

УДК 581.5:504.53

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ *INULA HELENIUM* L.
В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**FEATURES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS *INULA HELENIUM* L.
IN THE CONDITIONS OF MODERATE TECHNOGENIC POLLUTION**

А. Я. Тамахина, Ж. Р. Локьяева

A. Ya. Tamakhina, Zh. R. Lokyayeva

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова», г. Нальчик

Аннотация. В статье представлены результаты анализа содержания тяжелых металлов в фитомассе девясила высокого (*Inula helenium* L.). Накопление меди, кадмия и свинца в надземной фитомассе растения выше, чем в корневищах и корнях. Аккумуляция меди и цинка фитомассой *Inula helenium* L. высокая на слабокислых и нейтральных почвах. Основным источником загрязнения надземной фитомассы свинцом является фолитарное поступление металла. Специфической особенностью *Inula helenium* L. является сверхаккумуляция кадмия надземной фитомассой. На почвах со слабым и умеренным загрязнением тяжелыми металлами корневища с корнями *Inula helenium* L. аккумулируют медь, цинк, свинец и кадмий в значительно меньшей степени, чем надземная фитомасса, но в пределах предельно допустимой концентрации (ПДК). Кабардино-Балкарскую Республику можно считать перспективной территорией для заготовки экологически безопасного сырья *Inula helenium* L.

Abstract. The article presents the results of the analysis of the content of heavy metals in the phytomass of *Inula helenium* L. The accumulation of copper, cadmium and lead in elevated phytomass is higher than in rhizomes and roots. The accumulation of copper and zinc in phytomass of *Inula helenium* L. increases on subacidic and neutral soils. The main source of pollution of elevated phytomass with lead is aerial contamination. The specific feature of *Inula helenium* L. is cadmium superaccumulation in elevated phytomass. On soils with weak and moderate pollution with heavy metals of a rhizome with roots of *Inula helenium* L. accumulate copper, zinc, lead and cadmium in much smaller degree, than elevated phytomass, but it is within maximum concentration limit. The Kabardino-Balkaria Republic can be considered an advantageous territory for preparation of environmentally safe raw materials of *Inula helenium* L.

Ключевые слова: *Inula helenium* L., тяжелые металлы, техногенное загрязнение, биологическое накопление.

Keywords: *Inula helenium* L., heavy metals, technogenic pollution, biological accumulation.

Актуальность исследуемой проблемы. Девясил высокий (*Inula helenium* L.) широко применяется в медицинской и ветеринарной практике, в консервной, рыбной, ликеро-водочной, парфюмерно-косметической промышленности, перспективен для заготовки высококачественных силосов. В корневищах и корнях девясила содержатся инулин (до 44 %), эфирные масла (до 3 %), а в зеленой массе – эфирные масла, витамины, дубильные вещества, антроценпроизводные, сапонины, фенолгликозиды, микроэлементы. В центральной части Северного Кавказа девясил высокий распространен в плоскостной зоне, предгорном и среднегорном поясах, являясь индикатором умеренно увлажненных лугов

[6]. Широкое применение девясила высокого делает актуальным исследование экологической чистоты его сырья, а также выяснение характера накопления тяжелых металлов подземной и надземной фитомассой в условиях техногенного загрязнения. К настоящему времени имеются сведения о накоплении девясилом высоким тяжелых металлов в различных геохимических условиях. Так, установлена способность растения выступать сверхконцентратором цинка при минимальном его содержании в почве и меди – при повышении влажности почвы [11], [2]. Показано, что содержание меди и цинка в надземной фитомассе девясила выше, чем в корневищах и корнях, а фолиарное поступление тяжелых металлов в листья растет в ряду *цинк* → *медь* → *свинец* [11]. Отмечена способность девясила высокого в повышенных количествах накапливать кадмий при его низком содержании в почве [1], [8]. В условиях высокого техногенного загрязнения почвы кадмием данный металл накапливается в корневищах и корнях девясила [10].

Аккумуляция девясилом высоким тяжелых металлов в условиях Кабардино-Балкарской Республики мало изучена. Основными источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (свинец, цинк, кадмий и медь) здесь являются промышленные предприятия, автотранспортные средства, коммунальное хозяйство. Максимальное количество свинца, цинка, кадмия обнаружено в черте городов Нальчик, Чегем, Баксан [3]. Таким образом, изучение особенностей накопления и усвоения тяжелых металлов (свинца, меди, цинка, кадмия) надземной и подземной фитомассой девясила высокого на территории Кабардино-Балкарской Республики является актуальным.

Материал и методика исследований. Содержание тяжелых металлов в почве и растительных образцах определяли атомно-абсорбционным методом с использованием воздушно-пропанового пламени. Определение валового содержания тяжелых металлов проводили путем экстракции 1 М HNO_3 , а подвижных форм – ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8. Все определения проводили в мг/кг сухой почвы и сухой массы растений [4].

Образцы почвы и растений отбирали в четырех районах: 1) Р1 – район Дубки г. Нальчика, 2) Р2 – с. Черная речка (Урванский р-н); 3) Р3 – район автотрассы г. Баксана (Баксанский р-н); 4) Р4 – район автотрассы около ОАО «Гидрометаллург» (г. Нальчик). Глубина отбора почвенных образцов – 10–30 см. Повторность трехкратная. Пробы растений отбирали в период массового цветения (конец июля) в 10-кратной повторности.

Для оценки степени концентрации тяжелых металлов в растениях рассчитывали: 1) коэффициент биологического накопления (КБН) – отношение содержания химического элемента в золе растений к его валовому содержанию в почве, при $\text{КБН} > 1$ растение способно аккумулировать тот или иной элемент; 2) коэффициент биогеохимической подвижности (КБП) – отношение содержания элемента в золе надземной части растений к содержанию его подвижных форм в почве; 3) коэффициент транслокации (КТ) – отношение содержания элемента в надземной части растений к его содержанию в корнях; чем он выше, тем в большей степени растение подходит для целей ремедиации [5].

Фоновые концентрации тяжелых металлов в районах Р1, Р3, Р4 считали равными: $\text{Cu} - 11$; $\text{Zn} - 29$; $\text{Pb} - 15$; $\text{Cd} - 0,1$ мг/кг. Фоновые концентрации тяжелых металлов в районе Р2 составляют соответственно 1,9; 11; 5,0; 0,1 мг/кг [7].

Результаты исследований и их обсуждение. Почвы исследуемых районов – темно-серая лесная (Р1), аллювиальная луговая карбонатная (Р2), чернозем выщелоченный (Р3, Р4) – характеризуются низким содержанием гумуса; $\text{pH}_{\text{сол}}$ слабокислая (Р1), нейтральная (Р2, Р3), щелочная (Р4). По гранулометрическому составу почвы районов Р1 и Р3 суглинистые, Р2 – супесчаные, Р4 – глинистые.

На обследованной территории содержание валовых и подвижных форм меди, цинка, кадмия и свинца ниже ПДК, кроме района Р3, где отмечено превышение ПДК подвижных форм свинца (табл. 1). Установлено превышение естественного фона по кадмию в Р1, Р2, Р3; по меди и свинцу – в Р2 и Р3, по цинку – в Р3.

Таблица 1

Распределение микроэлементов (подвижные и валовые формы) в районах исследования, мг/кг

Район	Гумус, %	рН солевой вытяжки	Cu		Zn		Pb		Cd	
			Вал.	Подв.	Вал.	Подв.	Вал.	Подв.	Вал.	Подв.
Р1	2,6	6,4	3,47	0,22	22,12	6,31	4,85	4,11	0,84	0,26
Р2	3,2	7,1	6,63	0,46	5,81	3,25	6,20	2,54	0,28	0,04
Р3	3,6	7,2	12,4	0,15	33,40	8,64	29,33	9,62	1,16	0,22
Р4	4,2	8,7	23,0	1,37	16,75	2,21	9,31	1,24	0,02	0,008
ПДК*			55	3	100	23	30	6	2	1

*[8]

Источниками загрязнения почв исследуемых районов тяжелыми металлами являются удобрения и пестициды, атмосферные осадки. Выхлопные газы автотранспорта являются источником фолиарного загрязнения фитомассы свинцом и кадмием.

Тяжелые металлы концентрируются в большей степени надземной фитомассой девясила. Концентрация меди и цинка в надземных органах и подземной фитомассе в исследованных районах находится в пределах ПДК. В надземной массе растения имеет место превышение ПДК по свинцу (Р3) и кадмию (во всех районах). Тем не менее содержание тяжелых металлов в корневищах и корнях не превышает ПДК (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в надземных (н) и подземных (п) органах девясила высокого, мг/кг

Металл	Районы	Надземная фитомасса	Подземная фитомасса	ПДКн, мг/кг	ПДКп, мг/кг
Cu	Р1	15,40	4,21	150	150
	Р2	29,90	8,88		
	Р3	15,70	3,64		
	Р4	4,18	17,4		
Zn	Р1	20,62	16,83	300	300
	Р2	8,90	23,30		
	Р3	23,48	18,75		
	Р4	0,27	0,35		
Pb	Р1	5,46	2,14	10*	6**
	Р2	1,86	0,71		
	Р3	12,51	5,03		
	Р4	0,94	0,50		
Cd	Р1	1,53	0,45	1*	1**
	Р2	1,02	0,05		
	Р3	2,66	0,28		
	Р4	1,00	0,04		

* для чая черного, зеленого, плиточного [9]

** для БАД на растительной основе [9]

Девясил высокий накапливает и усваивает тяжелые металлы в разной степени, зависящей, в первую очередь, от pH почвы. В слабнокислых и нейтральных почвах подвижность тяжелых металлов (медь, цинк, кадмий) значительно выше, чем в щелочной почве (P4). Этим объясняется существенная разница в накоплении меди и цинка надземными и подземными органами девясила. Независимо от pH подвижность свинца в почвах самая низкая. Следовательно, накопление растением свинца обусловлено в основном фоллиарным поступлением в составе газообразных выделений, дыма, техногенной пыли через листовую поверхность.

Специфической особенностью девясила высокого является аккумуляция кадмия в надземных органах. Известно, что кадмий является химическим аналогом цинка. Высокая степень аккумуляции кадмия без признаков угнетения растения свидетельствует об избирательной способности девясила высокого поглощать кадмий даже из незагрязненной почвы, компенсируя недостаток цинка. Дополнительным источником загрязнения кадмием надземных органов растения является фоллиарное поступление с пылью, сажей, особенно вблизи автомобильных дорог.

КБН тяжелых металлов фитомассой девясила высокого варьируются в широких пределах, что свидетельствует о широком диапазоне толерантности вида и его высоких адаптационных способностях в условиях техногенного загрязнения. Надземная фитомасса в большей степени накапливает медь и кадмий, а подземная – цинк. Из всех исследованных элементов только цинк более или менее равномерно распределяется по органам растения. Высокое значение КБН цинка в районе P2 с самым низким валовым содержанием элемента в почве свидетельствует о том, что растение контролирует поступление цинка, накапливая его в необходимом для жизнедеятельности количестве (табл. 3).

Таблица 3

**Оценка степени концентрации тяжелых металлов надземной (н) и подземной (п) фитомассой
девясила высокого в районах исследования**

Районы исследования	КБН _н	КБН _п	КБП	КТ
	Cu			
P1	4,44	1,21	70,00	3,66
P2	4,51	0,13	65,00	3,37
P3	1,27	0,29	104,7	4,31
P4	0,62	0,76	10,35	0,85
Zn				
P1	0,93	0,76	3,27	1,22
P2	1,53	4,01	2,74	0,38
P3	0,70	0,56	2,72	1,25
P4	0,02	0,02	0,12	0,77
Pb				
P1	1,13	0,44	1,33	2,55
P2	0,30	0,11	0,73	2,62
P3	0,43	0,17	1,30	2,49
P4	0,10	0,05	0,76	1,88
Cd				
P1	1,82	0,54	5,88	3,40
P2	3,64	0,18	25,5	20,4
P3	2,29	0,24	12,10	9,50
P4	50,0	2,00	125,0	25,0

В общем виде ряд накопления тяжелых металлов фитомассой девясила выглядит следующим образом: $Cu > Cd > Zn > Pb$. Подземная фитомасса девясила слабо накапливает медь, свинец и кадмий, так как основная функция корневищ и корней девясила – запасание инулина и эфирных масел.

Степень биогеохимической подвижности металлов (доступности их для растения) снижается от меди к свинцу ($Cu > Cd > Zn > Pb$), а транслокации металлов – от кадмия к цинку ($Cd > Cu > Pb > Zn$). Высокий КТ кадмия, независимо от типа почвы и степени загрязнения, а также мощная надземная фитомасса, формируемая растением со второго года жизни, делают девясил высоким перспективным для фиторемедиации загрязненных кадмием земель.

Резюме. Таким образом, накопление тяжелых металлов фитомассой девясила высокого (*Inula helenium* L.) на территории Кабардино-Балкарской Республики, характеризующейся слабым и умеренным загрязнением почв тяжелыми металлами, имеет следующие особенности:

– зависит от pH почвы: накопление меди и цинка фитомассой растения значительно выше на слабокислых и нейтральных почвах (по сравнению с щелочными);

– основным источником загрязнения надземной фитомассы свинцом является фолиарное поступление металла через листовую поверхность в составе газообразных выделений, дыма, техногенной пыли;

– надземная фитомасса аккумулирует кадмий без признаков угнетения растения, что делает вид *Inula helenium* L. перспективным для фиторемедиации почв, загрязненных кадмием;

– корневища с корнями аккумулируют медь, цинк, свинец и кадмий в значительно меньшей степени, чем надземная масса, но в пределах ПДК.

На основе полученных результатов Кабардино-Балкарскую Республику можно считать перспективным регионом для заготовки экологически безопасного лекарственного сырья *Inula helenium* L. Учитывая высокую вероятность фолиарного загрязнения надземной фитомассы девясила высоким свинцом и кадмием, участки для заготовки кормов из надземной фитомассы девясила высокого следует выбирать вне зон влияния автомобильных дорог и интенсивного промышленного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте. – СПб. : Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с.
2. Аминова А. А., Янтурин И. Ш., Бускунова Г. Г. Оценка качества лекарственного растительного сырья *Inula helenium* L. в условиях Зауралья // Устойчивое развитие территорий: теория и практика : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. – Уфа, 2010. – С. 121–123.
3. Бесланев С. М., Сохроков А. Х., Жамбикова А. А., Татарканова З. Л. Влияние количества органического вещества почвы на содержание микроэлементов в почвах Кабардино-Балкарии // Агрехимический вестник. – 2012. – № 4. – С. 34–35.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЦИНАО, 1992. – 63 с.
5. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. – М. : Астрель-2000, 1999. – 341 с.
6. Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейство *Asteraceae* (*Compositae*). – СПб. : Наука, 1993. – 352 с.
7. Реутова Т. В., Воробьева Т. И., Жинжакова Л. З. Фоновые концентрации тяжелых металлов и неорганических соединений азота в почвах основных экосистем Центрального Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений : материалы VII Междунар. науч. конф. – Владикавказ, 2010. – С. 1–4.

8. *Рождественская Т. А., Ельчинонова О. А., Пузанов А. В.* Элементный химический состав растений Горного Алтая и факторы, его определяющие // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных территорий: настоящее, прошлое и будущее : материалы междунар. конф. – Горно-Алтайск, 2008. – С. 110–114.

9. *Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01»* (с изм. на 6 июля 2011 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/901806306>.

10. *Тамахина А. Я.* Оптимизация структуры агроценозов кормовых культур в горной зоне Центральной части Северного Кавказа. – Нальчик : Полиграфсервис и Т, 2007. – 146 с.

11. *Янтурин И. Ш., Аминова А. А.* Особенности содержания тяжелых металлов в органах *Inula helenium* L. в геохимических условиях Южного Урала // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2013. – № 4 (14), т. 1. – С. 64–73.