

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 504.054:546.3+582.893 (470.331)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО НА АНТРОПОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

А.Ф. Мейсунова, С.В. Забенкова

Тверской государственный университет, Тверь

Изучен элементный состав системы почва–растение у борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в агро- и урбоэкосистемах в окрестностях г. Твери. В почве выявлен 21 элемент (As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Pb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn). В органах растения обнаружено только 18 элементов, не отмечены калий, мышьяк и свинец. При превышающем значения ПДК содержании мышьяка в почве борщевиком Сосновского он не накапливается. Растение активно поглощает бор, медь, кальций (группа элементов энергичного и сильного поглощения). Хром, ванадий, титан и олово накапливаются медленно (группа элементов слабого захвата). В надземных органах уровень содержания элементов выше, чем в корнях. Выявлен характер локализации элементов в органах растения. В листьях концентрируются кальций, бор, барий, литий, марганец, молибден, цинк, кадмий, олово и сурьма; в стеблях – магний, натрий и титан; в корнях – медь, железо, хром, ванадий и вольфрам.

Ключевые слова: АЭС-ИСП-анализ, борщевик Сосновского, металлы, макро- и микроэлементы, вегетативные органы, мониторинг, корень, стебель, листья, загрязнение, Тверская область.

DOI: 10.26456/vtbio154

Введение. Крупное травянистое растение из семейства Apiaceae (сельдерейные) борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) активно расселяется на территории Европейской части России и Урале (Баранова, Брэлгина, 2015; Кондратьев, 2015; Озерова и др., 2017). Распространение этого вида создает реальную угрозу биологическому разнообразию естественных природных экосистем, а также большой опасностью для человека. Контроль динамики его натурализации является актуальной задачей современной биологии (Панасенко, 2016). Значительное внимание уделяется изучению факторов, которые ограничивают распространение этого вида. Преимущественно, такие исследования проводят на территориях «дичающих» агроэкосистем. Выяснено, что наличие микро- и мезодисперсий в агроэкосистемах,

плотный стеблестой и войлок засохшей травянисто-бурьянистой растительности затрудняет попадание плодов на поверхность почвы (Кондратьев и др., 2015).

С экологической точки зрения большой интерес представляет экспансия вида в крупных и средних городах с выраженной техногенной нагрузкой. Растение активно заселяет обочины дорог, свалки, пустыри промышленных зон, населенные пункты. Упомянуто, что загрязнение среды может быть ограничивающим фактором распространения борщевика Сосновского. Однако влияние загрязнения среды на растение изучено слабо (Якимович и др., 2011). Отмечено, что борщевик Сосновского в молодом возрасте чувствителен к действию высоких концентраций растворов, содержащих натрий (Кондратьева и др., 2015). Выявлены особенности накопления растением пяти тяжелых металлы (ТМ) (Товстик и др., 2018). Уточнено, что медь и цинк входят в группу энергичного накопления растением и преимущественно аккумулируются в надземных органах.

Актуальны исследования особенностей накопления более широкого спектра металлов растением на территориях с разным уровнем антропогенной трансформации, а также выяснение степени устойчивости вида к действию разных металлов, в том числе ТМ.

Удобной модельной территорией для изучения влияния загрязнения металлами на борщевик Сосновского может служить Тверская область, где этот вид широко распространен в агро- и урбоэкосистемах, встречается в административном центре области – г. Твери (Виноградова и др., 2011).

Цель работы – оценка содержания элементов в системе почва – растение у борщевика Сосновского. Задачи: 1) определение сети пунктов отбора образцов на антропогенно-трансформированных территориях Тверской области; 2) АЭС-ИСП-анализ содержания элементов в почве, а также в подземной (корень) и надземной (стебель, лист) частях растения; 3) сравнительный анализ уровня содержания элементов в вегетативных органах растения; 4) определение органов растения, накапливающих максимальные концентрации элементов, для использования данных показателей в биоиндикационном аспекте.

Методика. Объектом исследования служили пробы растения борщевика Сосновского: надземная (стебли, листья) и подземная (корни) части. Отбор проб органов растения производили одновременно с отбором проб почвы. Пунктами отбора (ПО) растительного материала и проб почвы служили места массового произрастания борщевика Сосновского, с разным уровнем трансформации территорий в г. Твери (урбоэкосистемы) и его окрестностях (агроэкосистемы) (рис. 1; табл. 1). В каждом ПО было взято по 3–5 образцов растения и почвы. Всего изучено 20 ПО и около 180 проб.

Таблица 1
Характеристика мест отбора образцов борщевика Сосновского в г. Твери и Тверской области

ПО	Название	Координаты	Потенциальные источники загрязнения	Вегетативные органы		
				стебель	корень	лист
г. Тверь и его окрестности						
1	ул. Индустриальная д. 6, стр. 1 (Пролетарский р-н)	56.841827, 35.954098	химическая отрасль: ОАО «Тверской завод вторичных полимеров», <i>автомобильный</i> (выезд на федеральную автомобильную дорогу М10)	+	+	+
2	ул. Бочкина, 23 (Московский р-н)	56.801573, 35.996068	<i>производство строительных материалов</i> : ООО «Тверской трубный завод»; <i>автомобильный</i> (выезд на федеральную автомобильную дорогу М10)	+	+	+
3	Волоколамский пр., 1 (Московский р-н)	56.847060, 35.920810	<i>легкая промышленность</i> : ОАО «Тверская швейная фабрика»; <i>автомобильный</i>	+	+	+
4	Бобачевская роша (Московский р-н)	56.830255, 35.936122	<i>машиностроение</i> : ОАО «Тверской экскаваторный завод», ЗАО «Тверской экспериментально-механический завод», ООО «Калининский энергомеханический завод»; ЗАО ПФК «Твердизельагрегат»; <i>химическая отрасль</i> : ОАО «Тверьхлопволокно – Полэфир», ОАО «Тверьхлопволокно – Вискоза», ОАО «Снбур-ПЭТФ», ООО «Гематек»; <i>автомобильный</i>	+	+	+
5	пр. Патона, 10 (Заволжский р-н)	56.859793, 35.934989	<i>производство строительных материалов</i> : ЗАО «Тверской комбинат строительных материалов № 2», ООО «Тверской кирпич»; ООО "Ингранском"; <i>автомобильный</i>	+	+	+
6	Б. Перемерки (Московский р-н)	56.821196, 35.947307	<i>химическая отрасль</i> : ООО«ПОЛИПЛАСТ»; <i>автомобильный</i> (выезд на федеральную автомобильную дорогу М10)	+	+	+

Тверская область								
7	п. Загородный в Калининском р-не (3 км от г. Твери)	56.921376, 35.970880	автомобильный транспорт, трасса Р 84 (Тверь-Бежецк)	+	+	+	+	+
8	дер. Александровка и ее окрестности в Калининском р-не (12 км от г. Твери)	56.944126, 36.010756	автомобильный транспорт, трасса Р 84 (Тверь-Бежецк)	+				+
9	дер. Глазково и ее окрестности в Калининском р-не (1 км от г. Твери)	56.898739, 35.923038	большой полигон ТБО; автомобильный транспорт, трасса Р 84 (Тверь-Бежецк), местная дорога Глазково-Васильевский Мох	+				+
10	Бежецкого ш., 21 км	56.929873, 35.996797	действующий полигон ТБО: ООО "Поллигон"; автомобильный транспорт, трасса Р 84 (Тверь-Бежецк)	+				+

Собранные образцы растений и пробы почв доставляли в лабораторию ЦКП ТвГУ. Для оценки содержания элементов в вегетативных органах растения и пробах почв использовали АЭС-ИСП-спектрометр iCAP 6300 Duo (Thermo Scientific, США) по стандартной методике (Мейсурова, Нотов, 2016; ПНДФ ..., 98). Полученные концентрации выявленных элементов в изученном растительном материале сравнили с ПДК металлов (Шаназарова, 2015); в пробах почв – с ПДК (ОДК) (ГН 2.1.7.2041-06, 2006; ГН 2.1.7.2511-09, 2009).



Рис. 1. Схема расположения ПО борщевика Сосновского в г. Твери (ПО 1–6) и Тверской области (7–10)

Интенсивность поглощения элементов борщевиком оценивали с помощью коэффициента биологического поглощения (КБП) (Ковалевский, 1991). КБП рассчитывали, как отношение среднего содержания элементов в золе растений к среднему содержанию элементов в корнеобитаемом слое почвы. По интенсивности биологического поглощения можно выделить следующие группы: 1 – элементы энергичного поглощения (КБП = 10–100); 2 – сильного поглощения (КБП = 1–10); 3 – слабого поглощения и среднего захвата (КБП = 0,1–1); 4 – элементы слабого захвата (КБП = 0,01–0,1); 5 – очень слабого захвата (КБП = 0,001–0,01).

Статистическая обработка данных и определение параметров (число проб конкретной выборки, среднее значение, стандартное

отклонение, коэффициенты вариации и корреляции, *t*-критерий Стьюдента и др.) проводили с помощью стандартных методов математической статистики с использованием лицензионных программных продуктов Microsoft Office Excel 2013 (Мейсурова, Нотов, 2020).

Результаты и обсуждение

Элементный анализ почв. С помощью АЭС-ИСП-анализа в пробах почв ПО 1–10 обнаружили 21 элемент (As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Pb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn) (табл. 2). Среди выявленных элементов отмечены макро- (K, Ca, Mg, Na) и микроэлементы (B, Ba, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn), а также тяжелые металлы и металлоиды (ТМ) (As, Cd, Cr, Pb, Sn, Sr, Ti, V, W) (Голубкина и др., 2019). По степени токсичности обнаруженные элементы представляют следующие классы опасности: 1 класс – высокоопасные (As, Cd, Hg, Se, Pd, Zn); 2 класс – умеренно опасные (B, Co, Ni, Mo, Cu); 3 класс – малоопасные (Ba, V, W, Mn, Sr) (Мейсурова, 2017). Общими элементами для всех проб почв являются 19 элементов (As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Pb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn). В пробах почв из ПО 1–2 отсутствовал бор, в пробах почв из ПО 10 – натрий (табл. 2).

Уровень содержания элементов в почвах отличается. Содержание большинства элементов в пробах почв не превышает значения ПДК (ОДК). Однако валовое и среднее содержание некоторых элементов в пробах почв выше значений ПДК(ОДК). Среди них, олово (14 ПДК), железо (5,5 ПДК), мышьяк (5,3 ПДК, 2 ОДК), хром (2,8 ПДК).

Отметим, что наибольшее число элементов, имеющих максимальные значения валовых концентраций обнаружено в пробах почв из ПО 6 (Cu, Fe, Cd, Cr, Sn, Ni, V) и ПО 5 (K, B, Ba, As, Ti). Оба пункта располагаются в промзонах промышленных предприятий разных отраслей (химическая, производство строительных материалов) в г. Твери (рис. 1; табл. 1).

Корреляционный анализ показал значимые сильные прямые ($r \geq 0,8$) и обратные связи ($-1 < r < -0,8$) между элементами: Ca–Zn ($r=0,76$); Ca–V ($r=0,79$); Mg–Na ($r=0,87$); Mg–W ($r=0,78$); B–As ($r=0,94$); Li–Sn ($r=-0,90$).

Элементный анализ надземной и подземной частей растений. С помощью АЭС-ИСП-анализа в образцах всех вегетативных органов растений было обнаружено – 18 элементов (Ca, Mg, Na, B, Ba, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn, Cd, Cr, Sn, Sr, Ti, V, W). В органах растений не были выявлены некоторые макроэлементы (калий) и ТМ (свинец и мышьяк). Однако они встречаются в почве, на которой росли растения.

Таблица 2
Значения валовых и средних концентраций элементов на изученных территориях (ПО 1–10), мг/кг

Элемент	ПО										С сред	ПДК ¹	ОДК ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Макроэлементы													
K	583±8,4	562,4±1,2	660,7±7,4	560,1±2,6	670,9±2,7	451,5±2,6	542,8±1,3	401,2±2,2	459,7±1,8	668,4±5,1	556,07		
Ca	3296±22	4642±30	10947±54	6591±48	9702±45	14901±44	15702±101	12836±50	5647±67	5028±49	8929,2		
Mg	834±44,8	1107±2,8	1905,3±28	992±3,6	993,1±38	1022±15	2006±6,6	809,4±2,5	1295,5±25,8	968±	1193,23		
Na	8,9±3,18	16,22±11,2	43,5±7,7	12,9±8,68	23,65±3,4	1,1±0,2	51,84±10,05	1,6±0,1	43,12±4,5	–	20,28		
Микроэлементы													
B	–	–	1,2±0,08	0,54±1,66	1,6±0,5	0,11±0,23	0,32±1,04	0,4±0,78	0,56±1,11	1,3±0,65	0,6		
Ba	38,36±0,18	30,02±0,36	51,45±0,4	41,99±0,42	55±1,23	49,1±0,33	42,22±0,32	47,64±0,15	22,6±0,44	50,08±0,54	42,85		
Cu	7,36±0,7	5,06±0,24	8,93±0,44	10,45±0,63	10,4±0,54	14,1±0,6	13,28±0,35	6,6±0,8	12,5±0,42	12,16±0,24	10,08	55	66
Fe	5252±6	5288±44	5471±84	4580±77	5568±57	6159±44	5774±24	6129±65	4901±21	6010±53	5513,2	1000	
Li	3,94±0,14	4,32±0,24	3,97±0,04	4,1±0,28	4,4±0,3	2,98±0,14	3,82±0,17	5,5±0,27	5,1±0,06	3±0,15	4,11		
Mn	250,6±1,2	212±2,4	309,5±1,88	202,1±2,2	401±3,3	335±1,9	156,08±1,92	401,1±3,67	340,5±1,04	332±1,2	293,99	1500	
Mo	0,46±0,08	0,34±0,02	0,66±0,08	0,41±0,04	0,12±0,05	0,29±0,01	0,48±0,04	0,31±0,02	0,46±0,06	0,56±0,01	0,41	2	
Zn	30,18±0,06	15,78±0,18	47,02±0,5	35,67±0,1	77,83±0,44	46,5±0,5	106,38±0,17	110,54±0,18	10,65±0,22	38,84±0,1	51,94	100	110
Тяжелые металлы													
As	7,7±0,98	8,96±0,44	11,2±1,12	10,45±1,36	13,6±0,94	9,4±1,05	9,68±0,12	10,33±0,56	11,16±0,32	12,45±0,1	10,49	2	5
Cd	0,24±0	0,2±0	0,34±0	0,4±0,01	0,4±0	0,56±0,01	0,3±0,01	0,55±0	0,3±0,02	0,26±0,01	0,36	2	1
Cr	16,02±0,62	14,8±0,54	17±0,26	18,9±0,24	19,8±0,44	21,4±0,58	20,72±0,32	13,4±0,45	10,1±0,27	12,96±0,28	16,51	6	
Pb	14,36±0,84	8,8±0,14	7,6±0,22	15,1±0,32	7,21±0,77	16,99±0,34	17,18±0,65	12,3±0,1	21,1±0,27	9,88±0,7	13,05	32	65
Sn	60,48±13,88	61,16±13,6	64,38±4,18	65,4±7,32	66±12,04	81,1±5,66	58,98±10,04	44,67±8,92	52,87±3,12	71,68±5,5	62,67	4,5	
Sr	26,72±0,02	19,66±0,4	41,3±0,64	32,44±0,18	20,09±0,51	33,67±0,4	37,9±0,05	34,6±0,29	14,2±0,33	38,44±0,03	29,9		
Ti	179,76±1,18	156,42±0,81	170,05±2,14	164,55±2,58	180,02±2,11	144,68±2,22	171,18±1,93	145,6±0,1	110,59±0,2	132,84±2,11	155,57		
V	6,5±0,12	6,72±0,06	7,08±0,15	6,54±0,1	7,98±0,05	8,75±0,1	8,12±0,1	7,94±0,2	5,47±0,07	4,32±0,18	6,94	150	НЕТ
W	2,36±0,32	1,24±0,86	11,5±0,22	10,5±1,44	2,22±0,85	0,76±1,22	12,2±1,54	2,34±0,45	5,06±0,43	2,62±0,01	5,08	НЕТ	НЕТ

Примечание: «–» – элемент не выявлен; ^{1,2} – по: Мейсурова, Иванова, 2018

Таблица 3
 Значения валовых и средних концентраций элементов в разных вегетативных органах
 борщевка Сосновского из разных мест сбора (ПО 1–10), мг/кг

ПО	Элементы																		
	Ca	Mg	Na	B	Va	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Zn	Cd	Cr	Sn	Sr	Ti	V	W	
	подземная часть (корень)																		
1	6768	2786	4,44	24,06	5,68	11,34	416,6	7,44	74,14	0,62	57,16	0,06	2,14	2,64	5,9	14,12	0,74	5,74	
2	6238	238	1,02	11,76	8,2	6,7	156,74	2,78	39,3	0,18	33,64	0,06	0,74	–	13,02	6,12	0,28	2,42	
3	7891	1035	7,12	17,89	8	8,12	235,19	4,56	89,03	0,74	25,67	0,07	0,95	0,01	6,1	10,1	0,22	7,01	
4	11043	1943,07	6,79	21,2	7,7	21,3	458,4	3,66	76,07	0,1	51,62	0,1	0,9	1,2	10,12	5,12	0,56	4,3	
5	9215	764,23	4,67	31,5	2,3	12,39	210,45	3,1	55,7	0,5	55,8	0,08	0,5	1,01	4,4	4,13	0,15	6	
6	6980	1008	2,66	28,78	4,26	18,08	160,48	2,46	86,04	0,46	83,78	0,06	0,86	–	5,6	4,22	0,18	3,4	
7	10100	1688,8	10,38	13,42	6,94	6,36	216,6	3	29,1	0,28	29,06	0,08	1	1,22	8,9	7,5	0,44	6,46	
8	7201	543,1	5,21	15,67	7,8	14,6	135,33	2,65	65,43	0,34	44,07	0,05	1,2	0,4	9,4	5,09	0,19	5,91	
9	5601	598,2	2,85	33,4	6,78	8,9	170,4	5,65	41,27	0,43	77,4	0,09	1,78	0,5	15	5,65	0,31	6,6	
10	6904	943,1	10,1	19,1	9	5,1	120,55	5,67	49,45	0,55	52,2	0,05	2,11	0,4	12,1	6,5	0,5	6,5	
Сред.	7794,10	1154,75	5,52	21,68	6,67	11,31	228,07	4,10	60,55	0,42	51,04	0,07	1,22	0,74	9,05	6,86	0,36	5,43	
	надземная часть (стебель)																		
1	21140	1889,6	7,64	23,72	32,8	2,22	35,5	6,08	35,1	0,18	20,72	0,06	0,3	–	48,8	1,12	0,08	2,5	
2	9744	2772	7,2	27,36	21,46	7,72	108,78	3,36	42,82	0,18	52,28	0,1	1,02	0,84	50,12	3,56	0,08	0,02	
3	9213	1265,44	36,1	30,78	21,88	5,5	32,45	4,3	27,8	0,2	11,78	0,12	1,01	0,13	31,1	10,54	0,06	0,5	
4	8976	1105,2	22,7	22,21	20,9	6,5	10,64	3,67	10,03	0,11	21,5	0,1	0,42	0,12	45,09	3,67	0,12	0,9	
5	10665	1395,1	19,76	41,33	29,6	6,1	43,12	5,66	30,1	0,21	10,86	0,1	0,98	0,1	30,06	12,1	0,054	2,01	
6	6512	1935,8	2,68	18,06	4,62	4,92	26,46	–	20	0,16	9,34	0,02	0,32	–	20,82	0,6	–	3,7	
7	24080	1518,8	40,66	44,48	58,84	8,42	394	8,06	18,6	0,46	37,8	0,18	2,06	3,62	67,16	14,3	0,82	2,18	
8	7604	1306	31,97	51,1	10,16	5,12	77,5	1,93	21,98	0,15	39,65	0,12	1,44	0,87	44,65	15,99	0,05	1,14	
9	3976	860,9	10,06	10,06	5,87	1,23	65	0,13	14,55	0,09	10,9	0,05	0,11	–	12,2	0,87	0,012	1,1	

		наземная часть (листв.)																
10	9708	1115,5	6,93	23,11	17,5	4,98	10,87	2,96	30,2	0,32	23,5	0,02	0,23	—	21,12	8,19	0,06	1,7
Сред.	11161,80	1516,43	18,57	29,22	22,36	5,27	80,43	3,64	25,12	0,21	23,83	0,09	0,79	0,57	37,11	7,09	0,13	1,58
1	18648	236	7,66	25,22	14,9	4,34	118,7	5,32	75,14	0,7	35,16	0,04	0,64	—	30,98	3,78	0,14	1,4
2	13798	2772	5,82	27,86	16,2	6,62	161,44	3,26	67,16	0,34	44,92	0,06	0,62	1,46	40,84	4	0,18	0,94
3	9405	773	16,75	44,1	27,6	7,1	223,8	11,54	89,1	0,65	41,25	0,09	0,14	0,99	35,6	6,23	0,19	7,8
4	10457	509	13,45	24,9	12,89	6,78	199,54	9,05	67,4	1,87	45,5	0,14	1,1	2,37	65,8	10,9	0,51	3,06
5	8701	209,12	31,22	42,08	21,99	7,1	209,1	15,1	54,6	3,001	80	0,05	0,88	0,5	49,01	5,8	0,45	1,99
6	27220	303,8	11,54	35,1	19,92	7,32	183,52	6,78	160,32	1,76	71,76	0,08	1,24	—	52,14	6,42	0,24	3,12
7	—	238	37,1	84,72	63,02	8,06	303,8	15,56	21,96	2,06	76,58	0,12	1,56	3,12	100,7	12,24	0,56	8,06
8	18594	1163	23,56	31,17	23,3	5,66	203	12,6	34,97	1,56	61,7	0,09	0,9	0,12	33,12	5,5	0,45	2,3
9	12005	657	10,5	41,78	29,43	4,56	120,42	10,95	65,22	2,01	55,01	0,2	0,8	1,2	58,4	11,1	0,22	1,5
10	12350	205,87	9,04	29,12	10,65	2,23	196,34	12,78	98,1	0,12	36,7	0,08	0,16	2,1	89,1	4,45	0,3	4,5
Сред.	13117,80	708,68	16,66	38,61	23,99	5,98	191,97	10,29	73,42	1,43	54,86	0,10	0,80	1,19	55,57	7,04	0,32	3,47
ПДК*						30	750		500		50	0,1	2					

Примечание: «←» – элемент не выявлен; * – по: Бессонова, Иванченко, 2011; Пименова, 2009; Янтурина, Аминева, 2013; Шанзарова, Акмагова, 2015.

Количественный анализ содержания металлов показал, что уровень содержания элементов в разных вегетативных органах отличается (табл. 3). В корнях борщевика Сосновского отмечены все 18 элементов. Среднее и валовое содержание всех элементов, для которых установлены значения ПДК, ниже нормативных значений за исключением цинка (табл. 3). Средняя концентрация этого элемента в корнях составляет 51,04 мг/кг (токсичная доза для растения 50 мг/кг). Максимальная валовая концентрация этого элемента выявлена в образцах из ПО 6 (1,7 ПДК). Наибольшее число элементов, имеющих максимальные значения валовых концентраций (Mg, Li, Cr, Sn, V, Ti) обнаружили в корнях в ПО 1. Для натрия отмечена взаимосвязь между уровнем его содержания в корнях и почвенных пробах. В корнях и почвенных пробах из ПО 7 выявлены максимальные концентрации этого элемента.

Корреляционный анализ выявил сильные прямые ($r \geq 0,8$) связи между элементами: Mg–Fe ($r=0,84$); Mg–Sn ($r=0,86$); Mg–V ($r=0,83$); B–Zn ($r=0,84$); Li–Cr ($r=0,86$).

Расчет средних значений коэффициентов биологического поглощения элементов растением (корень) показал, что группу элементов энергичного поглощения представляет микроэлемент бор (КПБ 49,1); сильного поглощения – кальций, магний, медь, цинк, молибден, литий, вольфрам (КПБ от 1,04 до 1,94); слабого поглощения и среднего захвата – натрий, сурьма, марганец, кадмий и барий (КПБ от 0,17 до 0,74); слабого захвата – хром, ванадий, железо, титан, олово (КПБ от 0,01 до 0,08) (табл. 4). Максимальные значения КПБ элементов характерны для двух пунктов – ПО 1 (Ca, Mg, Li, Sn, Ti) и ПО 9 (Ba, Zn, Cd, Cr, Sr).

В стеблях выявлено 18 элементов (Ca, Mg, Na, B, Ba, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn, Cd, Cr, Sn, Sr, Ti, V, W) (табл. 3). Содержание всех элементов в растении, для которых известны ПДК, ниже нормативных значений.

Уровень содержания большинства выявленных элементов в стеблях выше, чем в корнях. Однако концентрация шести элементов с стеблях выше, чем в корнях. Среди них сурьма (выше в 4,1 раза), барий и натрий (выше в 3,4 раза), а также кальций, магний, бор и кадмий (выше в 1,2–1,4 раза).

В стеблях борщевика большинство элементов с максимальной концентрацией (Ca, Na, B, Ba, Cu, Fe, Li, Mo, Cd, Sn, Sr, V) были зарегистрированы в пос. Загородный, где отсутствуют основные источники загрязнения (ПО 7). Однако в ПО 6, где находился раньше полигон ТБО, в стеблях отмечено наибольшее число элементов, имеющих минимальные значения концентраций.

Таблица 4

Коэффициент биологического поглощения элементов борщевиком
Сосновского (подземная часть)

Эл.	ПО										Сред.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ca	2,05	1,34	0,72	1,68	0,95	0,47	0,64	0,56	0,99	1,37	1,08
Mg	3,34	0,21	0,54	1,96	0,77	0,99	0,84	0,67	0,46	0,97	1,08
Na	0,5	0,06	0,16	0,53	0,2	2,42	0,2	3,26	0,07	–	0,74
B	–	–	14,91	39,26	19,69	261,64	41,94	39,18	59,64	14,69	49,10
Ba	0,15	0,27	0,16	0,18	0,04	0,09	0,16	0,16	0,3	0,18	0,17
Cu	1,5 4	1,3 2	0,91	2,04	1,19	1,28	0,49	2,21	0,71	0,42	1,21
Fe	0,08	0,03	0,04	0,1	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04
Li	1,89	0,64	1,15	0,89	0,7	0,83	0,79	0,48	1,11	1,89	1,04
Mn	0,3	0,19	0,29	0,38	0,14	0,26	0,19	0,16	0,12	0,15	0,22
Mo	1,35	0,53	1,12	0,24	4,17	1,59	0,58	1,1	0,93	0,98	1,26
Zn	1,89	2,13	0,55	1,45	0,72	1,8	0,27	0,4	7,27	1,34	1,78
Cd	0,25	0,3	0,21	0,25	0,2	0,11	0,27	0,09	0,3	0,19	0,22
Cr	0,13	0,05	0,06	0,05	0,03	0,04	0,05	0,09	0,18	0,16	0,08
Sn	0,04	–	–	0,02	0,02	–	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Sr	0,22	0,66	0,15	0,31	0,22	0,17	0,23	0,27	1,06	0,31	0,36
Ti	0,08	0,04	0,06	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04
V	0,11	0,04	0,03	0,09	0,02	0,02	0,05	0,02	0,06	0,12	0,06
W	2,43	1,95	0,61	0,41	2,7	4,47	0,53	2,53	1,3	2,48	1,94

Корреляционный анализ показал наличие между элементами сильных прямых связей: Ca–Ba ($r=0.91$); Ca–Li ($r=0.87$); Na–Cd ($r=0.88$); Na–Cr ($r=0.80$); Na–Ti ($r=0.80$); Ba–Li ($r=0.95$); Ba–V ($r=0.86$); Fe–Sn ($r=0.98$); Fe–V ($r=0.95$); Mo–V ($r=0.82$); Cd–Cr ($r=0.90$); Cr–Sn ($r=0.84$); Cr–Ti ($r=0.81$); Sn–V ($r=0.95$).

Расчет средних значений коэффициентов биологического поглощения элементов надземной частью растений (стебель) позволил выявить следующее распределение элементов по группам. Группу энергичного поглощения представляет микроэлемент бор (КПБ 55,93); сильного поглощения – натрий, кальций, магний, сурьма (КПБ от 1,31 до 2,82); слабого поглощения и среднего захвата – литий, медь, вольфрам, цинк, молибден, барий, кадмий (КПБ от 0,27 до 0,91); слабого захвата – марганец, хром, титан, ванадий, железо, олово (КБП от 0,01 до 0,09) (табл. 5).

В листьях борщевика Сосновского, как и в стеблях, выявлено 18 элементов (Ca, Mg, Na, B, Ba, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn, Cd, Cr, Sn, Sr, Ti, V, W) (табл. 3). Среднее содержание цинка в листьях, как и в корнях, выше нормы (1,1 ПДК). Среднее содержание кадмия на уровне ПДК.

Таблица 5

Коэффициент биологического поглощения элементов
борщевиком Сосновского (надземная часть – стебель)

Эл.	ПО										Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ca	6,41	2,1	0,84	1,36	1,1	0,44	1,53	0,59	0,7	1,93	1,70
Mg	2,27	2,5	0,66	1,11	1,4	1,89	0,76	1,61	0,66	1,15	1,40
Na	0,86	0,44	0,83	1,76	0,84	2,44	0,78	19,98	0,23	–	2,82
B	–	–	25,65	41,13	25,83	164,18	139	127,75	17,96	17,78	55,93
Ba	0,86	0,71	0,43	0,5	0,54	0,09	1,39	0,21	0,26	0,35	0,53
Cu	0,3 0	1,5 3	0,62	0,62	0,59	0,35	0,6 3	0,78	0,10	0,41	0,59
Fe	0,01	0,02	0,01	–	0,01	–	0,07	0,01	0,01	–	0,01
Li	1,54	0,82	1,08	0,9	1,29	–	2,11	0,35	0,03	0,99	0,91
Mn	0,14	0,2	0,09	0,05	0,08	0,06	0,12	0,05	0,04	0,09	0,09
Mo	0,39	0,53	0,3	0,27	1,75	0,55	0,96	0,48	0,2	0,57	0,60
Zn	0,69	3,31	0,25	0,6	0,14	0,2	0,36	0,36	1,02	0,61	0,75
Cd	0,25	0,5	0,35	0,25	0,25	0,04	0,6	0,22	0,17	0,08	0,27
Cr	0,02	0,07	0,06	0,02	0,05	0,01	0,1	0,11	0,01	0,02	0,05
Sn	–	0,01	–	–	–	–	0,06	0,02	–	–	0,01
Sr	1,83	2,55	0,75	1,39	1,5	0,62	1,77	1,29	0,86	0,55	1,31
Ti	0,01	0,02	0,06	0,02	0,07	–	0,08	0,11	0,01	0,06	0,04
V	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	–	0,1	0,01	–	0,01	0,02
W	1,06	0,02	0,04	0,09	0,91	4,87	0,18	0,49	0,22	0,65	0,85

Уровень среднего содержания большинства выявленных элементов в листьях выше, чем в стеблях (Ca, B, Ba, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn, Cd, Sn, Sr, V, W). Наиболее существенна разница в содержании по микроэлементам – молибдену (больше в 6,9 раз), марганцу, литию, железу, цинку, а также ТМ – ванадию и вольфраму (в 2,2–2,4 раза). Сравнение значений средних концентраций элементов в листьях и корнях показало разницу в содержании по 12 элементам. Содержание сурьмы, молибдена, бария и натрия в листьях больше в 3–6 раз, чем в корнях.

Как и в стеблях, большинство элементов в листьях с максимальной концентрацией (Na, B, Ba, Cu, Fe, Li, Cr, Sn, Sr, Ti, V, W) было зарегистрировано в пос. Загородный (ПО 7). Для натрия выявлена взаимосвязь между уровнем его содержания в надземной части растения и почвенных пробах: в стеблях, листьях и почвенных пробах из ПО 7 выявлены максимальные концентрации этого элемента.

Корреляционный анализ содержания элементов в листьях показал наличие следующих сильных прямых связей между элементами: Na–Li ($r=0.80$); B–Ba ($r=0.98$); Fe–W ($r=0.80$); Mo–Zn ($r=0.84$); Cd–Ti ($r=0.83$); Sn–Sr ($r=0.83$).

Расчет средних значений коэффициентов биологического поглощения элементов листьями позволил выделить следующее

распределение элементов по группам. Группу энергичного поглощения представляет микроэлемент бор (КПБ 86,79); сильного поглощения – молибден, натрий, литий, сурьма, кальций, цинк, вольфрам (КПБ от 1,10 до 5,36); слабого поглощения и среднего захвата – магний, медь, барий, кадмий, марганец (КПБ от 0,26 до 0,66); слабого захвата – хром, титан, ванадий, железо, олово (КБП от 0,01 до 0,09) (табл. 6).

Таким образом, с помощью АЭС-ИСП-анализа в почвах под моносообществами растения борщевика Сосновского выявлен 21 элемент (As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Pb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn). Среди них макро- и микроэлементы, а также ТМ. Состав элементов почвенных проб всех исследуемых ПО схож, за исключением трех ПО: ПО 1–2 отсутствует бор; ПО 10 – натрий. Содержание большинства элементов в пробах почв не превышает значения ПДК (ОДК), за исключением олова (14 ПДК), железа (5,5 ПДК), мышьяка (5,3 ПДК, 2 ОДК), хрома (2,8 ПДК). Самые высокие концентрации элементов отмечены в пробах почв из ПО, расположенных в городе.

В образцах борщевика Сосновского было обнаружено – 18 элементов. Составы элементов в его органах и почве аналогичны. Исключение составляют три элемента, которые не обнаружили в растениях – калий, свинец и мышьяк. Отсутствие мышьяка и свинца в борщевике, может косвенным образом свидетельствовать об устойчивости вида к этим элементам.

Среднее содержание элементов, для которых установлены нормативные значения, в образцах борщевика (поземная и надземная части) ниже ПДК. Исключением является цинк. Его среднее содержание в корнях несколько выше ПДК (54,04 мг/кг). В надземной части (стебель, лист), среднее содержание всех элементов ниже ПДК (табл. 3).

Уровень среднего содержания большинства выявленных элементов в борщевике меньше, чем в почве. Исключением являются пять элементов. Прежде всего, это бор, содержание которого в борщевике в 49,5 раз выше, чем в почве. По величине интенсивности биологического поглощения растения в целом бор представляет группу энергичного поглощения. Борщевик Сосновского является «сверхконцентратором» бора (Макро- и микрочудеса..., 2020). Бор играет важную роль в формировании генеративных органов и процессе оплодотворения. Он ускоряет прорастание пыльцы на рыльце столбика при опылении, стимулирует развитие плодов, является необходимым компонентом клеточной оболочки, повышает устойчивость к болезням. Выше по сравнению с почвой содержание в борщевике также молибдена (в 1,7 раз), лития (в 1,5 раз), кальция (в 1,2 раз) и сурьмы (в 1,1 раза). Данные элементы влияют на развитие растений: молибден и литий входят в состав многих ферментов,

повышают интенсивность фотосинтеза, влияют на водно-солевой обмен; кальций участвует в строительстве клеточной стенки растений, увеличивает прочность растительных тканей и способствует повышению выносливости растений; сурьма участвует в некоторых ферментативных реакциях. Эти элементы, как и некоторые другие (Na, Zn, W, Mg) по величине КПБ составляют группу сильного поглощения. К группам слабого поглощения и среднего захвата относятся медь, барий, кадмий и марганец; слабого захвата – хром, титан, ванадий, железо и олово. Несмотря на повышенное содержание в почве хрома, железа и марганца (выше ПДК), содержание этих элементов в борщевике постоянное и низкое независимо от их концентрации в почве. По отношению к ним, как и к мышьяку и свинцу, растение проявляет свойство «исключителя» (Барсукова, 1997).

Таблица 6

Коэффициент биологического поглощения элементов борщевиком Сосновского (надземная часть – лист)

Эл.	ПО										Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ca	5,66	2,97	0,86	1,59	0,9	1,83	–	1,45	2,13	2,46	1,99
Mg	0,31	2,5	0,41	0,51	0,21	0,3	0,12	1,44	0,51	0,21	0,65
Na	0,86	0,36	0,39	1,04	1,32	10,49	0,72	14,73	0,24	–	3,02
B	–	–	36,75	46,11	26,3	319,09	264,75	77,93	74,61	22,4	86,79
Ba	0,39	0,54	0,54	0,31	0,4	0,41	1,49	0,49	1,3	0,21	0,61
Cu	0,5 9	1,3 1	0,80	0,65	0,68	0,52	0,61	0,86	0,36	0,1 8	0,66
Fe	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03
Li	1,35	0,75	2,91	2,21	3,43	2,28	4,07	2,29	2,15	4,26	2,57
Mn	0,3	0,32	0,29	0,33	0,14	0,48	0,14	0,09	0,19	0,3	0,26
Mo	1,52	1,59	0,98	4,56	25,01	6,07	4,29	5,03	4,37	0,21	5,36
Zn	1,17	2,85	0,88	1,28	1,03	1,54	0,72	0,56	5,17	0,94	1,61
Cd	0,17	0,3	0,26	0,35	0,13	0,14	0,4	0,16	0,67	0,31	0,29
Cr	0,04	0,04	0,01	0,06	0,04	0,06	0,08	0,07	0,08	0,01	0,05
Sn	–	0,02	0,02	0,04	0,01	–	0,05	–	0,02	0,03	0,02
Sr	1,16	2,08	0,86	2,03	2,44	1,55	2,66	0,96	4,11	2,32	2,02
Ti	0,02	0,03	0,04	0,07	0,03	0,04	0,07	0,04	0,1	0,03	0,05
V	0,02	0,03	0,03	0,08	0,06	0,03	0,07	0,06	0,04	0,07	0,05
W	0,59	0,76	0,68	0,29	0,9	4,11	0,66	0,98	0,3	1,72	1,10

Содержания выявленных элементов в надземной и подземной частях борщевика отличается. Содержание элементов в органах растений зависит от двух процессов: активности поглощения элементов клетками корня и эффективности его перемещения по растению, где важную роль играет радиальный транспорт ионов (Слемс, 2006b). Отмеченные в литературе данные о том, что подземные части борщевика накапливают ТМ в большей степени, чем надземные согласуются с нашими результатами для магния, меди, железа, цинка, хрома, ванадия,

вольфрама. Среднее содержание 10 элементов (Ca, Na, B, Ba, Li, Mo, Cd, Sn, Sr, Ti), наоборот, выше в листьях и стеблях растения, чем в корнях (табл. 3). В листьях отмечено наибольшее число элементов, имеющих максимальные концентрации. Среди них кальций, бор, барий, литий, марганец, молибден, цинк, кадмий, олово и сурьма. Значений КПБ для этих элементов в листьях растения по сравнению с другими органами, выше чем в других органах (табл. 4–6). Самые высокие значения КПБ отмечены для бора (КПБ бора 64,02). Магний, натрий и титан аккумулируются в стеблях, где значения их средних концентраций максимальные. В корнях отмечены максимальные концентрации меди, железа, хрома, ванадия и вольфрама.

Корреляционный анализ показал, наличие многих значимых прямых связей между содержанием элементов, прежде всего, в стеблях.

Сопоставление значений валовых концентраций элементов в борщевике в зависимости от мест его произрастания дало следующие результаты. В образцах борщевика из ПО 5–6, где в почвах встречается наибольшее число элементов с максимальными концентрациями, не выявлены элементы с максимальными значениями концентраций. Наибольшее число элементов, имеющих максимальные валовые концентрации (Mg, Li, Cr, Sn, V, Ti), встречаются в корнях борщевика, растущего в условиях городской среды (ПО 1). Однако в наземной части наибольшее число элементов с максимальными концентрациями (Ca, Na, B, Ba, Cu, Cr, Fe, Li, Mo, Cd, Sn, Sr, Ti, V, W) отмечено за пределами города (ПО 7).

По отношению к натрию борщевик проявляет индикационные свойства: концентрация натрия в его вегетативных органах (подземная и наземная части) соответствует концентрации натрия в почве.

Заключение. С помощью АЭС-ИСП-анализа в системе почва–растение элементный состав борщевика Сосновского. Обнаружены макро- и микроэлементы и ТМ (As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Pb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn). Составы элементов в органах борщевика и почве аналогичны. Однако в борщевике не обнаружены калий, мышьяк и свинец. Борщевик Сосновского не накапливает мышьяк даже в случае, когда его содержание в почве превышает ПДК. В качестве «исключителя» этот вид проявляет себя по отношению к хрому, железу и марганцу. Содержание этих металлов в борщевике постоянное и низкое. По величине КПБ данные они представляют группу элементов слабого захвата. В то же время борщевик активно накапливает бор, молибден, литий, кальций, сурьму и некоторые другие элементы, которые представляют группы энергичного и сильного поглощения элементов. По отношению к натрию, этот вид проявляет выраженные индикаторные свойства, отражая уровень концентрации металла в почве.

Выявлен характер локализации элементов в вегетативных органах растения. Многие элементы более активно накапливаются в надземной части, чем в корнях. Преимущественно в листьях концентрируются кальций, бор, барий, литий, марганец, молибден, цинк, кадмий, олово и сурьма. В стеблях накапливаются магний, натрий и титан, а в корнях – медь, железо, хром, ванадий и вольфрам.

Список литературы

- Баранова О.Г., Брэлгина Е.Н.* 2015. Инвазивные виды растений в трех городах Удмуртской Республики // Российский журнал биологических инвазий. № 4. С. 14-21.
- Барсукова В.С.* 1997. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам / СО РАН; ГПНТБ; Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск. 63 с. (Сер. «Экология». Вып. 47).
- Бессонова В.П., Иванченко О.Е.* 2011. Хром в окружающей среде // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ. Вип. 16, № 1. С. 13-29.
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Нотов А.А.* 2011. Черная книга флоры Тверской области. Чужеродные виды растений в экосистемах Тверского региона. М.: КМК. 292 с.
- ГОСТ 2.17.2041-06.* Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 15 с.
- ГОСТ 2.1.7.2511-09.* Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 15 с.
- Голубкина Н.А., Лапченко В.В., Лапченко Е.В., Науменко Т.С., Крайнюк Е.С., Багрикова Н.С.* 2019. Фоновые уровни накопления тяжелых металлов, макро- и микроэлементов некоторыми видами лишайников на особо охраняемых природных территориях Южного и Юго-Восточного побережья Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. №130. С. 26-35.
- Ковалевский А.Л.* 1991. Биогeoхимия растений. Новосибирск: Наука: Сиб. отделение. 294 с.
- Кондратьев М.Н., Бударин С.Н., Ларинова Ю.С.* 2015. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в неиспользуемые агроэкосистемы // Известия ТСХА. № 2. С. 36-49.
- Мейсунова А.Ф., Иванова С.А.* 2018. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г. Вышний Волочек // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 4. С. 203-219.
- Мейсунова А.Ф., Нотов А.А.* 2016. Содержание металлов в лишайниках на особо охраняемых природных территориях, сопряженных с урбоэкосистемами // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 83. № 4. С. 795-804.

- Мейсурова А.Ф., Нотов А.А. 2020. Оценка индикаторной способности некоторых лишайников при экологическом мониторинге металлов с использованием атомно-эмиссионного спектрального анализа // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 87. № 1. С. 96-106.
- Макро- и микрочудеса. 2020 // Живи в гармонии и с миром. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesa/titan-nanochastitsy-vyzyvajut-rak> (дата обращения: 01.04.2020).
- Озерова Н.А., Широкова В.А., Кривошеина М.Г., Петросян В.Г. 2017. Пространственное распределение борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) в долинах больших и средних рек восточно-европейской равнины (по материалам экспедиционных исследований 2008–2016 гг.) // Российский журнал биологических инвазий. № 3. С. 38-63.
- Панасенко Н.Н. 2017. Некоторые вопросы биологии и экологии Борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) // Российский журнал биологических инвазий. №2. С. 96-98.
- Пименова Е.В. 2009. Нормирование качества окружающей среды и сельскохозяйственной продукции / Е.В. Пименова. ФГОУ ВПО Пермская ГСХА. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА. 74 с.
- ПНДФ 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Москва, Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. 30 с.
- Товстик Е.В., Липатников А.Е., Зивенко М.В., Ашихмина Т.Я. 2018. Исследование накопления тяжелых металлов растениями *Heracleum sosnowskyi* Manden. // Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Киров. 2018. Изд-во: Вятский государственный университет, г. Киров. С.175–178.
- Шаназарова А.С., Ахматова А.Т. 2015. Оценка содержания тяжелых металлов в растениях хвостохранилища п. Сумсар (Джалал-Абадская область) // Вестник КРСУ. Т. 15. № 1. С. 165-167.
- Якимович Е.А., Сорока С.В., Ивашкевич А.А. 2011. Методические рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского // РУП «Институт защиты растений». 2-е изд. доп. Минск. 76 с.
- Янтурин И.Ш., Аминева А.А. 2013. Аккумуляция железа, марганца и никеля в подземных и надземных органах *Inula helenium* L. в условиях Южного Урала // Фундаментальные исследования. № 6-6. С. 1456-1461.
- Clemens S. 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // Biochimie. V. 88. P. 1707-1719.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METAL CONTENT IN THE
VEGETATIVE ORGANS OF THE *HERACLEUM SOSNOWSKYI*
MANDEN FROM AGRO- AND URBOECOSYSTEM**

A.F. Meysurova, S.V. Zabenkova

Tver State University, Tver

We studied the elemental composition of the soil-plant system in the *Heracleum sosnowskyi*, growing in agro- and urban ecosystems in the vicinity of Tver. 21 elements were identified in the soil (As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Pb, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn). Only 18 elements out of them were found in plant organs; K, As and Pb were missing. Sosnowski hogweed does not accumulate arsenic despite its high concentration in the soil. The plant actively absorbs B, Cu, Ca (a group of elements of vigorous and strong absorption). Cr, Va, Ti and Sn are accumulated slowly (a group of elements of weak capture). The level of elements is higher in the aboveground organs than in the roots. The leaves concentrate Ca, B, Ba, Li, Mn, Mo, Zn, Cd, Sn and Sb; stems mostly concentrate Mg, Na and Ti; roots concentrate Co, Fe, Cr, Va and V.

Keywords: AES-ICP analysis, Sosnowski hogweed, metals, macro- and microelements, vegetative organs, monitoring, root, stem, leaves, pollution, Tver Region.

Об авторах:

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, декан биологического факультета, заведующий кафедрой ботаники ФГБОУ ВО «Тверской государственной университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: alexandrauraz@mail.ru

ЗАБЕНКОВА Софья Владимировна – студент направления магистратуры 06.04.01 Биология биологического факультета ФГБОУ ВО «Тверской государственной университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: zabenkova.sofya@yandex.ru

Мейсурова А.Ф. Сравнительный анализ содержания металлов в вегетативных органах борщевика Сосновского на антропогенно-трансформированных территориях / А.Ф. Биология и экология. 2020.

Журнал Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология решением Президиума ВАК включен в перечень