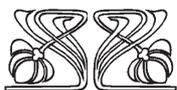
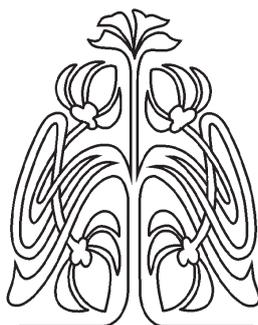
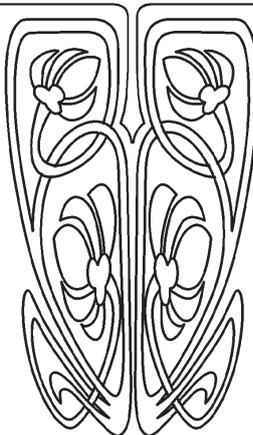




ЭКОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 478–487

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 478–487

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>

Научная статья
УДК 574.24:615.322

Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного, заготовленным в Воронежской области

Н. А. Дьякова

Воронежский государственный университет, Россия, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, Ninotchka_V89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>

Аннотация. Воронежская область традиционно является важнейшим районом растениеводства и земледелия. Целью исследования являлось изучение загрязнения тяжелыми металлами лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере корней лопуха обыкновенного, заготовленных в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. Изучалось накопление тяжелых металлов (свинец, ртути, кадмия, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома) и мышьяка в 51 образце сырья. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв региона и содержание этих элементов в корнях лопуха обыкновенного, можно предполагать наличие значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов корнях лопуха обыкновенного, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. При этом данный вид лекарственного растительного сырья способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (медь и цинк). Таким образом, для лопуха обыкновенного в условиях антропогенной нагрузки происходит формирование эдафотипа, формирующегося в результате действия отбора в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям.

Ключевые слова: Воронежская область, лопух обыкновенный, свинец, ртуть, кадмий, никель, медь, цинк, кобальт, хром

Для цитирования: Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного, заготовленным в Воронежской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 478–487. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Accumulation of heavy metals and arsenic with medicinal herbal raw material of common shovel harvested in Voronezh region

N. A. Dyakova

Voronezh State University, 1 University pl., Voronezh 394006, Russia

Nina A. Dyakova, Ninotchka_V89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>



Abstract. The Voronezh region is traditionally the most important area of crop production and agriculture. The purpose of the research was to study the contamination with heavy metals of medicinal plant raw materials of the Voronezh region using the example of the roots of ordinary burdock, prepared in urbo- and agro-ecosystems, which have various anthropogenic effects on themselves. The accumulation of heavy metals (lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chromium) and arsenic in 51 samples of raw materials was studied. By comparing the heavy metal content in the upper soil layers of the region and the content of these elements in the roots of the bladder, it can be assumed that there are significant physiological barriers to the accumulation of ecotoxicants in the roots of the bladder, which is especially noticeable for elements such as lead, mercury, arsenic, cadmium, cobalt and chromium. At the same time, this type of medicinal vegetal raw material is able to selectively concentrate some heavy metals included in the active centers of enzyme systems (copper and zinc). Thus, for an ordinary bladder under conditions of anthropogenic load, an edaphotype is formed, which is as a result of selection in conditions of anthropogenic pollution of the external environment and the manifestation of adaptation to these conditions.

Keywords: Voronezh region, ordinary bladder, lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chrome

For citation: Dyakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic with medicinal herbal raw material of common shovel harvested in Voronezh region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 478–487. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

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. Большая доля заготовок фитосырья расположена в европейской части Российской Федерации, отличающейся значительной плотностью населения, высокой активностью хозяйственной деятельности, развитием транспортных магистралей. 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, 2].

Рудеральным видом, сырье которого заготавливается от дикорастущих особей, является лопух обыкновенный (*Arctium lappa* L.) – двулетнее, травянистое растение высотой 50–150 см, обладающее выраженным потогонным, мочегонным, желчегонным действием. Широкое применение обусловлено богатым химическим составом корней лопуха обыкновенного, основу которого составляют водорастворимые полисахариды (до 44% инулина), горькие гликозиды, дубильные вещества, эфирные масла, каротин, органические кислоты, макро- и микроэлементы [3, 4]. При этом известно, что лопух обыкновенный хорошо накапливает фосфор, хром, медь, цинк [5].

Цель исследования – изучение загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере корней лопуха обыкновенного,

заготовленного в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие.

Материалы и методы

Выбор районов для сбора образцов на территории Воронежской области обусловлен особенностями воздействия человека (табл. 1, рисунок): химические промышленные предприятия (23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (27); атомная электростанция (АЭС) в г. Нововоронеж (8); международный аэропорт им. Петра I (30); улица 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); фон (для сравнения) – заповедные территории (1–3)). Также проводили отбор проб вдоль дорог разной степени загруженности: 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).

Сбор лекарственного растительного сырья проводили согласно требованиям по заготовке: корни лопуха обыкновенного выкапывали в сухую погоду в конце апреля – начале мая, подвяливали на солнце, очищали от земли, затем разрезали на куски по 10–15 см и сушили при температуре 40°C.

Анализ образцов корней лопуха обыкновенного проводился на аналитическом комплексе на базе атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД по фармакопейным методикам [4].



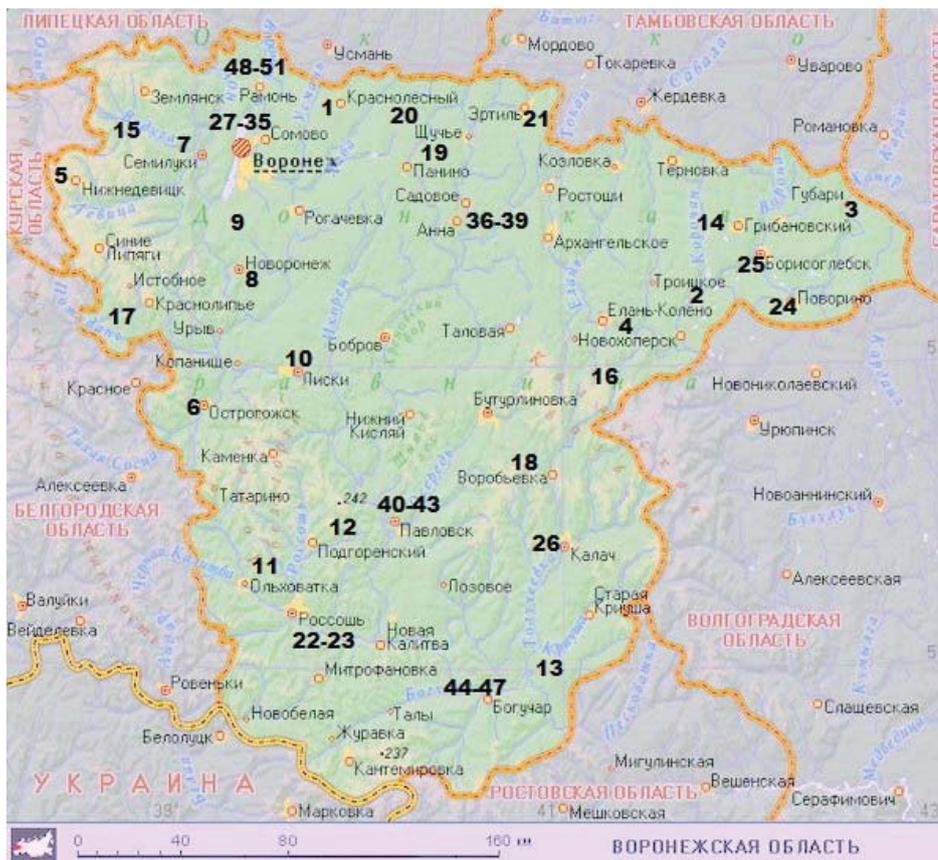
Таблица 1 / Table 1
 Средние значения концентрации тяжелых металлов и мышьяка в образцах лекарственного сырья лопуха обыкновенного (*Arctium lappa* L.)
 Average values of concentration of heavy metals and arsenic in samples of medicinal plant raw materials of common burdock (*Arctium lappa* L.)

№	Район сбора / Area of collecting	Содержание элемента, мг/кг / Element content, mg/kg										
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn		
1	Воронежский биосферный заповедник / Voronezh biosphere reserve	0,59	0,004	0,04	0,26	2,16	2,32	3,53	7,84	29,08		
2	Хоперский заповедник / Khopyor reserve	0,88	0,003	0,02	0,20	2,76	3,09	2,17	8,29	33,96		
3	Борисоглебский район / Borisoglebsk district	0,63	0,003	0,03	0,14	2,08	2,67	3,21	9,52	35,74		
4	с. Елань-Колено / village of Elan-Koleno	0,87	0,004	0,07	0,18	2,14	5,72	3,51	10,63	37,95		
5	с. Нижнедевицк/ village of Nizhnedevitsk	1,14	0,004	0,12	0,17	1,05	4,96	4,60	8,84	25,63		
6	г. Острогожск / city of Ostrogozhsk	2,17	0,005	0,11	0,25	2,94	6,76	5,37	11,60	45,74		
7	г. Семилуки / city of Semiluki	1,86	0,004	0,14	0,27	3,15	5,23	6,17	9,34	44,17		
8	г. Нововоронеж / city of Novovoronezh	1,74	0,005	0,02	0,19	1,86	3,90	3,12	6,46	26,83		
9	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ) / High-voltage power transmission lines (Novovoronezhsky city district)	2,08	0,004	0,12	0,34	3,78	6,10	3,93	7,75	32,05		
10	Лискинский р-н / Liskinsky district	2,27	0,005	0,15	0,20	1,37	5,32	5,74	8,88	27,47		
11	Ольховатский р-н / Olkhovatsky district	1,54	0,004	0,17	0,30	3,14	6,14	3,84	9,16	34,91		
12	Подгоренский р-н / Podgorensky district	2,17	0,003	0,11	0,30	3,76	3,00	5,82	7,58	30,07		
13	Петропавловский р-н / Peter and Paul district	2,72	0,003	0,10	0,17	1,57	3,24	6,54	8,59	29,58		
14	Грибановский р-н / Gribanovsky district	2,56	0,004	0,15	0,31	4,20	3,52	7,40	10,64	36,90		
15	Хохольский р-н / Hokholsky district	2,21	0,005	0,09	0,21	4,04	5,86	2,48	8,40	41,90		
16	Новохоперский р-н / New Khopyor district	2,17	0,004	0,07	0,20	3,65	2,88	3,69	7,44	29,01		
17	Репьевский р-н / Repyevsky district	2,08	0,005	0,17	0,28	4,15	4,16	4,06	9,35	31,02		
18	Воробьевский р-н / Vorobyevsky district	1,12	0,005	0,10	0,16	3,78	3,09	5,26	8,49	21,04		
19	Панинский р-н / Paninsky district	2,00	0,004	0,16	0,31	2,85	7,13	3,71	10,56	44,18		
20	Верхнехавский р-н / Verkhnekhavsky district	2,16	0,004	0,15	0,36	2,74	5,32	6,20	9,38	39,39		
21	г. Эргиль / city of Ertil	2,02	0,003	0,09	0,20	3,52	3,03	4,88	10,03	48,17		
22	Росошанский р-н / Rossosh district	2,59	0,004	0,17	0,31	4,04	5,22	5,10	7,84	37,22		
23	Вблизи ОАО «Минудобрения» (г. Россошь) / Near OJSC «Minudobriya» (city of Rossosh)	4,11	0,005	0,22	0,60	4,57	13,36	12,52	12,24	76,37		
24	Вблизи ООО «Бормаш» (г. Поворино) / Near LLC «Bormash» (city of Povorino)	4,88	0,005	0,27	0,81	5,94	10,27	9,53	15,00	62,01		
25	г. Борисоглебск / city of Borisoglebsk	2,32	0,005	0,15	0,29	4,14	8,50	8,80	8,96	59,04		
26	г. Калач / city of Kalach	2,73	0,005	0,12	0,25	3,12	9,38	7,05	9,45	55,39		
27	Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж) / Near «VOGRES» Thermal Power Plant (city of Voronezh)	1,15	0,006	0,07	0,67	2,84	7,12	9,06	7,75	60,28		
28	Вблизи ООО «Сибур» (г. Воронеж) / Near LLC «Sibur» (city of Voronezh)	3,81	0,006	0,08	0,42	3,51	9,20	6,29	9,22	70,36		



Окончание таблицы 1 / End of the Table 1

№	Район сбора / Area of collecting	Содержание элемента, мг/кг / Element content, mg/kg									
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	
29	Вдоль водохранилища (г. Воронеж) / Along the reservoir (city of Voronezh)	2,76	0,005	0,10	0,32	3,72	3,33	5,25	5,31	39,01	
30	Вблизи аэропорта / Near the airport	4,44	0,004	0,15	0,40	3,91	4,87	4,36	9,63	28,69	
31	Улица г. Воронеж (ул. Ленинградская) / city of Voronezh Street (Leningrad Str.)	3,11	0,005	0,11	0,47	3,12	7,46	13,85	12,25	67,37	
32	Вдоль трассы М4 (Рамонский р-н) / Along the M4 route (Ramon district)	3,66	0,004	0,28	0,53	2,97	6,09	8,63	15,78	57,49	
33	100 м от трассы М4 (Рамонский р-н) / 100 m from M4 Route (Ramon District)	2,05	0,005	0,25	0,46	2,84	4,99	7,69	11,53	42,08	
34	200 м от трассы М4 (Рамонский р-н) / 200 m from M4 Route (Ramon District)	2,01	0,004	0,08	0,41	2,08	3,80	4,51	8,90	36,84	
35	300 м от трассы М4 (Рамонский р-н) / 300 m from M4 Route (Ramon District)	1,15	0,005	0,10	0,34	2,14	3,78	3,86	9,27	35,01	
36	Вдоль трассы А144 (Аннинский р-н) / Along the А144 route (Anna district)	3,18	0,003	0,17	0,29	3,74	9,23	6,63	13,04	63,72	
37	100 м от трассы А144 (Аннинский р-н) / 100 m from the route А144 (Anna district)	2,89	0,004	0,12	0,27	3,12	7,07	7,80	11,55	55,17	
38	200 м от трассы А144 (Аннинский р-н) / 200 m from the route А144 (Anna district)	2,01	0,004	0,12	0,23	2,98	6,31	6,31	9,75	41,05	
39	300 м от трассы А144 (Аннинский р-н) / 300 m from the route А144 (Anna district)	1,52	0,003	0,04	0,18	2,94	5,38	3,85	9,59	32,98	
40	Вдоль трассы М4 (Павловский р-н) / Along the М4 route (Pavlovsk district)	3,01	0,005	0,12	0,27	4,04	6,18	9,65	14,81	61,05	
41	100 м от трассы М4 (Павловский р-н) / 100 m from the М4 route (Pavlovsky district)	2,56	0,005	0,17	0,25	3,87	4,88	7,02	12,98	56,15	
42	200 м от трассы М4 (Павловский р-н) / 200 m from the М4 route (Pavlovsky district)	2,08	0,005	0,12	0,21	2,98	3,94	7,67	10,64	51,59	
43	300 м от трассы М4 (Павловский р-н) / 300 m from the М4 route (Pavlovsky district)	1,97	0,005	0,09	0,15	3,15	3,42	4,26	9,49	42,77	
44	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский р-н) / Along the non-high-speed road (Boguchar district)	2,01	0,003	0,07	0,31	2,70	4,79	3,52	9,75	45,84	
45	100 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) / 100 m from non-high-speed road (Boguchar district)	1,72	0,003	0,04	0,27	2,54	4,86	4,09	8,60	41,73	
46	200 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) / 200 m from non-high-speed road (Boguchar district)	1,41	0,003	0,04	0,25	2,42	3,38	3,86	8,25	37,16	
47	300 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) / 300 m from non-high-speed road (Boguchar district)	1,38	0,003	0,04	0,20	2,16	3,60	4,78	8,09	37,39	
48	Вдоль железной дороги / Along the railroad	3,09	0,004	0,22	0,43	3,82	7,35	9,63	16,62	53,04	
49	100 м от железной дороги / 100 m from the railroad	2,14	0,004	0,24	0,41	3,51	5,07	5,72	14,23	49,63	
50	200 м от железной дороги / 200 m from the railroad	1,06	0,003	0,18	0,37	3,26	4,20	4,12	10,56	42,46	
51	300 м от железной дороги / 300 m from the railroad	1,01	0,003	0,17	0,31	3,17	3,75	4,22	8,79	39,95	
Среднее содержание элемента в сырье / Average element content of raw material		2,17	0,004	0,12	0,31	3,14	5,38	5,78	9,97	43,21	
Предельно допустимая концентрация / Threshold limit value		6,0	0,1	1,0	0,5	—	—	—	—	—	



Карта отбора образцов (обозначения см. табл. 1) (цвет online)
Sampling card (designations see Table 1) (color online)

В образцах определяли концентрацию наиболее токсичных элементов: свинца, мышьяка, ртути, кадмия, никеля, цинка, кобальта, хрома и меди. Каждое определение проводили трехкратно. Результаты исследований проверялись методами математической статистики.

Результаты и их обсуждение

Средние значения содержания тяжелых металлов и мышьяка в отобранных образцах корней лопуха обыкновенного представлены в табл. 1.

Содержание элементов так называемой «страшной тройцы» – свинца, ртути, кадмия в отобранных образцах лекарственного растительного сырья лопуха обыкновенного не превышает установленных фармакопейной статьей норм [4].

Концентрация свинца в изучаемых корнях лопуха обыкновенного варьировала от 0,59 до 4,88 мг/кг. Все образцы соответствуют требованиям фармакопейной статьи по содержанию данного элемента. Наиболее высокие концентрации свинца отмечены в изучаемых образцах с территорий, расположенных вблизи промышленных предприятий ООО «Сибур», ООО «Бор-маш», ОАО «Минудобрения», вблизи аэропорта,

на улице г. Воронежа, вдоль трассы М4 и вдоль железнодорожного полотна. Сравнивая полученные значения с содержанием свинца в почвах районов, в которых производился сбор образцов (от 1,71 до 34,57 мг/кг) [5, 6], можно сделать вывод о малом накоплении металла корнями лопуха обыкновенного. Данный факт можно связать с низкой растворимостью свинца в почвенном растворе, а также способностью его образовывать устойчивые комплексы с почвенными коллоидами, что делает элемент малодоступным для растения [7–10].

Содержание солей ртути в изучаемых объектах невысоко и колебалось от 0,003 до 0,006 мг/кг, что более, чем в десять раз меньше предельно допустимой концентрации, установленной фармакопейной статьей в 0,1 мг/кг. Концентрация ртути в почвах районов произрастания анализируемых корней лопуха обыкновенного значительно больше – от 0,01 до 0,24 мг/кг [6]. Ртуть способна образовывать прочные ртутьорганические комплексы в почвенном растворе с органическими и неорганическими кислотами, что делает ее малодоступной для растений [7, 8].



Концентрация кадмия в корнях лопуха обыкновенного, заготовленного на территории Воронежской области, варьировала от 0,02 до 0,28 мг/кг и не превышала предельно допустимой концентрации, установленной фармакопейной статьей в 1,0 мг/кг. Концентрация кадмия в почвах изучаемых территорий варьировала от 0,02 до 0,71 мг/кг [6]. Анализ полученных результатов показал наличие обратной пропорциональности между содержанием металла в почве и в изучаемом виде сырья. При низкой концентрации кадмия в верхних слоях почв, элемент накапливался примерно в такой же концентрации в корнях лопуха обыкновенного (например, для образцов контрольных зон), а при повышении содержания металла в почве степень его накопления в анализируемом сырье значительно снижалась (например, в образцах, собранных вдоль автомобильных трасс М4 и А144) [11,12].

Концентрация мышьяка, который в небольших количествах является жизненно необходимым элементом, участвующим в обмене фосфора, варьировала в корнях лопуха обыкновенного от 0,14 до 0,81 мг/кг. Содержание элемента в почвах изучаемых территорий отмечена на уровне от 0,55 до 3,81 мг/кг [6], что говорит о невысоком уровне накопления растительным сырьем данного токсиканта, что, вероятно, связано с наличием физиологического барьера, препятствующего избыточному поступлению мышьяка, который в больших количествах вызывает замедление роста растения и клеточный плазмоз [11].

Концентрация никеля в корнях лопуха обыкновенного отмечена в диапазоне варьирования от 1,37 до 5,94 мг/кг. При этом накопление никеля в корнях лопуха обыкновенного нельзя считать значительным. Так, уровень его содержания в верхних слоях почв изучаемых территорий на порядок выше – от 2,23 до 98,25 мг/кг [6]. По-видимому, в данном случае происходит блокировка растением накопления избытка токсиканта, вызывающего подавление процесса транспирации, остановку роста и развития растения [11, 13].

Уровень накопления хрома в корнях лопуха обыкновенного Воронежской области составил 1,37–5,94 мг/кг и является также невысоким при сопоставлении с содержанием хрома в верхних слоях почв (от 2,53 до 45,16 мг/кг) [6]. При низком содержании хрома в почве заповедных территорий, элемент накапливался в растительном сырье достаточно эффективно. Однако на территориях, испытывающих значительное антропогенное воздействие (на улицах городов, вблизи промышленных предприятий, вблизи

транспортных магистралей), корни лопуха обыкновенного содержали хром в концентрациях, значительно более низких, чем содержание его в верхних слоях почв. Это объясняется тем, что хром является жизненно необходимым для растительного организма элементом, активизирующим ряд биохимических процессов и ферментов, но избыток его может вызывать повреждение корней, поэтому возможно предположить наличие физиологических механизмов блокирования избыточного накопления хрома [8, 14].

Уровень накопления кобальта в корнях лопуха обыкновенного Воронежской области составил 2,17–13,85 мг/кг. Концентрация кобальта в почвах области гораздо значительнее – от 1,84 до 21,78 мг/кг [6]. При избытке кобальта в почвенном растворе происходит торможение поглощения и транспортировки других жизненно важных элементов (железа, марганца). Вероятно, с этим связано развитие механизмов физиологического барьера, препятствующего чрезмерному накоплению данного металла [15, 16].

Для корней лопуха обыкновенного отмечена способность к накоплению меди. Так, при содержании металла в почвах изучаемых территорий на уровне от 3,30 до 65,38 мг/кг [6], концентрация его в лекарственном растительном сырье составляла 5,31–16,62 мг/кг. В ряде (в 22 из 51) образцов сырья лопуха обыкновенного, особенно произраставших на контрольных территориях и в условиях агробиоценозов, концентрация данного элемента в сырье выше, чем в почвах соответствующих районов. Медь – физиологически важный элемент, участвует в процессе фотосинтеза, активизирует углеводный и азотный обмены, повышает сопротивляемость растительного организма к инфекционным заболеваниям, увеличивает засухоустойчивость [12, 17, 18].

Корни лопуха обыкновенного активно накапливают цинк, содержание которого в образцах варьировало от 21,04 до 76,37 мг/кг, при концентрации металла в верхних слоях почв анализируемых территорий от 9,58 до 154,45 мг/кг [6]. Примерно в половине изученных образцов концентрация металла в сырье лопуха обыкновенного оказалось выше, чем в почве мест произрастания. Достаточно высокая степень накопления элемента связана 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. Для цинка, как и для меди, заметных физиологиче-



ских барьеров накопления элементов из почв лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного не отмечено: при повышении концентрации металла в почве содержание его в лекарственном растительном сырье также заметно увеличивалось [6, 12, 18].

На основании полученных данных можно предполагать, что для лопуха обыкновенного в условиях антропогенной нагрузки происходит формирование экотипа, формирующегося под влиянием почвенно-грунтовых условий в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям. Аналогичное формирование эдафотипов с имеющимся выраженным физиологическим барьером к накоплению из почв токсичных элементов было отмечено и для других высших растений, заготовленных в различных с экологической точки зрения районах Воронежской области, – подорожника большого (на примере исследования листьев данного объекта), а также горца птичьего и полыни горькой (при изучении надземной части растений) [2, 19, 20].

Гипотеза о согласованности значений эксперимента проверялась путем анализа их распределения. Для данного рода исследований, связанных с оценкой выборочной дисперсии, наиболее часто используют *F*-критерий Фишера [21], но при числе более двух он недостаточно эффективен, так как при этом в оценке участвуют только наибольшая и наименьшая дисперсии, в связи с чем для проверки однородности дисперсий применяют *G*-критерий Кохрена [22].

Оценка значимости исследуемых данных в целом осуществляется при помощи параметрического *F*-критерия Фишера (*F*-распределения), который служит для определения достоверности различий между дисперсиями полученных результатов и показывает уровень однородности данных в выборках [23]. Для получения значений указанных критериев произведем расчет арифметического среднего – X_{cp} ; стандартной ошибки – S_x ; дисперсии – S^2 ; стандартного отклонения (оно же среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации) – S (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Внутригрупповая обработка значений содержания концентрации тяжелых металлов
Intra-group treatment of heavy metal concentration values

Наименование исследуемых параметров / Name parameters to be examined	X_{cp}	S	S^2	S_x	F	$F_{табл}$	G	$G_{крит}$
Свинец / Lead	2,17235	0,94212	0,88759	0,13192	2,33	1,37	0,89	0,06
Ртуть / Mercury	0,00417	0,00086	$7,4 \times 10^{-7}$	0,00012				
Кадмий / Cadmium	0,12313	0,06354	0,00403	0,00889				
Мышьяк / Arsenic	0,30745	0,13408	0,01797	0,01877				
Никель / Nickel	3,13784	0,8856	0,78428	0,12400				
Хром / Chrome	5,37686	2,23428	4,99202	0,31286				
Кобальт / Cobalt	5,78156	2,46112	6,05714	0,34462				
Медь / Copper	9,97333	2,34972	5,52120	0,32902				
Цинк / Zinc	43,2084	12,78726	163,514	1,79057				

Представленный в табл. 2 анализ по выборке содержания тяжелых металлов в сравнении между собой показывает их статистическую незначимость $F > F_{табл}$ и $G > G_{крит}$ в большей степени зависящую от большого разброса параметров (различия размерности) содержания вещества, следовательно, для проведения более достоверной оценки целесообразно рассматривать сравнение содержания металлов по регионам (табл. 3).

Из анализа данных табл. 3 следует, что исследование параметров концентрации тяжелых металлов среди районов сбора сырья позволили

получить значения $F = 0,46 < F_{табл} = 1,38$ и $G = 0,048 < G_{крит} = 0,17$, что обуславливает гипотезу об однородности данных, и подтверждает, результаты эксперимента статистически надёжны и не имеют случайных событий.

Заключение

Был проанализирован 51 образец корней лопуха обыкновенного, заготовленных в различных по уровню антропогенного воздействия районах Воронежской области, на предмет содержания тяжелых металлов и мышьяка. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних сло-

Межгрупповая обработка значений содержания концентрации тяжелых металлов
Intergroup treatment of heavy metal concentration values

№ п/п	X_{cp}	S	S^2	S_x	№ п/п	X_{cp}	S	S^2	S_x
1	2,0930	2,6551	7,0495	0,93872	27	3,5833	3,7790	14,2807	1,33607
2	2,1766	2,7649	7,6446	0,97753	28	4,0670	3,8528	14,8439	1,36216
3	2,2854	3,1853	10,1462	1,12618	29	2,5994	2,2156	4,9088	0,78333
4	2,8905	3,7142	13,7956	1,31318	30	3,4705	3,2578	10,6132	1,15180
5	2,6105	3,2035	10,2621	1,13259	31	5,0469	5,5215	30,4869	1,95214
6	3,6506	4,0691	16,5579	1,43866	32	4,7430	5,3876	29,0258	1,90479
7	3,2705	3,3925	11,5090	1,19942	33	3,7269	4,1127	16,9146	1,45407
8	2,1619	2,2618	5,1157	0,79967	34	2,7243	3,0038	9,0227	1,06200
9	3,0130	2,8992	8,4053	1,02502	35	2,5806	3,1138	9,6959	1,10091
10	2,9919	3,2860	10,7980	1,16179	36	4,5354	4,7637	22,6925	1,68421
11	3,0368	3,2717	10,7037	1,15670	37	4,1030	4,2716	18,2463	1,51023
12	2,8429	2,7934	7,8031	0,98762	38	3,4643	3,6189	13,0963	1,27947
13	2,8666	3,1897	10,1742	1,12773	39	2,9379	3,3311	11,0963	1,17773
14	3,5980	3,8005	14,4439	1,34368	40	4,7606	5,2754	27,8302	1,86515
15	2,9119	3,0349	9,2108	1,07301	41	3,9669	4,4289	19,6155	1,56587
16	2,5130	2,5304	6,4027	0,89462	42	3,4556	3,8785	15,0424	1,37124
17	3,0319	3,1471	9,9043	1,11267	43	2,8169	3,1681	10,0371	1,12011
18	2,7506	3,0319	9,1924	1,07194	44	2,8941	3,2693	10,6886	1,15589
19	3,3405	3,7624	14,1553	1,33019	45	2,7654	2,9908	8,9448	1,05740
20	3,2893	3,3911	11,4998	1,19895	46	2,4516	2,7829	7,7445	0,98390
21	2,9716	3,3694	11,3530	1,19127	47	2,5316	2,8434	8,0850	1,00530
22	3,1593	2,8793	8,2903	1,01798	48	5,1455	5,8008	33,6498	2,05091
23	5,9531	5,8521	34,2465	2,06901	49	3,9155	4,7116	22,1989	1,66579
24	5,8381	5,4570	29,7787	1,92934	50	2,9691	3,5360	12,5033	1,25016
25	4,1456	4,0552	16,4444	1,43372	51	2,6779	2,9991	8,9944	1,06033
26	4,0131	4,0605	16,4875	1,43559					

яч почв региона и содержание этих элементов в сырье лопуха обыкновенного, 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, лопух обыкновенный способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (например, такие как медь и цинк). На основании этого можно предполагать, что для лопуха обыкновенного в условиях антропогенной нагрузки происходит формирование экотипа, формирующегося под влиянием почвенно-грунтовых условий в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям. Аналогичное формирование эдафотипов

с имеющимся выраженным физиологическим барьером к накоплению из почв токсичных элементов было отмечено и для других высших растений, заготовленных в различных с экологической точки зрения районах Воронежской области, – подорожника большого (на примере исследования листьев данного объекта), а также горца птичьего и полыни горькой (при изучении надземной части растений) [2, 19, 20].

Список литературы

1. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П. Сравнение особенностей накопления основных токсических элементов цветками липы сердцевидной и пижмы обыкновенной // Вестник ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2017. № 1. С. 148–154.
2. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П. Изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка и оценка



- влияния поллютантов на содержание флавоноидов у *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae) // Вестник Камчатского технического государственного университета. 2019. № 48. С. 71–77.
- Государственная фармакопея Российской Федерации. Изд. XIV. Т. 2. М.: ФЭМБ, 2018. 1423 с.
 - 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. С. 100–107.
 - 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. Сер. Естественные, технические и медицинские науки. 2013. № 3. С. 190–192.
 - Дьякова Н. А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИрГСХА. 2019. № 95. С. 19–30.
 - 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. Вып. 3. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (дата обращения: 10.02.2020).
 - Немерешина О. Н., Гусев Н. Ф., Петрова Г. В., Шайхутдинова А. А. Некоторые аспекты адаптации *Polygonum aviculare* L. к загрязнению почвы тяжёлыми металлами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1 (33). С. 230–234.
 - Rai A., Kulshrestha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants // Journal of Food, Agriculture & Environment. 2006. Vol. 4. P. 253–259.
 - Шигабаева Г. Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. № 1. С. 92–102.
 - Попп Я. И., Бокова Т. И. Содержание кадмия в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник КрасГАУ. 2017. № 3. С. 105–113.
 - 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. С. 84–92.
 - Austenfeld F. A. Zur Phytotoxizität von Nickel und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. // Z. Pflanzenenern. und Bodenkunde. 1979. № 6. S. 769–777.
 - Sharma D. S., Chatterjee C., Sharma C. P. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism // Plant. Sci. 1995. № 2. P. 145–151.
 - Cataldo D. A., Wildung R. E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants // Environ Health Perspect. 1978. December 27. P. 149–159.
 - 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.
 - Speak A. F., Rothwell J. J., Lindley S. J., Smith C. L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city // Atmospheric Environment. 2012. Vol. 61. P. 283–293.
 - 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. № 16. P. 2920–2932.
 - Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка листьями подорожника большого // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 232–239. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239>
 - Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка травой 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>
 - Мойзес Б. Б., Плотникова И. В., Редько Л. А. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных. Томск: Изд-во ТГПУ, 2016. 119 с.
 - Бондарчук С. С., Бондарчук И. С. Статобработка экспериментальных данных в MS Excel. Томск: Изд-во ТГПУ, 2018. 433 с.
 - Пучков Н. П. Математическая статистика. Применение в профессиональной деятельности: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2013. 80 с.

References

- Dyakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P. Comparison of features of accumulation of the basic toxic elements flowers of a linden heart-shaped and tansies ordinary. *VSU bulletin. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*, 2017, no. 1, pp. 148–154 (in Russian).
- Dyakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P. Study of accumulation of heavy metals and arsenic and assessment of the influence of pollutants on the content of flavonoids in *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae). *Journal of Kamchatka Technical State University*, 2019, no. 48, pp. 71–77 (in Russian).
- Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii. *Izдание XIV* [State Pharmacopeia of the Russian Federation. Edition XIV]. Moscow, FEMB Publ., 2018, vol. 2. 1423 p. (in Russian).
- Popp Y. I., Bokova T. I. Copper content in medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of the Oman State Agrarian University*, 2016, no. 3, pp. 100–107 (in Russian).
- Zaytseva M. V., Kravchenko A. L., Stekol'nikov Y. A., Sotnikov V. A. Heavy metals in a system the soil plant in the conditions of pollution. *Scientists notes of Oryol State University. Series: Natural, Technical and Medical Sciences*, 2013, no. 3, pp. 190–192 (in Russian).
- Dyakova N. A. Assessment of contamination by heavy metals of upper soil layers of urban and agro-eco-



- systems of the Central Black Earth. *Journal of the Irkutsk State Agricultural Academy*, 2019, no. 95, pp. 19–30 (in Russian).
7. Semenova I. N., Singizova G. S., Zulkaranaev A. B., Il'bulova G. S. Effects of copper and lead on plant growth and development as exemplified by *Anethum graveolens* L. *Modern Problems of Science and Education*, 2015, iss. 3. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (accessed 10 February 2020) (in Russian).
 8. Nemereshina O. N., Gusev N. F., Petrova G. V., Shajhutdinova A. A. Some aspects of adaptation of *Polygonum aviculare* L. to pollution of the soil heavy metals. *News of the Orenburg State Agrarian University*, 2012, no. 1 (33), pp. 230–234 (in Russian).
 9. Rai A., Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2006, vol. 4, pp. 253–259.
 10. Shigabayeva G. N. Heavy metals in soils of some districts of Tyumen. *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and environmental management*, 2015, no. 1, pp. 92–102 (in Russian).
 11. Popp Y. I., Bokova T. I. Cadmium content in medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2017, no. 3, pp. 105–113 (in Russian).
 12. Popp Y. I., Bokova T. I. Content of zinc, copper and cadmium in various types of medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of Novosibirsk State Agrarian University*, 2017, no. 1, pp. 84–92 (in Russian).
 13. Austenfeld F. A. Zur Phytotoxizität von Nickel und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. *Z. Pflanzenernähr. und Bodenkunde*, 1979, no. 6, S. 769–777 (in German).
 14. Sharma D. S., Chatterjee C., Sharma C. P. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism. *Plant. Sci.*, 1995, no. 2, pp. 145–151.
 15. Cataldo D. A., Wildung R. E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. *Environ Health Perspect*, 1978, December 27, pp. 149–159.
 16. 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, no. 6, pp. 511–515.
 17. Speak A. F., Rothwell J. J., Lindley S. J., Smith C. L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 61, pp. 283–293.
 18. 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, no. 16, pp. 2920–2932.
 19. Dyakova N. A. Accumulation of Heavy Metals and Arsenic in the Leaves of Plantago Major. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 232–239 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239>
 20. Dyakova N. A. Accumulation of Heavy Metals and Arsenic by Medicinal Plant Raw Material of Bitter Hollow. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 4, pp. 445–453 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453>
 21. Mojzes B. B., Plotnikova I. V., Red'ko L. A. *Statisticheskie metody kontrolya kachestva i obrabotka eksperimental'nykh dannykh* [Statistical Methods of Quality Control and Processing of Experimental Data]. Tomsk, Izd-vo TGPU, 2016. 119 p. (in Russian).
 22. Bondarchuk S. S., Bondarchuk I. S. *Statobrabotka eksperimental'nykh dannykh v MS Excel* [Statistical Processing of Experimental Data at MS Excel]. Tomsk, Izd-vo TGPU, 2018. 433 p. (in Russian).
 23. Puchkov N. P. *Matematicheskaya statistika. Primenenie v professional'noj deyatel'nosti: uchebnoe posobie* [Mathematical Statistics. Application in Professional Activities: Training Manual]. Tambov, Izd-vo TGTU, 2013. 80 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 03.12.2020, после рецензирования 05.03.21, принята к публикации 08.03.21
Received 03.12.2020, revised 05.03.21, accepted 08.03.21