

УДК 502.55:628.5

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА *ARTEMISIA ABSINTHIUM* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ СУБСТРАТА

Чибрик Т. С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия, Tamara.Chibrik@urfu.ru

Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), выросшая на отвалах, при изменении концентрации тяжелых металлов в субстрате изменяет свой микроэлементный состав, накапливая избыточное содержание большинства элементов в надземной массе и корнях, особенно с отвалов рудных месторождений и Коркинского угольного разреза. При этом угнетения и существенных тератологических (морфологических) изменений в изученных экотопах практически не наблюдается. Снижение содержания тяжелых металлов в надземной массе можно регулировать рекультивационными мероприятиями.

Ключевые слова: *Artemisia absinthium*, отвалы, тяжелые металлы, поглощательная способность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достаточно указаний на возникновение геохимических провинций в местах интенсивной промышленной деятельности. Данная статья является попыткой проследить адаптационную возможность полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.) к своеобразному геохимическому фону неозокотопов.

В Свердловской области в результате визуального обследования индивидуальных отвалов выделено свыше 30 их различных категорий, существенно отличающихся происхождением, породами, морфологией, параметрами и др. Во всех случаях имеет место катастрофическое нарушение почвенного и растительного покровов, вплоть до полного их уничтожения. Так образуются неозокотопы техногенных ландшафтов. В индустриальных регионах зачастую образуются техногенные геохимические аномалии, связанные с деятельностью промышленных предприятий как горнодобывающей, так и перерабатывающей промышленности. В них возникает совершенно новый тип круговорота химических элементов [1–4].

Целью работы является анализ поглощательной способности тяжелых металлов (ТМ) надземной массой и корнями *A. absinthium* на промышленных отвалах, отличающихся по свойствам субстрата, расположенных в разных зонально-климатических условиях, то есть предпринята попытка проследить химическую изменчивость по ТМ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования взяты образцы *A. absinthium* на золоотвалах Верхнетагильской (ВТГРЭС, таежная зона, подзона южной тайги) и Южноуральской (ЮУГРЭС, лесостепная зона) тепловых электростанций, расположенных в различных зонально-климатических условиях, также в Коркинском угольном карьере (КУР, Челябинский буроугольный бассейн, лесостепная зона) и на породных отвалах Аккермановского и Новокиевского месторождений хромоникелевых железных руд, которые относятся к Орско-Халиловскому горнорудному району Урала (зона сухих степей).

Образец растений компоновался из 5–10 экземпляров *A. absinthium* в фазе бутонизации-цветения при случайной выборке, высушивался и подвергался сухому озолению. Одновременно определялась их зольность. Образцы субстрата отбирались из ризосфер этих же растений на глубину 0–20 см из 5–10 прикопок и усреднялись. Микроэлементный состав субстрата и золы растений определен спектральным методом в Центральной лаборатории Уральского геологического управления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Artemisia absinthium широко распространена на начальных этапах в формирующихся растительных сообществах в процессе самозаращения: по продолжительности жизни –

травянистый многолетник со стержневой (каудексовой) формой корневой системы; ксеромезофит; по классификации жизненных форм Раункиера травянистый хамефит или гемикриптофит; по способу распространения плодов и семян – анемохор; по ценотической принадлежности относится к группе сорно-рудеральных видов бореальной и циркумполярной ареалогических групп [5]. Балл постоянства этого вида в лесной зоне – 35, лесостепной – 84, в степной – 12, а балл доминирования соответственно 9, 35 и 3 [6]. Балл постоянства по зонам – сумма классов постоянства вида в сопоставимых по возрасту сообществах 10 техногенных объектов каждой зоны, поверхностные породы которых относятся к классу малопригодных для биологической рекультивации [7], то есть они нетоксичны, но бедны элементами минерального питания растений, по водно-физическим свойствам произрастание растений на этих породах возможно. По каждому объекту принималось 10 классов постоянства [8]: I – 1–10 % (% встречаемости сообществ с этим видом), II – 11–20 %, III – 21–30 %, ..., X – 91–100 %, то есть максимальное значение балла постоянства по зоне 100. Подобным же образом вычислен балл доминирования. Эти показатели в зональном плане для определения статуса вида в растительных сообществах техногенных ландшафтов, на наш взгляд, достаточно информативны.

Сравнение содержания ТМ в субстрате золоотвалов свидетельствует о существенном обогащении золы многими ТМ по сравнению со средним содержанием в литосфере [9]. Среднее содержание Со в субстрате описываемых золоотвалов выше в 3,3 раза, Мо, V, Ti, Sr – в 1,5–2 раза. Особенно существенно превышение по Mn (в 8–10 раз), Cu (в 4–7 раз), Zn (в 3–5 раз), Pb (в 7–9 раз), Sn (в 2,8–7,7 раза), Be – более, чем в 3 раза (соответственно по золоотвалам ЮУГРЭС и ВТГРЭС). В то же время на золоотвалах ниже среднее содержание Y в 1,7 раза, Ga – в 2,5–2,7 раза, Zr почти в 3 раза, по сравнению с почвами Урала. Таким образом, субстрат золоотвалов по микроэлементному составу существенно отличается от почв Урала.

Спектральный анализ субстрата золоотвалов, надземной и подземной биомассы растений на 37 элементов показал наличие 19 из них. Нанесение на поверхность золоотвала почвы или потенциально плодородных пород изменяет содержание ТМ. Независимо от возраста отвалов, рекультивационных мероприятий и зонального положения, содержание Cr, Mn, V, Ag, Sr, Be, Zr, Y превышает их содержание в территориально близких почвах, особенно Cr, Sr и Zr (более чем в 2 раза). В субстрате золоотвала Южноуральской ГРЭС ниже, по сравнению с окружающими почвами, содержание Ti, Cu, Zn, Pb, Sn. Содержание остальных элементов (Ni, Co, Mo, Ba, P) зависит от возраста и рекультивационных мероприятий и зонального положения отвалов.

Исследование коэффициентов биологического поглощения (КБП) надземной массой и корнями растений с золоотвалов позволило выделить 2 группы ТМ: сильнонакопляемые (КБП – 10–1) – Ni, Mn, P, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr; слабонакопляемые (КБП – 1–0,1) – Co, V, Ti, Be, Zr, Ga, Y [10]. На общем фоне достаточно сходных по содержанию ТМ золоотвалов выявлено влияние видоспецифичности формирующихся фитоценозов. В частности, Cu на золоотвале в лесостепной зоне по накоплению в подземной массе относится к сильно, а в таежной – к слабонакопляемым элементам, а Sn имеет противоположную тенденцию. Большинство изученных элементов накапливаются больше в корнях, чем в надземной массе, исключение составляют P, Mo, а на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС еще и Mn, Ag, Ba. По сравнению с общими показателями по надземной массе растений с золоотвалов *A. absinthium* имеет своеобразие. По накопительной способности *Artemisia* на золоотвале ВТГРЭС к сильнонакопляемым как в надземной (всего 9 элементов), так и в корнях (всего 8 элементов) относятся Mn, Zn, Pb, Ag, Sr, Sn, Li, большинство определенных элементов относятся к группе слабонакопляемых. На золоотвале ЮУГРЭС к сильнонакопляемым *Artemisia* элементов в надземной массе отнесены всего 7, в корнях 11, общими являются лишь 4 – Ni, Zn, Ba, Li. Многие элементы относятся к группе слабонакопляемых (табл. 1).

На золоотвале ВТГРЭС (таежная зона) выше содержание в надземной массе Mn, Sc, Cu, Zn, Ag, Ba, Sr, Sn, Zr, La, Nb, Y, а в корнях – Ni, Cr, V, Ti, Mo, Ga, Li, примерно одинаковое Co, Pb, Be, Yb. Несколько иная картина прослеживается у *Artemisia*, выросшей на золоотвале ЮУГРЭС (лесостепная зона): в надземной массе выше содержание Cr, Mn, V, Ti, Zn, Mo, Sr, La, в корнях –

Ni, Co, Cu, Pb, Ba, Be, Ga, и большая часть элементов по содержанию в золе представлена примерно одинаково – Sc, Ag, Sn, Zr, Y, Yb, Nb, Li.

Таблица 1

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов *Artemisia absinthium*,
произрастающей на разных отвалах

Объект	Биомасса	Коэффициент биологического поглощения (КБП)		
		10–1	1–0,1	0,1–0,01
Золоотвал ВТГРЭС	Надземная масса	Mn, V, Zn, Pb, Ag, Sr, Sn, Nb, Li	Ni, Co, Cr, Ti, Sc, Cu, Ba, Be, Zr, Ga, Y, Yb, La	-
	Подземная масса	Ni, Mn, Zn, Pb, Ag, Sr, Sn, Li	Co, Cr, V, Ti, Sc, Cu, Ba, Be, Zr, Ga, Y, Yb, La, Nb	-
Золоотвал ЮУГРЭС	Надземная масса	Ni, Zn, Ba, Sr, Sn, La, Li	Co, Cr, Mn, V, Ti, Sc, Cu, Pb, Be, Zr, Ga, Y, Yb, Nb	-
	Подземная масса	Ni, Mn, Cu, Zn, Pb, Ag, Ba, Be, Ga, Nb, Li	Co, Cr, V, Ti, Sc, Sn, Zr, Y, Yb, La	-
Коркинский разрез	Подземная масса	Ni, Co, Mn, Zn, Pb, Ag, Mo, Zr, Y, Nb, Li	Cr, V, Ti, Sc, Cu, Ba, Sn, Be, Ga	-
Новокиевский отвал	Надземная масса	Co, V, Sc, Zn, Mo, Ba, Y, Yb	Cr, Mn, Ti, Cu, Pb, Sr, Be, Zr, Ga	-
Аккермановский отвал	Надземная масса	Cr, V, Sc, Cu, Zn, Pb, Mo, Ba, Sr, Be, Zr, Ga, Yb	Ni, Co, Mn, Y	Ti

Зольность растительных проб является одним из общих показателей, отражающих процесс минерального питания растений и косвенно особенности поглощения и накопления ТМ. По содержанию золы в органах все растения *Artemisia* делятся на три группы: I – выше зольность корней, II – надземной массы, III – примерно в равных количествах (разница в пределах 0,5 %). Обращает на себя внимание, что зольность на золоотвалах ЮУГРЭС в более засушливых условиях выше, чем на золоотвале ВТГРЭС. *Artemisia* на изученных золоотвалах следует отнести ко II группе растений, где зольность надземной массы преобладает. На золоотвале ВТГРЭС средний показатель зольности надземной массы 9,29 % (lim 6,05–12,09), а корней – 5,86 % (lim 4,65–7,40), на золоотвале ЮУГРЭС соответственно 13,18 (lim 12,35–14,44) и 11,4 (lim 10,84–11,93).

Содержание ТМ в субстрате разных отвалов сильно различаются. Для обобщенной характеристики рассматривается коэффициент вариации (%) содержания (средняя абсолютная величина) по отдельным элементам с учетом всего массива данных независимо от отдельных отвалов, а для характеристики накопительной способности используется КПБ. Как показали результаты, содержание ТМ в субстрате и растениях имеет высокий уровень изменчивости, поэтому проведена градация уровней изменчивости содержания ТМ в субстрате из-под *Artemisia* и в ее биомассе на разных отвалах по величине коэффициентов вариации (табл. 2, 3). По золоотвалам в субстрате уровень изменчивости содержания 12–13 элементов не превышает 20 %, на Новокиевке – 5 элементов (4 из них по изменчивости совпадают с содержанием в золоотвале ВТГРЭС – Cr, Mn, V, Sc, 3 – с золоотвалом ЮУГРЭС – Cr, V, Zn). Уровни изменчивости по содержанию ТМ отвала Новокиевки и Коркинского угольного разреза до 40 % имеют 8 элементов. Сходный с золоотвалами низкий уровень изменчивости (до 20 %) в субстрате КУР имеют Cr, V, Zr, Ga. Основную группу составляют ТМ, коэффициент вариации которых 20–40 % (средний уровень изменчивости). Очень высокий уровень изменчивости (>100 %) показали на золоотвалах ВТГРЭС Mo и Ge, ЮУГРЭС – Ge, на КУР – Sr, Li. Уровень изменчивости содержания ТМ в надземной массе на трех изученных объектах при некоторой разнице по элементам не превышает 60 % (низкая и средняя изменчивость). Исключение составляют на золоотвале ВТГРЭС V (60–80 %), Li (>100 %), на ЮУГРЭС и Новокиевке соответственно Zn, Ag, Sn (все >100 %) и Ni, Y, Yb (все >100 %). По содержанию ТМ в корнях *Artemisia* четко выделяются золоотвалы, где уровень изменчивости подавляющего большинства ТМ не превышает 40 % (за исключением 4 элементов).

В корнях *Artemisia*, произрастающей в КУР, содержание одной группы ТМ варьирует в пределах 20–40 %, а другой 60–80 %, лишь для Ti, Be, Zr уровень изменчивости не превышает 20 %.

Таблица 2

Общая характеристика *Artemisia absinthium* по содержанию и накоплению тяжелых металлов

Элемент	Надземная масса			Корни			КБП надземной массы			КБП корней		
	X _{ср.}	lim	Cv	X _{ср.}	lim	Cv	X _{ср.}	lim	Cv	X _{ср.}	lim	Cv
Ni	7,96	0–20	71	21,9	9–50	60	0,69	0–1,5	83	2,97	1,1–6,1	68
Co	3,56	0,9–10	80	3,2	1–10	72	1,06	0,18–5	123	0,86	0,25–2,8	79
Cr	17,3	5–100	151	10,7	7–18	33	0,55	0,1–1	54	0,75	0,42–1,54	44
Mn	113,3	30–300	63	131,7	60–200	38	1,39	0,2–2,5	50	2,33	1–5,6	75
V	13,0	3–30	70	18,2	10–30	29	0,86	0,1–1,5	57	0,82	0,45–1,5	36
Ti	186,7	30–500	80	287,5	150–400	26	0,44	0,06–1,25	78	0,58	0,3–0,8	29
Sc	7,3	0,2–30	165	0,83	0,4–1,5	41	1,06	0,07–3	98	0,64	0,15–1,22	53
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ge	-	-	-	0,15	0–0,3	92	-	-	-	0,27	0–1,5	192
Cu	9,5	5–20	44	9,4	5–13	21	0,83	0,3–1,4	44	0,92	0,33–1,58	40
Zn	15,9	0–30	55	16,7	10–30	43	2,1	0–4,29	76	1,12	0,5–1,73	34
Pb	2,06	0,7–4	58	2,7	1–5	43	1,14	0,5–3,0	58	1,12	0,53–2,17	39
Ag	0,066	0–0,3	124	0,074	0,02–0,2	98	1,08	0–3,5	123	4,4	1–14,2	112
As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mo	1,24	0–3	88	1,2	0,5–3	60	1,07	0–6	174	3,32	0–14,2	133
Ba	30,7	2–50	62	40	20–50	30	1,42	0,5–3	58	0,78	0,33–1,5	42
Sr	43,3	10–60	36	35,8	10–70	53	1,09	0,6–1,67	32	0,55	0–1,75	99
W	-	-	-	0,08	0–0,3	181	-	-	-	-	-	-
Sn	57,4	0–300	177	0,53	0–1,8	93	0,97	0–4,29	141	0,84	0–1,8	70
Be	0,1	0,05–0,18	38	0,13	0,1–0,3	43	0,89	0,33–1,5	42	0,81	0,38–2	54
Zr	8,8	5–10	20	9,6	7–10	94	0,86	0,33–1,43	34	0,91	0,67–1,2	19
Ga	0,73	0,3–2	62	0,95	0,5–1,5	33	0,7	0,2–2,85	102	0,71	0,26–1,5	59
Y	1,18	0–2	66	1,68	0,8–3	34	0,45	0–1	77	1,1	0,2–2,42	62
Yb	0,17	0–0,3	63	0,21	0,15–0,3	23	0,64	0–1,5	69	0,32	0–1	112
La	1,28	0–3	87	1,69	1–3	36	0,70	0–2	102	0,39	0–1	113
Nb	0,71	0–1,5	77	1,08	0,7–2	36	0,68	0–1,5	80	1,97	0,56–6,67	86
Li	0,42	0–1	124	2,78	0–10	100	0,42	0–1	124	1,78	0–8,9	142

По зонам уместно провести сравнение поглотительной способности *A. absinthium* по средним значениям КБП (табл. 4), так как лимитный разброс этого показателя достаточно высок. На золоотвале ВТГРЭС средний показатель КБП надземной массы на рекультивированной поверхности 0,59, на «чистой» золе – 0,96, на золе с покрытием грунтом (тяжелая запесоченная глина) – 1,05, для корней соответственно 0,78; 0,82; 1,23. На золоотвале ЮУГРЭС средние показатели КБП близки с таковыми на золоотвале ВТГРЭС: по надземной массе они по экотопам мало отличаются (0,92–0,96). Средний КБП корней наименьший на старом золоотвале на золе с почвенным покрытием (0,88), на одновозрастном старом золоотвале – 1,03, а на новом золоотвале – 1,11. Если исключить более высокое среднее значение КБП надземной массы и корней на золоотвале ВТГРЭС на золе с покрытием глиной (где определяющую роль, вероятно, играет глина), то прослеживается небольшая тенденция увеличения среднего значения КБП в лесостепной зоне, по сравнению с таежной. Коркинский угольный карьер представляет более ксероморфное местообитание и на разных экотопах средний КБП корней *A. absinthium* 1,38–2,81. Отвалы пустых пород двух рудных месторождений расположены в зоне сухих степей. Средний КБП надземной массы *Artemisia* на Аккермановском отвале составляет 1,33, а на Новокиевском –

1,31–1,72, причем наиболее высокое его значение определено на ровной поверхности на более ксероморфном местообитании.

Таблица 3

Уровни изменчивости содержания ТМ в субстрате из-под *Artemisia absinthium* и ее биомассе на разных отвалах

Коэффициент вариации	ВТГРЭС	ЮУГРЭС	Новокиевка	КУР	Общее по всем отвалам
Субстрат					
0–20	Co, Cr, Mn, V, Ti, Sc, Ag, Ba, Sr, Zr, Ga, Nb	Ni, Co, V, Cr, Cu, Zn, Ba, Sr, Be, Zr, Ga, Yb, Li	Cr, Mn, V, Sc, Zn	Cr, V, Zn, Ag, Sn, Zr, Ga, Nb	-
20–40	Ni, Zn, Pb, Sn, Be, Y, Yb, La, Cu	Mn, Ti, Sc, Pb, Y, Nb	Co, Ti, Cu, Pb, Mo, Sr, Be, Zr, Ga, Y, Yb	Ni, Co, Mn, Ti, Ge, Cu, Pb, Ba, Y, Sc, Mo, Be	Co, Ti, Zr, Ga, Zn
40–60	Li	La	-	Sc, Mo, Be	V, Cu, Pb, Ba, Be, Y, Mn
60–80	-	Ag, Sn	Ba	-	Ag, Sr, Nb
80–100	-	-	-	-	Cr, Sn, Yb, Li
>100	Ge, Vj	Ge		Sr, Li	Ni, Sc, Mo, La
Надземная биомасса по КПБ					
0–20	Cr, Sr, Be, Zr, La, Nb	Co, Cu, Ni, Ba, Sr, Y, Yb, La, Nb, Li, Zr	Co, Ti, Sc, Cu, Zn, Pb, Mo, Ba, Sr, Be, Zr, Ga	не опр.	Zr
20–40	Ni, Co, Mn, Cu, Zn, Pb, Ag, Ba, Yb	Cr, V, Ti, Sc, Be, Ga	V, Sn	не опр.	Sr, Be
40–60	Ti, Sc, Mo, Sn, Ga, Y	Mn, Pb, Mo	Cr, Mn, Ag	не опр.	Cu, Zn, Pb
60–80	V			не опр.	Ni, Co, Y, Yb, Mn, V, Ti, Ba, Nb
80–100				не опр.	Mo, Ga, La
>100	Li	Zn, Ag, Sn	Ni, Y, Yb	не опр.	Cr, Sc, Ag, Sn, Li
Корни по КБП					
0–20	Cr, Mn, V, Cu, Zn, Mo, Be, Zr, Ga, Yb, Nb	Ni, Cr, V, Cu, Zn, Mo, Ba, Sr, Sn, Zr, Ga, Y, Yb, Nb	не опр.	Ti, Be, Zr	Cu, Zr
20–40	Co, Ti, Sc, Pb, Ag, Ba, Sr, Sn, Y, La, Li	Co, Mn, Ti, Pb, Ag, La	не опр.	Cr, Mn, V, Sc, Cu, Zn, Pb, Ba, Ga, Y, Yb, La, Nb	Cr, Mn, V, Ti, Ba, Y, Yb
40–60	Ni	Sc, Be	не опр.	-	Ni, Sc, Zn, Pb, Mo, Sr, Be, Ga, La, Nb
60–80	-	Li	не опр.	Ni, Co, Ag, Mo, Sr, Sn, Li	Co
80–100	-	-	не опр.	-	Ag, Sn, Li
>100	-	-		-	

На золоотвале ВТГРЭС косвенно решался вопрос о накоплении ТМ в растениях на рекультивированной территории. Полученные результаты показали, что проявляется четкая

закономерность меньшего накопления ТМ *A. absinthium* в надземной массе на этом экотопе, по сравнению с экотопами на золе: Ni в 1,25–2,5 раза, Co в 2 раза, Cr – в 1,2–1,4 раза, Mn – в 1,5, V – в 1,9, Ti – в 5,6, Sc – в 3 раза, Cu – в 1,6, Zn – в 1,77, Pb – в 1,5 раза, Ag – в 1,5 раза, Mo – в 1,9 раза, Ba – в 1,83, Sr – в 1,13, Sn – в 1,9, Zr – 1,43, Yb – в 2 раза. В среднем надземная масса *Artemisia* меньше обогащена ТМ на рекультивированной территории в 2 раза по сравнению с экотопами на чистой золе. На полосах, покрытых грунтом, в среднем надземная масса *A. absinthium* обогащена ТМ так же в 2,2 раза больше, чем на рекультивированной территории, с которой используется сено на корм скоту, особенно Zn, Pb, Ba, Ga, Y (в 2–3,0 раза). На наш взгляд, это связано с тем, что субстрат рекультивированной территории обогащен органическими веществами (наносился торф и вносились органические удобрения). Полученные результаты показали, что при значительной изменчивости накопления ТМ в надземной массе *Artemisia*, произрастающей в разных экотопах золоотвала, возможно регулировать этот показатель рекультивационными мероприятиями. Покрытие поверхности золоотвалов минеральным грунтом решает проблему зарастания: стабилизируется поверхность золоотвала, прекращается пыление, ускоряется формирование социально и хозяйственно ценных фитоценозов, но обогащение ТМ растительной продукции, чаще всего, остается.

Таблица 4

Поглотительная способность ТМ *Artemisia absinthium*, выросшей на разных отвалах

Объект	Вариант	Биомасса	КБП	
			lim	X _{ср.}
Золоотвал ВТГРЭС	Зола+грунт	Надземная масса	0,5–1,67	1,05
		Корни	0,45–6,0	1,23
	Зола	Надземная масса	0,24–2,83	0,96
		Корни	0,2–1,8	0,82
	Зола с примесью – рекультивированная поверхность	Надземная масса	0,07–1,5	0,59
		Корни	0,33–2,0	0,78
Золоотвал ЮУГРЭС	Зола+покрытие (старый золоотвал)	Надземная масса	0,5–2,0	0,96
		Корни	0,5–2,0	0,88
	Зола (старый золоотвал под дамбой)	Надземная масса	0,67–2,0	0,92
		Корни	0,5–2,0	1,03
	Зола (новый золоотвал)	Надземная масса	0,5–1,67	0,93
		Корни	0,66–2,85	1,11
Коркинский разрез	Южный борт, 30 м	Корни	0,29–6,1	1,95
	Южный борт, 150 м	Корни	0,42–14,2	2,81
	Южный борт, 237 м	Корни	0,43–6,0	1,38
	Западный борт	Корни	0,26–14,2	2,44
	Юго-восточный борт, 140 м	Корни	0,15–5,0	1,49
	Пост «Восточный»	Корни	0,43–12,2	2,03
Аккермановский отвал		Надземная масса	0,06–4,0	1,33
Новокиевский отвал	Понижение №2: основание	Надземная масса	0,25–4,29	1,31
	Понижение №2: склон	Надземная масса	0,1–4,0	1,34
	Ровная поверхность	Надземная масса	0,1–6,0	1,72

Влияние субстрата и зонально-климатических условий на накопление ТМ в различных органах, в частности в надземной массе и корнях, иллюстрируют ряды их биогенной концентрации, которые по расположению у *Artemisia* существенно отличаются от подобных рядов биологической концентрации суммарной надземной массы в фитоценозах на одних и тех же местообитаниях (табл. 5), но с разным по свойствам субстратам. По ранее опубликованным данным [10] большинство из обнаруженных 19 микроэлементов накапливается больше в корнях, чем в надземной массе. Для растений с золоотвалов обеих ГРЭС это Ni, Co, Cr, V, Ti, Cu, Zn, Pb, Sn, Be, Zr, Ga, Y. В надземной массе у растений с золоотвалов обеих ГРЭС больше накапливаются

P и Mo, а Sr примерно в равных количествах с корнях. Разница наблюдается по накоплению Mn, Ag, Ba, которые в растениях с золоотвалов ВТГРЭС больше накапливаются в надземной массе, а с золоотвала ЮУГРЭС – в корнях.

Таблица 5

Ряды биогенной концентрации (по КБП) тяжелых металлов в надземной массе и корнях *Artemisia absinthium* на разных субстратах

Местообитание, субстрат	Биомасса	Ряды биогенной концентрации
Золоотвал Верхнетагильской ГРЭС		
Зола+грунт	Надземная масса	Ag ≥ V = Sn = Yb > Ni > Pb > Ba > Zn ≥ Sr > Zr ≥ Nb > Mn ≥ Cu > Ti > Co ≥ Cr > La > Be > Ga ≥ Y > Sc
	Корни	Ni > Mo > Sn > V > Ag > Pb > Mn = Zn > Cr = Ba = Zr = Yb = La = Nb = Li > Cu > Be = Ga > Co = Ti = Sr = Y > Sc
Зола	Надземная масса	Ag > Sn > Mn > Zn > Pb > Sr > Nb > Zr > Li > Cu > Ba > Be > Ni > La > Cr > Yb > V > Co > Ga > Ti > Y > Sc
	Корни	Li > Sr > Mn > Pb > Ag > Sn > V > Ni > Zr > Zn ≥ Be > Nb > Cu = Ba = Yb = La > Cr > Ga > Ti > Co > Sc = Y
Зола с примесью – рекультивированная поверхность	Надземная масса	Be > Mn > Ag > Sr ≥ Sn = Nb > La > Zr > Pb > Zn ≥ Ba > Ni > Cr = Yb > Cu > Ti > Ga > Co > V > Sc
	Корни	Ni > Ag > Li > Mn > Sr > Be > Sn > Zr > Nb > V > Pb > Ga > Ti > Zn > Ba > Y > Yb > La > Cr > Co > Sc > Cu
Золоотвал Южноуральский ГРЭС		
Зола+покрытие (старый золоотвал)	Надземная масса	Zn ≥ La > Ni > Ti > Mn ≥ Cu = Pb = Ba = Li > Cr > Y > Sr > Co > Sc > Zr > Yb > Be > Nb > V ≥ Ga
	Корни	Ni > Ag > Mn > Cu > Zn = Ba = Ga = La = Li > Y > Be > Sr > Ti > Pb > Sn ≥ Zr > Yb > V > Co ≥ Cr > Sc
Зола (старый золоотвал, под дамбой)	Надземная масса	La > Ba > Cu > Ni = V = Sc = Sr = Sn = Be = Zr = Yb = Nb = Li > Cr > Y > Pb ≥ Ga > Co = Mn = Ti
	Корни	Be > Ni = Ga = Nb > Co = Mn = V = Sc = Cu = Zn = Pb = Ag = Ba = Sn = Zr = La > Sr = Y > Ti > Cr > Yb
Зола (новый золоотвал)	Надземная масса	Sr > Ni > Ba > Be > Co = Mn = V = La = Nb = Li > Ga > Sn > Cu = Pb = Zr = Y = Yb > Ti > Cr
	Корни	Ni > Ag > Zn = Ga > Co = Pb > Cu > Mn = Ba = Sr = Be = Nb = Li > Ti > Cr = Sc > Zr = Y = Yb = La > V

Реакция растений на избыток (или недостаток) ТМ в среде проявляется двояко. Определенная группа растений, неадаптированная к непривычным концентрациям химическим элементам, через включение их в метаболизм реагируют первоначально на физиологическом уровне с последующими морфологическими изменениями. Это приводит к эндемичным заболеваниям, угнетению роста и развития с нарушением генеративной функции и к последующей элиминации этих видов. Растения, в разной степени адаптирующиеся к изменению концентраций химических элементов, в качестве защитной реакции концентрируют избыточные химические элементы, образуя физиологические формы с дальнейшей микроэволюцией в сторону техногенного эдафического эндемизма [11, 12]. Адаптация растений, не способных к концентрации избыточных химических элементов, может идти в направлении повышения устойчивости к химизму эдафической среды неозотопа, что ведет к повышению уровня морфологической изменчивости. Микроэволюция растений, оказавшихся способными к адаптации к изменившимся химическим условиям, направлена в сторону видообразовательного процесса [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Судя по широкому распространению *A. absinthium* на отвалах независимо от зоны, где на 25–35 % отвалах она доминирует в формирующихся при самозаращении фитоценозах, думается,

есть основание признать за этим видом высокую толерантность и пластичность по отношению к своеобразному геохимическому фону изученных неозкотопов.

Адаптация особей этого вида к изменению концентраций ТМ на отвалах, по сравнению с почвой, по большинству элементов идет по линии накопления их избыточных содержаний в надземной массе и корнях. Особенно обогащены ТМ надземная масса *A. absinthium* с отвалов рудных месторождений и корни растений с Коркинского угольного разреза. При этом угнетения растений и существенных тератологических (морфологических) изменений их в изученных экотопах практически не наблюдается.

Снижение содержания ТМ и КБП на рекультивированной территории золоотвала ВТГРЭС более богатой органическим веществом, по сравнению с другими экотопами золоотвала, наблюдается по большинству ТМ, особенно в надземной массе. Возможно, именно в этих условиях идет большее включение ТМ в органо-минеральные комплексы и как следствие выравнивание элементарного состава растений.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания УрФУ № 2014/236, код проекта 2485.

Список литературы

1. Ивлев А. М. Биогеохимия / А. М. Ивлев. – М.: Высш. шк., 1986. – 127 с.
2. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – М.: Высш. шк., 1989. – 528 с.
3. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 149 с.
4. Ковальский В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 281 с.
5. Чибрик Т. С. Анализ флоры техногенных ландшафтов: Учебное пособие / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, М. А. Глазырина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. – 162 с.
6. Чибрик Т. С. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях: (биологическая рекультивация) / Т. С. Чибрик, Ю. А. Елькин. – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991 – 220 с.
7. ГОСТ 17.5.1.03-86 Охрана природы: Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород при биологической рекультивации земель. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.
8. Шенников А. П. Введение в геоботанику / А. П. Шенников. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. – 447 с.
9. Глазковская М. А. О биологическом круговороте элементов в различных ландшафтных зонах (на примере Урала) / М. А. Глазковская // Докл. к VIII Междунар. Конгрессу почвоведов. – М., 1964. – С. 148–156.
10. Чибрик Т. С. Содержание тяжелых металлов в системе субстрат-растение на золоотвалах / Т. С. Чибрик // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Междунар. совещ. 26–29 авг. 1996 г. – Екатеринбург, 1997. – С. 248–259.
11. Ковальский В. В. Геохимическая экология и эволюционная изменчивость растений / В. В. Ковальский, Н. С. Петрунина // Проблемы геохимии. – М., 1964. – С. 565–577.
12. Горчаковский П. Л. Тенденция антропогенных изменений растительного покрова Земли / П. Л. Горчаковский // Ботан. журн. – 1979. – Т. 64. – № 12. – С. 1697–1713.
13. Миркин Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии / Б. М. Миркин. – М.: Наука, 1985. – 139 с.

Чібрік Т. С. Мінливість мікроелементного складу *Artemisia absinthium* залежно від властивостей субстрату // Екосистеми, їх оптимізація та охорона. Сімферополь: ТНУ, 2014. Вип. 11. С. 106–113.

Artemisia absinthium L., що виросла на відвалах, при зміні концентрації важких металів в субстраті змінює свій мікроелементний склад, накопичуючи надмірний вміст більшості елементів у надземній масі та коренях, особливо з відвалів рудних родовищ і Коркінського вугільного розрізу. При цьому гноблення і суттєвих тератологічних (морфологічних) змін до вивчених екотопах практично не спостерігається. Зниження вмісту важких металів в надземній масі можна регулювати рекультивацийними заходами.

Ключові слова: *Artemisia absinthium*, відвали, важкі метали, поглинальна здатність.

Chibrik T. S. The depending of microelement composition *Artemisia absinthium* of the substrate properties // Optimization and Protection of Ecosystems. Simferopol: TNU, 2014. Iss. 11. P. 106–113.

Artemisia absinthium L., grown on the dumps, when the concentration of heavy metals in the substrate changes its trace element composition of accumulating an excessive content of most elements in the aboveground mass and roots, especially in dumps of ore deposits and Korkino coal mine. The oppression and significant Teratology (morphological) changes in the studied ecotopes practically not observed. Reduction of heavy metals content in the aboveground mass can be adjusted of remediation.

Key words: *Artemisia absinthium*, dumps, heavy metals, absorption capacity.

Поступила в редакцію 25.02.2014 г.