061-8014; eLIBRARY SPIN-code: 9009-1380. E-mail: nata_nik_k@mail.ru

Artem P. Leskov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biology, Chemistry and Methods of Their Education, Transbaikalian State University, 30 Alexandro-Zavodskaya St, Chita, 672039, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4158-5952; eLIBRARY SPIN-code: 6790-8613. E-mail: leskova-olga@inbox.ru