

УДК 574.24: 615.322

https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06

Дьякова Н.А.

## АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА ТРАВой *LEONURUS QUINQUELOBATUS* GILIB.

Dyakova N.A.

### ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND ARSENIC IN GRASS *LEONURUS QUINQUELOBATUM* GILIB.

**Аннотация:** Воронежская область традиционно является важнейшим районом растениеводства и земледелия. Целью исследования являлось изучение загрязнения тяжелыми металлами лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере травы пустырника пятилопастного, собранного в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. Изучалось накопление тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома) и мышьяка в 51 образце травы пустырника пятилопастного. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв региона и данные по содержанию этих элементов в траве пустырника пятилопастного, можно предположить наличие значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов в генеративных органах растения, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. Пустырник пятилопастной способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (такие как медь и цинк), в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня; при значительном же содержании данных элементов в почвах, растение также физиологически блокировало их поступление в листья. Таким образом, у пустырника пятилопастного в условиях антропогенной нагрузки и техногенного загрязнения внешней среды в результате действия отбора и проявления адаптации к этим условиям происходит формирование эдафотипа. Результаты исследований показали, что трава пустырника пятилопастного способна накапливать токсические элементы из почв, что важно при планировании мест заготовки лекарственного растительного сырья и оценке его качества.

**Ключевые слова:** Воронежская область; трава пустырника пятилопастного; свинец; ртуть; кадмий; никель; медь; цинк; кобальт; хром.

**Сведения об авторе:** Дьякова Нина Алексеевна, ORCID: 0000-0002-0766-3881, канд. биол. наук, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия, Ninochka\_V89@mail.ru

**Annotation.** The Voronezh region is traditionally the most important area of crop production and farming. The purpose of the study was to study the contamination by heavy metals of medicinal vegetable raw materials of the Voronezh region on the example of the grass of the five-plant desert collected in urban and agro-ecological systems, which experience different anthropogenic effects. The accumulations of heavy metals (lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chromium) and arsenic were studied, in 51 samples of five-layer desert grass. Comparing the data on heavy metal content in the upper soil layers of the region and the content of these elements in the grass of the five-layer desert, it can be assumed that there are significant physiological barriers to the accumulation of ecotoxicants in the generative organs of the plant, which is particularly noticeable for elements such as lead, mercury, arsenic, cadmium, cobalt and chromium. The five-point desert is able to selectively concentrate some heavy metals entering the active centers of enzyme systems (such as copper and zinc) if their environmental content is below some vital level; With a significant content of these elements in soils, the plant also physiologically blocked their entry into the leaves. Thus, for a five-layer desert under anthropogenic load conditions, an edaphotype is formed as a result of the action of selection under conditions of man-made pollution of the external environment and the manifestation of adaptation to these conditions. The results of studies have shown that the grass of the five-plant desert is able to accumulate toxic elements from soils, which is important in planning the places of production of medicinal vegetable raw materials and assessing its quality.

**Keywords:** Voronezh region; grass of a motherwort five-bladed; lead; mercury; cadmium; nickel; copper; zinc; cobalt; chrome.

**About the author:** Dyakova Nina Alekseevna, ORCID: 0000-0002-0766-3881, Ph.D., Voronezh State University, Voronezh, Russia, Ninochka\_V89@mail.ru

**Введение.** На сегодняшний день в медицинской и фармацевтической практике нашей страны применяется более 6 тысяч лекарственных препаратов на основе лекарственного растительного сырья. Значительный интерес к таким лекарственным средствам объясняется тем, что фитопрепараты обладают хорошим терапевтическим эффектом и относительной безвредностью [4; 20]. Большая доля заготовок фитосырья расположена в европейской части Российской Федерации, отличающейся значительной плотностью населения, высокой активностью хозяйственной деятельности, развитием транспортных магистралей [4; 15; 16]. В связи с этим увеличивается угроза сбора растительного сырья

в экологически неблагоприятных районах, и возрастает актуальность выявления влияния антропогенного загрязнения на химический состав растений [1; 5].

Одним из синантропных видов, сырье которого заготавливается от дикорастущих особей, является пустырник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib. (*Lamiaceae*)) – многолетнее, повсеместно встречающееся травянистое растение, широко используемое в медицине и фармации в качестве седативного, гипотензивного, спазмолитического, кровоостанавливающего, мочегонного средства. Такое широкое применение обусловлено богатым химическим составом травы пустырника пятилопастного, основу которого составляют флавоноиды, иридоиды, алкалоиды (до 0,4%), эфирное масло (до 0,9%), дубильные вещества (до 2,5%), горечи, витамин С, каротин, макро- и микроэлементы. При этом пустырник пятилопастной благодаря хорошо развитой разветвленной корневой системе хорошо накапливает фосфор, медь, цинк. По этой же причине данное растение иногда используют для очистки почв от тяжелых металлов [6; 23–25]. Цель исследования – изучение загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере травы пустырника пятилопастного, собранного в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие.

**Материалы и методы исследования.** Сбор лекарственного растительного сырья проводили согласно требованиям по заготовке: в период цветения пустырника пятилопастного, в сухую, солнечную погоду, срезая растение секатором на расстоянии 30–40 см от его верхушки.

Выбор точек для сбора образцов на территории Воронежской области обусловлен особенностями воздействия человека (рис., таб.).



Рис. Карта отбора образцов

Химические промышленные предприятия (23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (27); атомная электростанция (АЭС) в г. Нововоронеж (8); международный аэропорт им. Петра I (30); ул. г. Воронежа (ул. Димитрова) (31); высоковольтные линии электропередач (ВЛЭ) (9); Воронежское водохранилище (29); малые города (г. Борисоглебск (25), г. Калач (26)); зона значительного месторождения никелевых руд (4); районы, находящиеся в зоне радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС (5-7); районы активного ведения сельского хозяйства (10-22); контроль (для сравнения) – заповедные территории (1,2,3)). Вдоль дорог: лесная зона (32) – трасса М4 «Дон», лесостепная зона (33) – трасса А144 «Курск-Саратов», степная зона (34) – трасса М4 «Дон», проселочная автомобильная дорога малой загруженности (35) и железная дорога (36)

Анализ образцов травы пустырника пятилопастного проводился на аналитическом комплексе на базе атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД по фармакопейным методикам [2]. Каждое определение проводили троекратно. Данные, полученные в ходе исследований, статистически обрабатывали в программе «Microsoft Excel». В образцах определяли концентрацию наиболее токсичных элементов: свинца, мышьяка, ртути, кадмия, никеля, цинка, кобальта, хрома и меди.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в отобранных образцах травы пустырника пятилопастного представлено в таблице.

Концентрация свинца во всех образцах травы пустырника пятилопастного не превышала установленный фармакопейной статьёй числовой показатель (6 мг/кг). Концентрация данного металла в сырье, собранном на контрольных территориях, варьировала от 0,17 мг/кг до 0,34 мг/кг, при этом в остальном сырье, произрастающем в условиях антропогенного воздействия, содержание металла колебалось от 0,17 мг/кг (для образца, собранного в Ольховатском районе) до 2,59 мг/кг (для образца,

собранного на улице Воронежа). Концентрация элемента в почвах районов, в которых производился сбор образцов, отмечена на уровне от 1,71 до 34,57 мг/кг [3]. Достаточно низкое накопление свинца в наземной части пустырника пятилопастного можно связать с тем, что соединения его малорастворимы, это может ограничивать его биодоступность для растения. Кроме того, можно предположить наличие физиологического барьера в растении, препятствующего накоплению данного фитотоксиканта, вызывающего в большом количестве выраженное ингибирование процессов роста и развития растения [7; 12; 14]. Стоит также отметить, что для агробиоценозов отмечены менее значительные концентрации свинца в траве пустырника пятилопастного (0,17–0,42 мг/кг), для урбобиоценозов – более значительные. Так, наибольшие концентрации свинца (более 1,0 мг/кг) отмечены для образцов, собранных вблизи химических предприятий (ООО «Сибур», ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), на улице города Воронежа, вдоль и на удалении 100 м от трассы М4 в Рамонском районе (лесная зона), вдоль и на удалении 200 м от трасс А144 в Аннинском районе (лесостепная зона) и М4 в Павловском районе (степная зона), вдоль железной дороги. В связи с этим можно предположить значительное аэрозольное загрязнение свинцом травы пустырника пятилопастного, собранного в урбобиоценозах (вероятно, от выхлопных газов транспорта, выбросов промышленных предприятий) [13; 19; 21; 22].

Таблица

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах травы пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.)

Место заготовки сырья	Концентрация тяжелых металлов, мг/ кг								
	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Воронежский природный биосферный заповедник	0,20	0,004	0,03	0,16	1,45	0,29	0,55	6,23	22,98
Хоперский государственный природный заповедник	0,34	0,003	0,02	0,11	3,19	0,44	0,62	8,32	27,92
с. Макашевка (Борисоглебский район)	0,17	0,002	0,03	0,10	1,31	0,26	0,48	7,67	32,65
с. Елань-Колено	0,28	0,003	0,02	0,12	2,81	0,52	0,52	9,45	28,07
с. Нижнедевицк	0,53	0,004	0,07	0,11	1,27	0,72	0,61	11,23	30,80
г. Острогожск	0,52	0,004	0,03	0,17	3,85	1,08	0,59	12,04	39,63
г. Семилуки	0,47	0,004	0,04	0,20	3,25	1,20	0,63	12,15	41,85
г. Нововоронеж	0,23	0,002	0,02	0,15	1,74	0,57	0,56	7,30	27,10
Высоковольтные линии электропередач	0,40	0,003	0,06	0,23	4,27	1,15	0,67	12,74	47,47
Лискинский район	0,32	0,003	0,08	0,12	1,04	0,61	0,72	10,53	21,97
Ольховатский район	0,17	0,003	0,02	0,17	3,62	0,89	0,54	9,62	32,64
Подгоренский район	0,23	0,005	0,04	0,18	4,01	0,53	0,65	15,04	29,85
Петропавловский район	0,38	0,003	0,03	0,12	1,16	0,72	0,83	11,96	34,70
Грибановский район	0,32	0,004	0,02	0,25	3,61	0,59	0,43	14,04	38,20
Хохольский район	0,28	0,003	0,06	0,15	2,83	0,31	0,60	13,29	38,25
Новохоперский район	0,30	0,003	0,03	0,21	3,18	0,27	0,57	11,05	29,00
Репьевский район	0,36	0,003	0,05	0,19	3,74	0,57	0,84	12,28	35,17
Воробьевский район	0,26	0,004	0,02	0,11	3,85	0,40	0,67	9,17	27,15
Панинский район	0,30	0,005	0,08	0,21	3,97	0,66	0,58	12,27	43,09
Верхнехавский район	0,42	0,005	0,07	0,23	2,56	0,85	0,54	15,85	34,52
г. Эртиль	0,28	0,003	0,04	0,13	3,41	0,61	0,76	12,00	42,80
Россошанский район	0,25	0,004	0,06	0,25	3,28	0,77	0,80	16,75	40,50
Вблизи ОАО «Минудобрения»	1,45	0,005	0,35	0,37	4,58	3,52	1,36	19,63	87,87
Вблизи ООО «Бормаш»	1,05	0,005	0,41	0,46	8,46	2,78	1,52	21,50	65,75
г. Борисоглебск	0,87	0,004	0,29	0,23	5,22	2,13	0,85	18,42	62,03
г. Калач	0,72	0,005	0,10	0,20	5,45	4,05	0,78	14,80	57,20
Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС»	1,24	0,005	0,13	<b>0,53</b>	3,56	3,16	0,95	17,52	63,18
Вблизи ООО «Сибур»	1,56	0,005	0,16	0,26	5,20	3,68	1,03	18,35	80,27

Место заготовки сырья	Концентрация тяжелых металлов, мг/кг								
	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Вдоль Воронежского вдхр.	0,27	0,004	0,07	0,24	4,17	0,71	0,77	9,53	35,48
Аэропорт им. Петра I	0,83	0,004	0,04	0,39	5,50	1,06	0,65	12,08	30,07
Улица г. Воронеж (ул. Димитрова)	2,59	0,006	0,36	0,32	5,91	4,51	2,29	22,07	89,42
Вдоль трассы М4 (Рамонский район)	2,15	0,005	0,48	0,32	6,43	3,61	1,84	25,86	78,01
100 м от трассы М4 (Рамонский район)	1,75	0,005	0,35	0,24	5,12	1,41	1,02	18,21	57,21
200 м от трассы М4 (Рамонский район)	0,98	0,005	0,11	0,20	4,42	0,81	0,83	14,28	39,53
300 м от трассы М4 (Рамонский район)	0,40	0,004	0,07	0,20	3,10	0,64	0,67	13,08	35,05
Вдоль трассы А144	1,89	0,003	0,27	0,23	6,65	2,55	1,69	23,09	63,06
100 м от трассы А144	1,63	0,004	0,14	0,20	6,08	1,82	1,42	19,57	53,37
200 м от трассы А144	1,06	0,004	0,09	0,15	4,35	1,91	0,74	14,11	52,81
300 м от трассы А144	0,33	0,004	0,10	0,14	3,28	0,85	0,54	12,65	41,07
Вдоль трассы М4 (Павловский район)	2,24	0,005	0,21	0,17	6,35	2,21	1,43	24,16	59,35
100 м от трассы М4 (Павловский район)	1,84	0,005	0,16	0,15	4,08	1,95	1,20	20,55	52,17
200 м от трассы М4 (Павловский район)	1,32	0,005	0,08	0,12	3,32	1,36	0,98	18,39	49,28
300 м от трассы М4 (Павловский район)	0,90	0,005	0,08	0,11	3,08	0,97	0,71	12,91	35,17
Вдоль нескоростной дороги	0,92	0,005	0,07	0,26	3,86	0,91	0,83	15,53	58,38
100 м от нескоростной дороги	0,57	0,004	0,05	0,20	3,45	0,72	0,64	12,05	41,85
200 м от нескоростной дороги	0,39	0,003	0,02	0,16	3,05	0,69	0,63	10,49	36,14
300 м нескоростной дороги	0,41	0,004	0,02	0,11	2,45	0,52	0,67	11,59	39,18
Вдоль железной дороги	1,76	0,005	0,15	0,34	5,45	1,53	0,91	27,37	67,30
100 м от железной дороги	0,64	0,005	0,06	0,27	4,65	1,31	0,73	23,90	51,34
200 м от железной дороги	0,50	0,004	0,05	0,23	4,25	0,83	0,65	12,21	44,75
300 м от железной дороги	0,50	0,004	0,06	0,19	3,36	0,65	0,67	14,25	38,39
Среднее значение	0,78	0,004	0,11	0,21	3,89	1,31	0,84	14,69	45,31
ПДК	6,0	0,1	1,0	0,5	-				

Содержание ртути в образцах травы пустырника пятилопастного варьировало от 0,002 мг/кг до 0,006 мг/кг, при установленной предельно допустимой концентрации в лекарственном растительном сырье 0,1 мг/кг. Концентрация данного металла в образцах, собранных в заповедных зонах, практически не отличалась от его концентрации в образцах, произрастающих в условиях агро- и урбобиоценозов. При этом содержание ртути в почвах исследуемых районов в десятки раз больше – от 0,01 до 0,24 мг/кг [3]. Известно, что в почве ртуть образует малорастворимые соединения, которые достаточно прочно удерживаются почвенными коллоидами. Также низкое содержание фитотоксичной ртути в лекарственном растительном сырье можно связать с наличием в растениях действующей системы инактивации токсикантов [7; 8; 12].

Содержание кадмия в траве пустырника пятилопастного, собранного на территории Воронежской области, колебалась от 0,02 мг/кг до 0,48 мг/кг при среднем содержании 0,11 мг/кг, что в 9 раз меньше его предельно допустимой концентрации в растительном сырье (1,0 мг/кг). Концентрация кадмия в изучаемом сырье пустырника пятилопастного также значительно меньше содержания элемента в почве (0,02–0,71 мг/кг) [3]. Концентрация данного металла в траве пустырника пятилопастного заповедных зон находилась на уровне 0,02–0,03 мг/кг, в образцах, собранных в агробиоценозах Воронежской области, – 0,02–0,08 мг/кг. Более высокие концентрации вновь отмечены в образцах пустырника пятилопастного, произрастающего в урбобиоценозах – вблизи крупных химических предприятий (ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), в крупных городах области (Воронеж, Борисоглебск), вдоль и вблизи автотрасс (М4, А144), вдоль железной дороги. Объяснить низкий уровень накопления кадмия, являющегося главным блокатором основных ферментных и антиоксидантных систем в растении, можно тем, что у пустырника пятилопастного в процессе эволюции выработался механизм физиологической регуляции всасывания и проведения соединений данного металла по тканям и органам растения, что является основой их выживания в условиях техногенного загрязнения окружающей среды данным элементом. При этом более высокие

концентрации кадмия в образцах, собранных в урбоценозах, можно связать с аэрозольным загрязнением надземной части растения токсичным металлом [7; 9; 11; 19; 29; 30].

Концентрацию мышьяка в траве пустырника пятилопастного можно оценить, как высокую. Так, в 1 образце из 51 превышена предельно допустимая концентрация элемента, установленная фармакопейной статьей, в 0,5 мг/кг (в образцах, собранных вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС»). Средняя же концентрация элемента в траве пустырника пятилопастного составила 0,21 мг/кг и варьировала от 0,11 мг/кг до 0,53 мг/кг. Концентрация мышьяка в верхних слоях почв исследуемых районов гораздо значительнее – от 0,55 мг/кг до 3,81 мг/кг [3]. Известно, что соединения мышьяка обладают низкой растворимостью и подвижностью в почве, что связано с их сорбцией на поверхности органическими и минеральными коллоидами, поэтому мышьяк – малодоступный для растений элемент. С увеличением содержания его соединений в почве возможно развитие токсического действия на растительные организмы: увядание листьев, замедление темпов роста. Поэтому можно предположить наличие у пустырника пятилопастного биохимических механизмов, препятствующих накоплению мышьяка [5; 7; 13; 14].

Средний уровень содержания никеля в траве пустырника пятилопастного оценивается в 3,89 мг/кг при колебании его от 1,04 мг/кг (для образца, собранного в Лискинском районе) до 8,46 мг/кг (для образца, собранного вблизи ООО «БорМаш» в Поворинском районе). Предельно допустимая концентрация никеля так же, как и хрома, кобальта, меди и цинка, определяемых в исследуемых образцах, в лекарственном растительном сырье в настоящее время не нормируется, хотя широко известно об их токсическом действии на живые организмы. Концентрация никеля в почвах изучаемых территорий принимала значения от 2,23 мг/кг до 98,25 мг/кг [3]. Сопоставляя полученные данные, заметно, что данный элемент также незначительно накапливается в надземной части пустырника пятилопастного, хотя соли никеля находятся преимущественно в растворенном состоянии в почвенном растворе. Известно, что в значительных концентрациях никель оказывает токсическое действие на растительный организм, способствует угнетению процессов фотосинтеза и транспирации. Вероятно, у пустырника пятилопастного выработался физиологический барьер к накоплению никеля в высоких концентрациях. Для образцов травы пустырника пятилопастного, произрастающего в условиях заповедных территорий, отмечено накопление металла на уровне 1,31–3,19 мг/кг. Образцы, произрастающие в условиях агробиоценозов, содержали 1,04–4,01 мг/кг никеля. Более высокое содержание металла (более 5 мг/кг) отмечено в образцах, собранных в урбобиоценозах с активной хозяйственной деятельностью человека – вблизи крупных химических предприятий (ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш», ООО «Сибур»), на улице городов (Воронеж, Калач, Борисоглебск), вдоль и вблизи автотрасс (М4, А144), вдоль железной дороги, что, вероятно, связано со значительным вкладом аэрозольного загрязнения лекарственного растительного сырья никелем [7; 17; 18; 21; 22; 28].

Содержание хрома в изучаемых образцах травы пустырника пятилопастного варьировало от 0,29 мг/кг (для образца, отобранного в Воронежском природном биосферном заповеднике) до 4,51 мг/кг (для образца, отобранного на улице города Воронежа) при среднем значении 1,31 мг/кг. Концентрация хрома в верхних слоях почв рассматриваемых территорий принимала значения от 2,53 мг/кг до 45,16 мг/кг [3]. Фитотоксичность хрома проявляется в повреждении корней растения, а также увядании его надземной части, хлорозе молодых листьев. Очевидно, что накопление данного металла блокируется растением на биохимическом уровне, что является его эволюционно выработанным приспособлением к жизни в условиях загрязнения среды обитания. При анализе полученных результатов также отмечаются значительно более низкие концентрации хрома в образцах травы пустырника пятилопастного, собранного на контрольных территориях (в заповедниках) – от 0,26 мг/кг до 0,44 мг/кг, и в агробиоценозах – от 0,31 мг/кг до 0,89 мг/кг. В урбобиоценозах концентрация хрома в надземной части пустырника пятилопастно значительнее (от 0,65 мг/кг до 4,51 мг/кг) [8; 19; 26; 27].

Средняя концентрация кобальта и его уровень накопления в траве пустырника пятилопастного еще более низкие, чем для хрома. Так, содержание кобальта в изучаемых образцах варьировало от 0,52 мг/кг (для образца, отобранного в Борисоглебском районе) до 2,29 мг/кг (для образца, собранного на улице города Воронежа) при среднем уровне накопления в сырье Воронежской области – 0,84 мг/кг. Концентрация его в верхних слоях почв характеризуется значениями от 1,84 мг/кг до 21,78 мг/кг [3], что свидетельствует о низком уровне накопления кобальта травой пустырника пятилопастного. В образцах контрольных территорий и агробиоценозов также отмечены более низкие уровни концентраций данного металла, чем для образцов урбанизированных территорий, что может доказывать дополнительное аэрозольное загрязнение сырья [7; 8; 17; 18].

Проведенные анализы показали, что трава пустырника пятилопастного в значительной степени накапливает медь и цинк. Так, концентрация меди варьировала от 6,23 мг/кг (для образца, отобранного

в Воронежском биосферном заповеднике) до 25,86 мг/кг (для образца, собранного вблизи ООО «БорМаш» в с. Пески Поворинского района) при среднем содержании в регионе 14,69 мг/кг. Содержание меди в верхних слоях почв изучаемых территорий изменялось от 3,30 мг/кг до 65,38 мг/кг при среднем 23,25 мг/кг [3]. При этом для ряда образцов отмечена более высокая концентрация меди в сырье, чем в почве, на которой оно произрастало (например, для травы пустырника пятилопастного, собранного на всех контрольных территориях (в заповедных зонах), в с. Елань-Колено, в Нововоронеже, в Репьевском, Ольховатском, Панинском районах, вдоль низовья Воронежского водохранилища, вдоль высоковольтных линий электропередач). Это указывает на значительную концентрирующую способность надземной части пустырника пятилопастного в отношении меди, которая, по-видимому, играет важную физиологическую роль в растительном организме. Известно, что медь участвует в процессе фотосинтеза, активизирует углеводный и азотный обмены, повышает сопротивляемость растительного организма к инфекционным заболеваниям, увеличивает засухоустойчивость. Однако при высоком содержании меди в почвах некоторых урбанизированных территорий (вблизи крупных химических предприятий (ОАО «Минудобрения», ООО «БорМаш»), на улице города Воронежа, вдоль и вблизи крупных автомобильных дорог (М4, А144), вдоль железной дороги) содержание элемента в растении гораздо ниже, что говорит о накоплении данного металла в пустырнике пятилопастном до какого-то физиологически важного уровня, а далее его концентрирование растением блокируется. Объяснить это можно тем, что высокие концентрации меди могут вызывать дефицит железа в растительном организме, появление бурых пятен на листьях и их отмирание [7; 8; 10–12].

Концентрация цинка в изучаемых образцах травы пустырника пятилопастного принимала значения от 21,97 мг/кг (для образца, отобранного в Лискинском районе) до 89,42 мг/кг (для образца, собранного на улице города Воронежа) и в среднем составила 45,31 мг/кг. Сопоставляя полученные результаты с данными по почвам (содержание цинка варьировало от 9,58 мг/кг до 154,45 мг/кг при среднем значении по региону 52,69 мг/кг) [3], можно отметить значительное накопление элемента в сырье. Например, для образцов травы пустырника пятилопастного, собранного на контрольных (заповедных) территориях в Нижнедевицком, Лискинском, Подгоренском, Петропавловском, Грибановском, Новохоперском, Воробьевском, Россошанском, Репьевском, Верхнехавском районах, в с. Елань-Колено, г. Нововоронеж, вблизи аэропорта, вдоль и на удалении 300 м от нескоростной автомобильной дороги в Богучарском районе, содержание цинка в растительном сырье выше, чем в почве, на которой оно выросло. Это связано со значительной физиологической потребностью растения в данном элементе. Так, цинк активизирует более 300 ферментов, участвует в образовании хлорофилла, является составной частью более 40 ферментов, активизирует метаболизм углеводов, протеинов, фосфатов, повышает устойчивость к патогенам, жаро- и засухоустойчивость. Но при значительном содержании цинка в верхних слоях почв урбоценозов (на улицах крупных городов с развитой хозяйственной деятельностью человека (Калач, Борисоглебск, Воронеж, вблизи крупных авто- и железных дорог, промышленных предприятий), в растении металл накапливается в меньшей степени, что вероятно связано с токсическим действием его избытка в растительном организме [5; 7; 8; 29; 30].

**Выводы.** Были проанализированы свыше 50 образцов травы пустырника пятилопастного, собранной в различных по уровню антропогенного воздействия районах Воронежской области, на предмет содержания тяжелых металлов и мышьяка. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв региона и данные по содержанию этих элементов в траве пустырника пятилопастного, можно утверждать о наличии значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов в растении, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. Оказалось, пустырник пятилопастной способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (например, медь и цинк), в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня; при значительном же содержании данных элементов в почвах, растение также физиологически блокировало их поступление в надземную часть растения. На основании этого можно предполагать, что у пустырника пятилопастного в условиях антропогенной нагрузки и техногенного загрязнения внешней среды в результате действия отбора и проявления адаптации к этим условиям происходит формирование эдафотипа. Результаты исследований показали, что возможно значительное загрязнение данного сырья аэрозольным путем (в частности, свинцом, кадмием, никелем, хромом, кобальтом), что важно учитывать при планировании мест заготовки данного лекарственного растительного сырья и оценке его качества.

#### Литература

1. Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.В. Экологический портрет российских городов // Экология и промышленность России. 2011. №2. С. 6–11.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 2. М.: ФЭМБ; 2018. 1423 с.
3. Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИРГСХА. 2019. №95. С. 19-30.
4. Дьякова Н.А. Экологическая оценка лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере цветков пижмы обыкновенной // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 1. С. 19–26. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/04>
5. Зайцева М.В., Кравченко А.Л., Стекольников Ю.А., Сотников В.А. Тяжелые металлы в системе почва-растение в условиях загрязнения // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2013. №3. С. 190-192.
6. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара: Офорт, 2004. С. 465-469.
7. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Шайхутдинова А.А. Некоторые аспекты адаптации *Polygonum aviculare* L. к загрязнению почвы тяжелыми металлами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1 (33). С. 230-234.
8. Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-3. С. 681-686.
9. Попп Я.И., Бокова Т.И. Содержание кадмия в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник КрасГАУ. 2017. №3 (126). С. 105-113.
10. Попп Я.И., Бокова Т.И. Содержание меди в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. №3 (23). С. 100-107.
11. Попп Я.И., Бокова Т.И. Содержание цинка, меди и кадмия в различных видах лекарственных растений, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017. №1(42). С. 84-92.
12. Семенова И.Н., Сингизова Г.Ш., Зулкарнаев А.Б., Ильбулова Г.Ш. Влияние меди и свинца на рост и развитие растений на примере *Anethum graveolens* L. // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 588-588.
13. Таирова А.Р., Кузнецов А.И. Химические элементы в биосфере // Международный журнал экспериментального образования. 2010. № 10. С. 116.
14. Шигабаева Г.Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени. Вестник Тюменского государственного университета // Экология и природопользование. 2015. № 1 (2). С. 92-102.
15. Alekseenko V., Alekseenko A.I. The abundances of chemical elements in urban soils // Journal of Geochemical Exploration. 2014. №147. 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003>
16. Alekseenko V.A., Laverov N.P., Alekseenko A.V. The Clarke numbers of chemical elements in the urban landscapes soils // Ecologica – Scientific Professional Society for Environmental Protection of Serbia. Belgrade. 2012. № 65. 3–9.
17. Austenfeld F.A. Zur Phytotoxizität von Nickel-und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L // Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde. 1979. Vol. 142. № 6. P. 786-791. <https://doi.org/10.1002/jpln.19791420604>
18. Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T. Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun // Poland Polish Journal of Environmental Studies. 2000. Vol. 9. № 6. P. 511–515.
19. Cataldo D.A., Wildung R.E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants // Environmental Health Perspectives. 1978. Vol. 27. P. 149-159. <https://doi.org/10.1289/ehp.7827149>
20. D'yakova N.A., Samylina I.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Myndra A.A. Estimated heavy-metal and arsenic contents in medicinal plant raw materials of the Voronezh region // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2018. Vol. 52. № 3. P. 220-223. <https://doi.org/10.1007/s11094-018-1797-2>
21. Gupta G.P., Kumar B., Singh S., Kulshrestha U.C. Deposition and impact of urban atmospheric dust on two medicinal plants during different seasons in NCR Delhi // Aerosol and Air Quality Research. 2016. Vol. 16. № 11. P. 2920-2932. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0272>
22. Rai A., Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants // International journal of food, agriculture and environment (Print). 2006. Vol. 4. № 1. P. 253-259.
23. Romanenko Y.A., Koshovyi O.M., Komissarenko A.M., Golembiovskaya O.I., Gladyshev Y.I. The study of the chemical composition of the components of the motherwort herb // Вісник фармації. 2018. №3. P. 34-38. <https://doi.org/10.24959/nphj.18.2222>
24. Romanenko Y.A., Koshovyi O.M., Kovalyova A.M., Plyina T.V., Komissarenko A.M. Дослідження динаміки екстракції БАР трави собачої кропови для одержання настойки //Український біофармацевтичний журнал. 2018. №3(56). P. 66-71. <https://doi.org/10.24959/ubphj.18.185>
25. Esirgapovich S.J., Abdurahitovna S.S., Toshkhodjayevich D.G. Isothermal medicinal herbal motherwort (*Leonurus cardiaca*) and mother and stepmother (*Tussilago*) // European research. 2017. №3 (26). P. 16-17. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04230-R](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R)
26. Schutzendubel A., Polle A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization // Journal of experimental botany. 2002. Vol. 53. №372. P. 1351-1365. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1351>

27. Sharma D. C., Chatterjee C., Sharma C. P. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism // *Plant Science*. 1995. Vol. 111. №2. P. 145-151. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04230-R](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R)
28. Speak A.F. et al. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 61. P. 283-293. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>
29. Wang H., Shi H., Li Y. Leaf dust capturing capacity of urban greening plant species in relation to leaf micromorphology // 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. IEEE, 2011. Vol. 3. P. 2198-2201. <https://doi.org/10.1109/ISWREP.2011.5893701>
30. Wang L., Gong H., Liao W., Wang Z. Accumulation of particles on the surface of leaves during leaf expansion // *Science of the Total Environment*. 2015. Vol. 532. P. 420-434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.014>

### References

1. Bityukova, V.R., Kasimov, N.S., & Vlasov, D.V. (2011). *Ekologicheskii portret rossiiskikh gorodov. Ekologiya I promyshlennost' Rossii*, (2). 6–11. (In Russ.).
2. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii (2018). *Izdanie XIV. 2*. Moscow. (In Russ.).
3. D'yakova, N.A. (2019). Otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami verkhnikh sloev pochv urbo- I agroekosistem Tsentral'nogo Chernozem'ya. *Vestnik IrGSKhA*, (95). 19-30. (In Russ.).
4. Dyakova, N. A. (2020). Ecological assessment of medicinal vegetable raw materials of the Voronezh region on the example of flowers of a tansy ordinary. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 19–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/04>
5. Zaitseva, M.V., Kravchenko, A.L., Stekol'nikov, Yu.A., & Sotnikov, V.A. (2013). Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie v usloviyakh zagryazneniya. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie I meditsinskie nauki*, (3). 190-192. (In Russ.).
6. Kurkin, V.A. (2004). *Farmakognosiya*. Samara. 465-469. (In Russ.).
7. Nemereshina, O.N., Gusev, N.F., Petrova, G.V., & Shaikhutdinova, A.A. (2012). Nekotorye aspekty adaptatsii *Polygonum aviculare* L. k zagryazneniyu pochvy tyazhelymi metallami. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (1(33)). 230-234. (In Russ.).
8. Osipova, N.A., Yazikov, E.G., & Yankovich, E.P. (2013). Tyazhelye metally v pochve I ovoshchakh kak 55reten riska dlya zdo-rov'ya cheloveka. *Fundamental'nye issledovaniya*, (8-3). 681-686. (In Russ.).
9. Popp, Ya.I., & Bokova, T.I. (2017). Soderzhanie kadmiya v lekarstvennykh rasteniyakh, proizrastayushchikh v poimakh rek Irtysha I Obi. *Vestnik KrasGAU*, (3(126)). 105-113. (In Russ.).
10. Popp, Ya.I., & Bokova, T.I. (2016). Soderzhanie medi v lekarstvennykh rasteniyakh, proizrastayushchikh v poimakh rek Irtysha I Obi. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (3(23)). 100-107. (In Russ.).
11. Popp, Ya.I., & Bokova, T.I. (2017). Soderzhanie tsinka, medi I kadmiya v razlichnykh vidakh lekarstvennykh raste-nii, proizrastayushchikh v poimakh rek Irtysha I Obi. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 1(42). 84-92. (In Russ.).
12. Semenova, I.N., Singizova, G.Sh., Zulkaranaev, A.B., & Il'bulova, G.Sh. (2015). Vliyanie medi I svintsna na rost I razvitie rastenii na primere *Anethum graveolens* L. *Sovremennyye problemy nauki I obrazovaniya*, (3). 588-588. (In Russ.).
13. Tairova, A.R., & Kuznetsov, A.I. (2010). Khimicheskie elementy v biosfere. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*, (10). 116. (In Russ.).
14. Shigabaeva, G.N. (2015). Tyazhelye metally v pochvakh nekotorykh raionov g. Tyumeni. *Vestnik Tyumenskogo gos-udarstvennogo universiteta. Ekologiya I prirodopol'zovanie*, 1(2). 92-102. (In Russ.).
15. Alekseenko, V., & Alekseenko, A. (2014). The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 147, 245-249. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003>
16. Alekseenko, V. A. (2012). The Clarke numbers of chemical elements in the urban landscapes soils. *Ecologica*, (65), 3-9.
17. Austenfeld, F. A. (1979). Zur Phytotoxizität von Nickel-und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 142(6), 786-791. <https://doi.org/10.1002/jpln.19791420604>
18. Buszewski, B., Jastrzębska, A., Kowalkowski, T., & Górna-Binkul, A. (2000). Monitoring of selected heavy metals uptake by plants and soils in the area of Toruń, Poland. *Pol. J. Environ. Stud*, 9(6), 511-515.
19. Cataldo, D. A., & Wildung, R. E. (1978). Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. *Environmental Health Perspectives*, 27, 149-159. <https://doi.org/10.1289/ehp.7827149>
20. D'yakova, N. A., Samylina, I. A., Slivkin, A. I., Gaponov, S. P., & Myndra, A. A. (2018). Estimated heavy-metal and arsenic contents in medicinal plant raw materials of the Voronezh region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 52(3), 220-223. <https://doi.org/10.1007/s11094-018-1797-2>
21. Gupta, G. P., Kumar, B., Singh, S., & Kulshrestha, U. C. (2016). Deposition and impact of urban atmospheric dust on two medicinal plants during different seasons in NCR Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(11), 2920-2932. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0272>
22. Rai, A., & Kulshreshtha, K. (2006). Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *International journal of food, agriculture and environment (Print)*, 4(1), 253-259.

23. Romanenko, Y.A., Koshovyi, O.M., Komissarenko, A. M., Golembiowska, O.I., & Gladyshev, Y.I. (2018). The study of the chemical composition of the components of the motherwort herb. *Вісник фармації*, (3), 34-38. <https://doi.org/10.24959/nphj.18.2222>
24. Romanenko, Y.A., Koshovyi, O.M., Kovalyova, A. M., Pyina, T.V., & Komissarenko, A.M. (2018). Дослідження динаміки екстракції БАР трави собачої кропиви для одержання настойки. *Український біофармацевтичний журнал*, (3 (56)), 66-71. <https://doi.org/10.24959/ubphj.18.185>
25. Esirgarovich, S. J., Abduvahitovna, S. S., & Toshkhodjayevich, D. G. (2017). Isothermal medicinal herbal motherwort (*Leonurus cardiaca*) and mother and stepmother (Tussilago). *European research*, (3 (26)). [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04230-R](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R)
26. Schützendubel, A., & Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of experimental botany*, 53(372), 1351-1365. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1351>
27. Sharma, D. C., Chatterjee, C., & Sharma, C. P. (1995). Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism. *Plant Science*, 111(2), 145-151. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04230-R](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04230-R)
28. Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2012). Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 61, 283-293. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>
29. Wang, H., Shi, H., & Li, Y. (2011, May). Leaf dust capturing capacity of urban greening plant species in relation to leaf micromorphology. In *2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection* (Vol. 3, pp. 2198-2201). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISWREP.2011.5893701>
30. Wang, L., Gong, H., Liao, W., & Wang, Z. (2015). Accumulation of particles on the surface of leaves during leaf expansion. *Science of the Total Environment*, 532, 420-434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.014>

---

Дьякова Н.А. Анализ накопления тяжелых металлов и мышьяка травой *Leonurus quinquelobatus* Gilib. // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 48–56. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>

Dyakova, N.A. (2021). Accumulation of Heavy Metals and Arsenic in Grass *Leonurus quinquelobatum* Gilib. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. (2(54)). 48–56. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>

---

дата поступления: 05.10.2020

дата принятия: 08.12.2020