УДК 582.4:504.054:574.3

С.С. АЙДОСОВА, К.С. САГЫНДЫК

ПРИМЕНЕНИЕ *ECHIUM VULGARE L.* В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби)

Приведены результаты исследований Echium vulgare L., произрастающего на производственных территориях г. Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области. Установлены толерантность к действию тяжелых металлов и аккумулирующие свойства Echium vulgare L., благодаря которым это растение может быть использовано в естественной фиторемедиации загрязненных регионов.

Биоразнообразие широко рассматривается как важный источник очистки экосистем от загрязнения тяжелыми металлами. Микроорганизмы, включая микоризные и немикоризные грибы, сельскохозяйственные, декоративные и дикорастущие растения, которые аккумулируют тяжелые металлы, тестируются как в лабораторных, так и в полевых условиях для очищения окружающей среды от металлосодержащих субстратов. На сегодняшний день известно около 400 растений, способных аккумулировать металлы [1].

Растения, способные аккумулировать металлы, имеют огромный потенциал в их применении для очистки и восстановления окружающей среды от тяжелых металлов. По всему миру ведутся исследования по выявлению аккумулирующих свойств различных растений. Известно, что огромный фиторемедиационный потенциал в выборочном накоплении марганца имеют лаконос американский (Phytolacca americana) [2], мелколепестник канадский (Conyza canadensis), Gnaphalium affine [3], хрома – Леерсия шеститычинковая, или рисовая трава (Leersia hexandra) [4], ртути – шандра обыкновенная (Marrubium vulgare), щавель (Rumex induratus) [5], эйхорния или водяной гиацинт (Eichornia crassipes), пистия телорезовидная (Pistia stratoites), камыш Табернмонтана (Scirpus tabernaemontani), колоказия древняя (Colocasia esculenta) [6], в комплексной аккумуляции свинца, кадмия и цинка – горный салат (Thlaspi caerulenscens) [7, 8] и паслен (Solanum nigrum) [9]. Токсичные остатки ракетного топлива – гептила или НДМГ аккумулируются щирицей хвостатой (Amarantus caudatus L.) [10].

Наряду с аккумуляцией и фиторемедиацией растения могут использоваться в качестве экспресс-индикаторов загрязнения окружающей среды. Например, виды полыни (Artemisia terrae-albae, A. sieversiana), ковыль (Stipa capillata) и овсянница (Festuca valesiaca) благодаря возникающим анатомическим изменениям могут применяться как биоиндикаторы радиоактивного загрязнения и загрязнения НДМГ при мониторинге окружающей среды [11–15]. Однако данные об использовании анатомических изменений в качестве индикаторных признаков при неблагоприятном воздействии тяжелых металлов по Восточному Казахстану отсутствуют.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований были выбраны два доминантных вида растений – синяк обыкновенный (*Echium vulgare L.)* и молочай мелкоплодный (*Euphorbia microcarpa Prokh.),* произрастающих на производственных территориях г. Усть-Каменогорска. Растения были собраны с четыре точек, три из которых являются загрязеными участками:

1. Промышленный переезд AES «Усть-Каменогорская ТЭЦ».

2. Ульбинский металлургический завод, ОАО «КазЦинк» (перекресток ул. Мызы и ул. Абая).

3. Свинцово-цинковый комбинат (перекресток ул. Бажова и ул. Гоголя).

4. контрольный участок в 60 км от города, с учетом климатических и почвенных условий.

Содержание тяжелых металлов в почвенных и растительных образцах определялось при дли-

не волны Pb – 283,3 нм, Cd – 228,8 нм, Cu – 324,7 нм и Zn – 213,8 нм в атомно-абсорбционном режиме с использованием спектральных ламп на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-1N (Carl Zeise, Jena), по методике Прайса [16]. Сопоставление предельно-допустимых концентраций тяжелых металлов (свинца, цинка, меди и кадмия) в почве устанавливалось согласно нормативам предельно-допустимых концентраций вредных веществ РК [17] (табл. 1). Коэффициент биологической абсорбции определяли по формуле [18]:

$К_{ба}$=содержание ТМ в растении/содержание ТМ в почве.

Для анатомических исследований были собраны на исследуемых участках и зафиксированы надземные и подземные вегетативные органы *Echium vulgare L.* Фиксацию материала и анатомические препараты готовили по общепринятым методикам М. Л. Прозиной (1960), А. И. Пермякова (1988), Р. П. Барыкиной и др. (2001, 2004) [19–21]. Толщина анатомических срезов 10-15 мкм. Для количественного анализа измерены анатомические параметры с помощью программы А. Черниговского PhotoM 1.31. Статистическая обработка морфометрических показателей проводилась по методике Лакина Г.Ф. [22] и с помощью программы MS Excel. Микрофотографии сделаны на микроскопе Leica (увеличение x50, x100).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Echium vulgare L.Sp.pl. – **Синяк обыкновенный** (Ранник синий) – Сем. Бурачниковые. Двулетник. 30–100 см выс. Покрыт длинными отстоящими щетинистыми волосками, с примесью мелких прилегающих; стебли прямостоячие, крепкие, коротковетвистые; цветки сидячие, расположены на коротких боковых веточках, выходящих из верхней части стебля и образующих узкое метельчатое соцветие; венчик сине-фиолетовый или ярко-синий, при расцветании розовато-красный; орешки серые, горбатые, с несколько выраженными выростами. Растет на пустырях и у дорог.

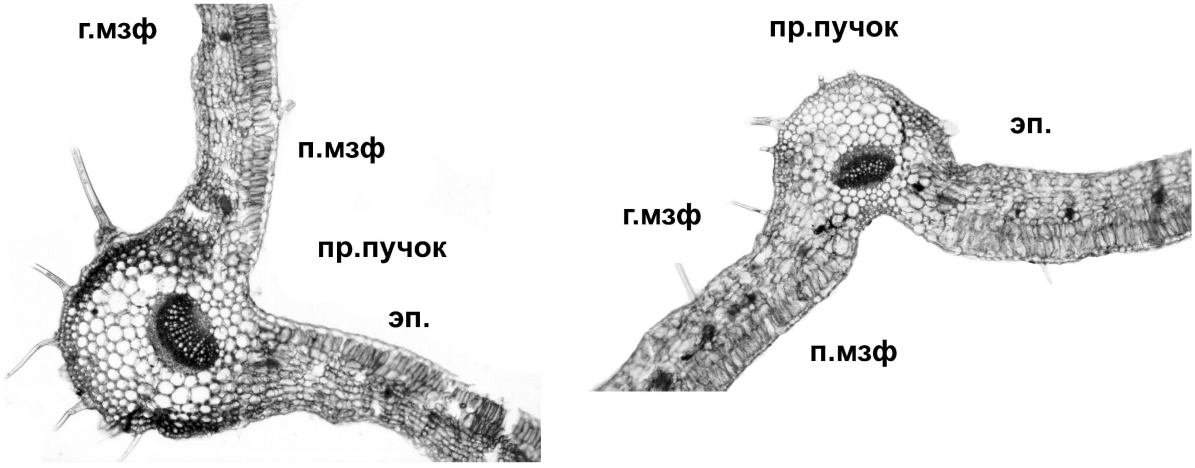
При изучении содержания тяжелых металлов в надземной и подземной частях данного вида, выявлено, что синяк обыкновенный является уникальным биоаккумулятором свинца, цинка, меди и кадмия (табл. 2). При этом коэффициент биологической абсорбции для свинца доходит до 17,51, для цинка – 14, для кадмия – 17,52 и для

Таблица 1. **Содержание тяжелых металлов в отобранных точках исследования**

Точка	Pb		Zn		Cu		Cd	
	Содержание, мг/кг	Превышение ПДК	Содержание, мг/кг	Превышение ПДК	Содержание, мг/кг	Превышение ПДК	Содержание, мг/кг	Превышение ПДК
1	199,21	6,2	730,71	31,8	52,36	1,8	5,71	11,4
2	671,73	21	2315,81	100,7	87,42	3	14,87	30
3	294,14	9,2	1192,73	51,9	65,05	2,2	3,07	6
4 (контроль)	17,05	0,5	12,62	0,5	19,04	0,7	0,17	0,3

Таблица 2. **Содержание (мг/кг) и коэффициенты биологической абсорбции тяжелых металлов в Euphorbia microcarpa и Echium vulgare**

Участок	Часть растения	Pb		Zn		Cd		Cu	
		Содержание	$К_{ба}$	Содержание	$К_{ба}$	Содержание	$К_{ба}$	Содержание	$К_{ба}$
1	Надземная	2748,24	*13,79*	10812,13	*14,80*	40,89	*7,16*	611,42	*11,68*
	Подземная	61,09	*0,31*	2742,07	*3,75*	3,96	*0,69*	231,25	*4,42*
2	Надземная	3155,56	*4,69*	10339,74	*4,46*	54,24	*3,65*	758,86	*8,68*
	Подземная	4612,10	*6,87*	3958,53	*1,71*	7,86	*0,53*	266,32	*4,09*
3	Надземная	5151,45	*17,51*	16698,73	*14,0*	53,78	*17,52*	2025,26	*31,13*
	Подземная	20,36	*0,07*	617,87	*0,52*	0,47	*0,15*	321,16	*4,94*
4	Надземная	30,38	*1,78*	34,86	*2,76*	0,65	*3,82*	28,11	*1,48*
	Подземная	10,87	*0,64*	37,22	*2,95*	0,22	*1,29*	22,59	*1,19*



А Б

Рис. 1. Поперечный срез листовой пластинки Echium vulgare. Ув. х 50. А – контроль, Б – загрязненный участок *(обозначения: эп. – эпидермис, п.мзф – палисадный мезофилл, г.мзф – губчатый мезофилл, пр. пучок – проводящий пучок)*

меди – 31,13. Максимальное значение аккумуляции *для всех металлов у Echium vulgare L.* наблюдалось при среднем загрязнении почвы (участок 3).

Анатомические особенности *Echium vulgare L.*

Лист снаружи покрыт эпидермисом. Клетки эпидермиса плотно сомкнуты, без межклетников. Опушение листа представлено одноклеточными волосками. Мезофилл дифференцирован на палисадный и губчатый. Двухрядный, плотно сомкнутый палисадный мезофилл расположен на верхней, адаксиальной стороне листовой пластинки. На нижней, абаксиальной стороне размещен губчатый мезофилл с межклетниками. Закрытые коллатеральные сосудисто-волокнистые пучки пронизывают мезофилл листа. Проводящий пучок имеет паренхимную обкладку (рис.1).

На загрязненных участках наблюдается увеличение толщины столбчатого и губчатого мезофиллов и уменьшение площади проводящих пучков и ксилемных сосудов. Количественные показатели толщины верхнего и нижнего эпидермисов увеличиваются на участках 1 и 3, и уменьшаются на сильно загрязненном участке 2. Иная чувствительность отмечается у ксилемных сосудов к содержанию тяжелых металлов в почве, так как их площадь близка к контролю на слабо загрязненном участке 1, и резко уменьшается на участках 2 и 3 (табл. 3).

В анатомическом строении стебля Echium vulgare четко выражены эпидермис, первичная кора, центральный цилиндр. Наружные стенки эпидермальных клеток значительно толще боковых и внутренних, с одноклеточными волосками. Первичная кора состоит из крупных паренхимных клеток с межклетниками. Паренхимные клетки прилежащего к склеренхимному кольцу слоя слабо вытянуты в тангентальном направлении и плотно примыкают друг к другу. Склеренхимное кольцо охватывает тесно расположенные открытые коллатеральные проводящие пучки. Сердцевина стебля выполнена крупными паренхимными клетками (рис. 2).

Таблица 3. **Анатомические особенности листовой пластинки**

Участок	Толщина эпидермиса, мкм		Толщина мезофилла, мкм		Площадь паренхимных клеток, $x10^{-3}$мм^2	Площадь ксилемных сосудов, $x10^{-3}$мм^2
	верхнего	нижнего	столбчатого	губчатого		
1	99,96 ± 0,53	101,26 ± 0,04	401,42± 0,26	511,07 ± 0,88	406,06 ± 1,64	1,35 ± 0,26
2	71,78 ± 0,03	61,94 ± 0,19	365,83 ± 0,16	407,83 ± 0,35	256,56 ± 0,65	0,47 ± 1,56
3	81,31 ± 1,42	81,79 ± 0,21	328,85 ± 1,29	438,89 ± 1,17	241,94 ±0,73	0,71 ± 0,78
4 (контроль)	78,44 ± 1,57	75,36 ± 0,15	347,42 ± 0,77	388,82 ± 0,29	546,98 ± 1,59	1,14 ± 0,43