

# ЭКОЛОГИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ И ГЕОДЕЗИЯ

Известия ТСХА, выпуск 1, 2010 год

УДК 631.416.9

## ФИТОРЕМЕДИАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ДИКОРАСТУЩИХ И КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

И.В. АНДРЕЕВА, М.В. ЗЛОБИНА, Р.Ф. БАЙБЕКОВ, Н.Ф. ГАНЖАРА

(Аграрный бизнес-инкубатор, кафедра геологии и ландшафтоведения, кафедра почвоведения)

**Обсуждаются данные вегетационного опыта по определению фиторемедиационной способности семи культурных и дикорастущих растений в условиях комплексного загрязнения дерново-подзолистой почвы Cd, Ni, Pb и Zn. Установлено, что при среднем и высоком уровне загрязнения почвы амарант, львиный зев и горчица белая обладали наибольшим фиторемедиационным потенциалом в отношении Cd, Zn и Ni.**

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, кадмий, никель, свинец, цинк, загрязнение почвы, толерантность, фиторемедиация, фиторемедиационный потенциал, фитоэкстракция.

В условиях повышенного содержания тяжелых металлов (ТМ) в среде произрастания растения выработали различные стратегии устойчивости, в основу которых заложены два противоположных принципа — аккумулятивное с последующей изоляцией токсикантов от метаболически активных компартментов клетки и так называемое избегание, когда растения с помощью различных механизмов снижают доступность металлов в корневой зоне, либо их перемещение внутри растения за пределы корневой системы. На основании накопленного исследователями экспериментального материала по устойчивости растений разных видов к отдельным ТМ была сформулирована научная основа фиторемедиации — недорогого метода биологической очистки загрязненных ТМ почв без нарушения их структуры и плодородия. Фиторемедиация — обобщенное название различных подходов деконтаминации

загрязненных ТМ почв с помощью растений [8]. Так, стратегия избегания легла в основу фитостабилизации, или фитоиммобилизации, включающей применение растений для снижения биодоступности контаминантов в почве и, как следствие, предотвращения их миграции по почвенному профилю и загрязнения сопредельных сред. Однако применение данного подхода не решает проблему загрязнения, поэтому должно сопровождаться постоянным мониторингом за содержанием и биодоступностью металлов в почве. Извлечения металлов из почвы путем их накопления в биологической массе растений, которая впоследствии утилизируется, удается достигнуть благодаря методу фитоэкстракции, основанному на стратегии аккумуляции. Залогом успешной очистки почв с применением метода фитоэкстракции является правильный подбор растений, которые должны сочетать повышенный уровень тя-

железных металлов в наземной части, отчуждаемой при уборке, с высокой биологической продуктивностью. Кроме того, растения-фиторемианты должны быть хорошо адаптированы к почвенно-климатическим условиям того региона, в котором предполагается проводить очистку загрязненных ТМ почв. Многие исследователи полагают, что наибольшим потенциалом для целей фиторемиации обладают растения-гипераккумуляторы, способные накапливать в своих тканях ТМ в концентрациях, в 100-1000 раз превышающих таковые в других растениях, произрастающих в аналогичных условиях [6, 10]. Однако большинство известных гипераккумуляторов — растения южных широт, которые зачастую эндемичны к определенному типу геологического субстрата, характеризуются медленным ростом и не отличаются заметной биологической продуктивностью. В связи с этим большое значение для фиторемиации конкретных территорий приобретает идентификация и отбор местных культурных и дикорастущих видов растений. Целью наших исследований явилось определение фиторемиационного потенциала ряда с.-х. культур, декоративных и дикорастущих растений в условиях комплексного загрязнения дерново-подзолистой почвы кадмием, никелем, свинцом и цинком.

### Методика

Программа исследований предусматривала проведение вегетационного опыта в почвенной культуре на базе вегетационного домика кафедры агрохимии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Почва дерново-подзолистая тяжелосуглинистая из Наро-фоминского района Московской обл. имела следующую агрохимическую характеристику:  $pH_{\text{кол}}$  — 5,7, гумус по Тюрину — 2,3%,  $N_T$  — 3,1 мгэкв/100 г почвы, S — 16,3 мгэкв/100 г почвы,  $P_{2O_5}$  и  $K_2O$  по Кирсанову — 120

и 104 мг/кг почвы,  $Cd_{\text{подв}}$  и  $Cd_{\text{вал}}$  — 0,1 и 0,4;  $Ni_{\text{подв}}$  и  $Ni_{\text{вал}}$  — 0,4 и 11,8;  $Pb_{\text{подв}}$  и  $Pb_{\text{вал}}$  — 0,2 и 10,6;  $Zn_{\text{подв}}$  и  $Zn_{\text{вал}}$  — 1,5 и 22,6 мг/кг почвы соответственно. Фоновые макроудобрения при набивке сосудов вносили в виде нитроаммофоски с соотношением основных питательных веществ 16:16:16. Комплексное загрязнение почвы имитировали путем внесения в нее химически чистых сернокислых солей кадмия, цинка, никеля и свинца. Выбор доз проводили по шкале нормирования уровня загрязнения почв ТМ: 1-й вариант (контроль, без внесения ТМ) — допустимый (ниже ПДК), 2-й — низкий (ТМ на уровне 1 ПДК), 3-й — средний (ТМ на уровне 3 ПДК), 4-й — высокий (ТМ на уровне 5 ПДК) [3]. Для определения подвижных (ацетатно-аммонийный буфер с  $pH$  4,8) и валовых форм ТМ в каждом варианте отбирали почвенные пробы. Для исследования были выбраны следующие культурные и дикорастущие растения: амарант (*Amaranthus cantadatus*), львиный зев (*Antirrhinum majus*), просо волосовидное (*Panicum capillare*), марь белая (*Cheopodium album*), донник желтый (*Melilotus officinalis*), горчица белая (*Sinapis alba*), редька масличная (*Raphanus sativus*). В фазу цветения растения срезали, высушивали, взвешивали и размалывали. Пробоподготовку осуществляли в СВЧ-минерализаторе Anton Paar Multiwave 3000. Концентрацию Cd, Zn, Pb и Ni в почвенных и растительных образцах определяли атомно-адсорбционным методом на спектрофотометре КВАНТ-2 АТ. Статистический анализ проводили путем определения наименьшей существенной разницы ( $HCP_{05}$ ) при помощи прикладной программы STRAZ.

### Результаты и их обсуждение

Уровень накопления биологической массы является одним из наиболее важных характеристик растений-

фиторемедиантов, поскольку при одинаковом содержании металла в тканях растения, развивающие большую надземную биомассу, отличаются более высокими показателями его выноса. Согласно полученным данным по накоплению биологической массы, исследуемые растения проявили разную степень толерантности к присутствию в почве ТМ в различных концентрациях (рис. 1).

Так, накопление надземной биологической массы растениями контрольного варианта изменялось в ряду: амарант > просо волосовидное > марь белая > горчица белая > редька масличная > львиный зев > донник желтый. В условиях незагрязненной почвы уровень накопления надземной биомассы амаранта и проса оказался в 1,5-2,7 раза выше, чем у других растений, однако при внесении ТМ на уровне 5 ПДК (вариант 4) данные растения, а также марь, донник и горчица продемонстрировали более чем двукратное снижение накопле-

ния общей биологической массы. Наибольшую толерантность из исследуемых растений как к среднему, так и к высокому уровню загрязнения почвы ТМ проявили растения редьки масличной, надземная масса которых не только не снизилась, но и повысилась на 30-47% по сравнению с контрольным вариантом при концентрации ТМ на уровне 1-3 ПДК. В целом ранжированный ряд с внесением ТМ на уровне 5 ПДК приобрел следующий вид: редька масличная > львиный зев > амарант > донник желтый > просо волосовидное > марь белая > горчица белая. Таким образом, при анализе пригодности растения для целей фитоэкстракции загрязненного участка необходимо в первую очередь принимать во внимание уровень его толерантности к тому диапазону концентраций металла, который установлен для почвы на данном участке.

Данные о содержании и выносе кадмия, свинца, никеля и цинка в ие-

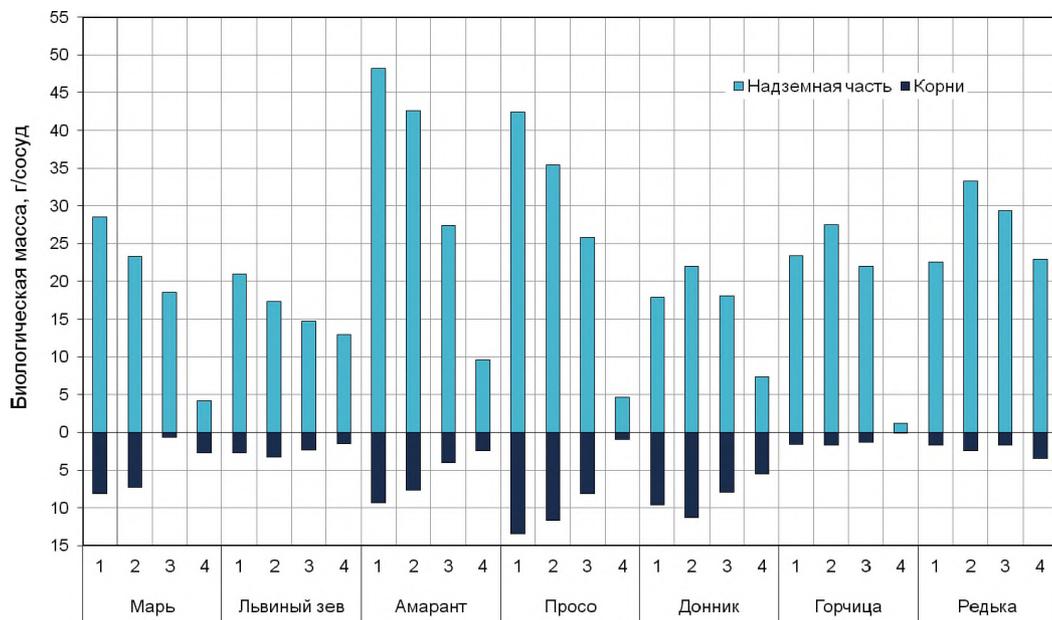


Рис. 1. Накопление биологической массы растениями, г/сосуд

следуемых растениях свидетельствуют, с одной стороны, о существовании значительных видовых отличий в их накоплении и распределении по

органам, а с другой — о разном характере поступления и поведения металлов в пределах одного растения (табл. 1, рис. 2).

Т а б л и ц а 1

**Содержание Cd, Pb, Ni и Zn в различных растениях, мг/кг сухой массы**

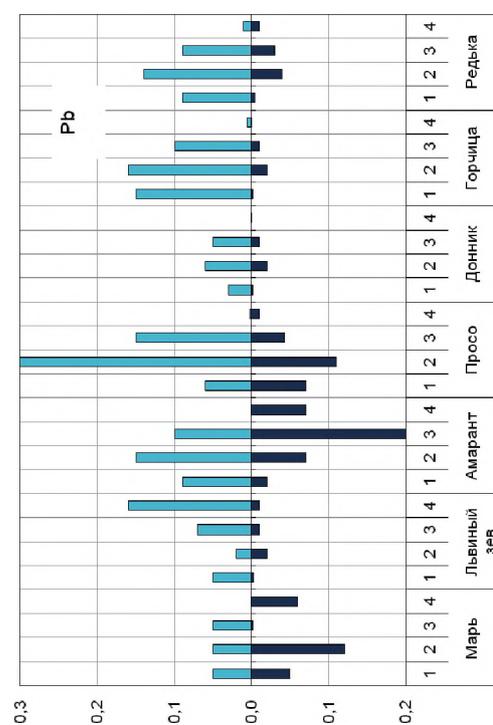
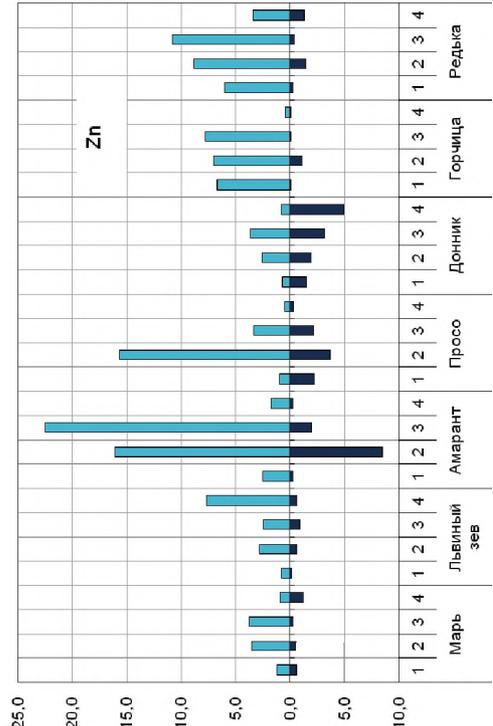
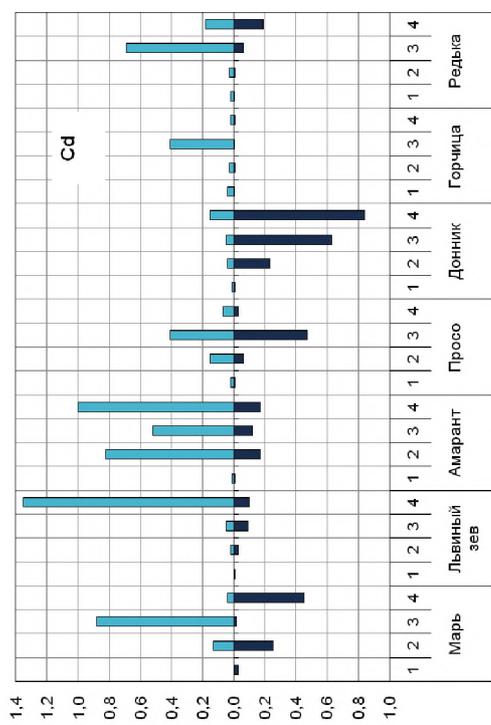
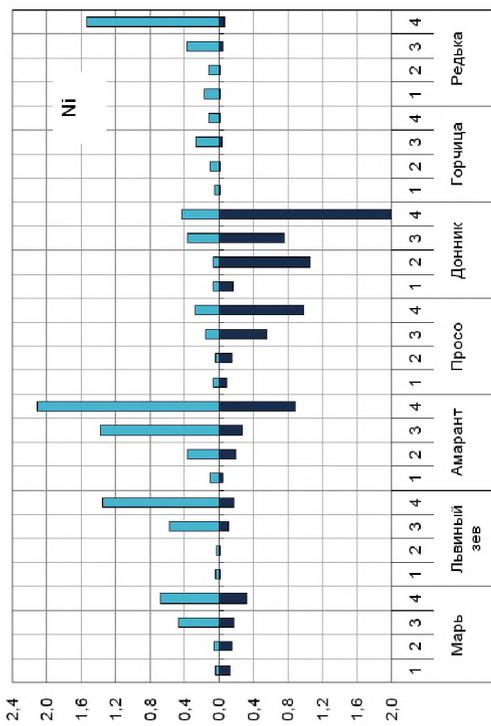
Элемент	Варианты				НСП <sub>05</sub>
	1	2	3	4	
	НРК (фон)	фон + ТМ			
1 ПДК		3 ПДК	5 ПДК		
1	2	3	4	5	6
<i>Марь белая</i>					
Cd	<u>0,05</u>	<u>5,6</u>	<u>47,5</u>	<u>8,4</u>	<u>3,9</u>
	3,4	34,5	38,6	165,5	3,9
Pb	<u>1,7</u>	<u>2,2</u>		<u>сл.</u>	<u>1,1</u>
	6,4	16,3	н.д.	21,9	1,6
Ni	<u>1,5</u>	<u>2,7</u>	<u>25,0</u>	<u>162,1</u>	<u>4,0</u>
	15,6	20,4	278,7	118,7	14,0
Zn	<u>40,9</u>	<u>150,5</u>	<u>202,4</u>	<u>225,6</u>	<u>5,6</u>
	71,9	77,0	479,6	447,2	4,5
<i>Львиный зев</i>					
Cd	<u>0,07</u>	<u>1,3</u>	<u>2,7</u>	<u>103,9</u>	<u>2,9</u>
	2,1	11,4	25,8	68,0	1,9
Pb	<u>2,2</u>	<u>4,5</u>	<u>1,3</u>	<u>12,1</u>	<u>0,6</u>
	1,1	4,9	5,2	7,6	0,7
Ni	<u>1,8</u>	<u>2,0</u>	<u>33,7</u>	<u>103,5</u>	<u>4,2</u>
	4,3	5,3	33,1	115,7	3,4
Zn	<u>38,6</u>	<u>160,7</u>	<u>169,0</u>	<u>590,6</u>	<u>8,9</u>
	39,1	185,3	380,6	389,7	5,2
<i>Амарант</i>					
Cd	<u>0,2</u>	<u>19,2</u>	<u>19,1</u>	<u>104,1</u>	<u>3,3</u>
	1,6	22,1	29,8	70,2	3,1
Pb	<u>1,9</u>	<u>3,6</u>	<u>3,6</u>	<u>сл.</u>	<u>0,5</u>
	1,8	9,3	48,8	30,3	4,0
Ni	<u>2,0</u>	<u>8,6</u>	<u>50,3</u>	<u>219,6</u>	<u>11,4</u>
	5,8	25,7	66,8	368,0	14,9
Zn	<u>52,2</u>	<u>378,2</u>	<u>820,7</u>	<u>180,4</u>	<u>30,8</u>
	24,5	1118,5	505,8	98,7	134,6
<i>Просо волосовидное</i>					
Cd	<u>0,4</u>	<u>4,2</u>	<u>15,7</u>	<u>15,4</u>	<u>2,0</u>
	0,4	5,6	58,4	37,6	4,4
Pb	<u>1,4</u>	<u>8,5</u>	<u>5,9</u>	<u>0,4</u>	<u>0,5</u>
	5,5	9,6	5,3	10,4	2,2
Ni	<u>1,7</u>	<u>1,1</u>	<u>6,3</u>	<u>58,8</u>	<u>3,1</u>
	6,5	12,5	69,5	1086,2	39,3
Zn	<u>24,0</u>	<u>443,2</u>	<u>130,7</u>	<u>107,6</u>	<u>10,2</u>
	164,2	315,1	263,3	371,0	58,3

1	2	3	4	5	6
<i>Донник белый</i>					
Cd	<u>0,5</u>	<u>1,6</u>	<u>2,6</u>	<u>19,6</u>	<u>1,4</u>
	1,3	20,4	79,7	152,1	7,5
Pb	<u>1,7</u>	<u>2,5</u>	<u>2,8</u>	<u>сл.</u>	<u>0,5</u>
	2,4	6,1	11,6	49,6	2,3
Ni	<u>4,0</u>	<u>3,1</u>	<u>20,4</u>	<u>59,8</u>	<u>2,8</u>
	16,4	94,1	96,8	363,1	18,7
Zn	<u>40,2</u>	<u>117,2</u>	<u>200,0</u>	<u>108,0</u>	<u>14,2</u>
	154,0	169,5	402,6	900,5	23,0
<i>Горчица белая</i>					
Cd	<u>1,9</u>	<u>1,2</u>	<u>18,7</u>	<u>17,1</u>	<u>3,4</u>
	0,4	7,5	3,8	62,3	8,3
Pb	<u>6,2</u>	<u>5,7</u>	<u>4,5</u>	<u>3,9</u>	<u>1,3</u>
	1,5	9,4	6,4	11,4	0,2
Ni	<u>2,3</u>	<u>3,5</u>	<u>12,3</u>	<u>102,8</u>	<u>7,6</u>
	4,2	6,7	30,0	24,3	10,6
Zn	<u>287,0</u>	<u>256,8</u>	<u>354,6</u>	<u>355,3</u>	<u>46,4</u>
	22,9	624,3	33,8	484,8	43,6
<i>Редька масличная</i>					
Cd	<u>0,9</u>	<u>1,0</u>	<u>23,3</u>	<u>8,0</u>	<u>2,5</u>
	0,3	3,2	34,2	55,3	5,2
Pb	<u>3,9</u>	<u>4,2</u>	<u>3,2</u>	<u>0,3</u>	<u>1,0</u>
	2,9	15,4	20,1	2,5	2,6
Ni	<u>7,6</u>	<u>3,7</u>	<u>12,9</u>	<u>67,2</u>	<u>6,5</u>
	3,5	5,1	26,5	19,0	1,8
Zn	<u>266,9</u>	<u>266,6</u>	<u>367,7</u>	<u>150,1</u>	<u>47,2</u>
	163,5	593,3	216,6	373,1	69,7

Примечание. Числитель — надземная часть, знаменатель — корни; н.д. — нет данных.

При рассмотрении характера накопления и распределения кадмия в исследуемых растениях прослеживаются следующие закономерности: низкое содержание элемента в растениях контрольного варианта (кроме представителей семейства Крестоцветных) и высокие уровни его накопления при загрязнении почвы (на 1-4 порядка в зависимости от вида и части растения по сравнению с контрольным вариантом). Так, при повышении концентрации экзогенного кадмия в почве его содержание в растениях последовательно возрастало и достигло максимальных значений в

надземной части растений амаранта и львиного зева (более 100 мг/кг сухой массы) и корнях мари и донника (более 150 мг/кг сухой массы) в варианте 5 ПДК. Вынос и характер распределения кадмия в растениях варьировали в широких пределах и в значительной степени носили видоспецифичный характер. Так, у растений амаранта во всех вариантах с комплексным загрязнением почвы доля кадмия в надземных органах составила 81-85% от его общего выноса, а у донника, напротив, 85-93% поступившего в растения элемента было обнаружено в корнях (см. рис. 2).



□ Надземная часть 1 Корни

**Рис. 2.** Вынос кадмия, никеля, свинца и цинка дикорастущими и культурными растениями, мг/сосуд

Данные о содержании и выносе никеля растениями свидетельствуют о том, что по мере увеличения концентраций элемента во внешней среде он активно поступал в корневую систему растений и в надземную часть. Так, при внесении ТМ в почву на уровне 5 ПДК его содержание в надземной части амаранта возросло в 110 раз, мари — в 108 раз, львиного зева — в 58 раз по сравнению с контрольным вариантом, в корнях — в 63, 27 и 8 раз соответственно. Максимальное содержание никеля обнаружено в надземных органах амаранта и составило 219,6 мг/кг сухой массы в варианте с внесением ТМ на уровне 5 ПДК. Независимо от концентраций экзогенного никеля львиный зев, амарант, горчица и редька активно транспортировали его из корней в надземные органы (65-94% от общего выноса), тогда как донник и просо — удерживали элемент в корнях (70-94% от общего выноса).

В отличие от никеля и кадмия четкой закономерности в повышении накопления свинца растениями при увеличении его концентрации в почве не наблюдалось. Отличительной особенностью данного элемента явился тот факт, что в условиях сильного загрязнения почвы ТМ корни растений мари, амаранта и донника практически полностью удерживали элемент от дальнейшего перемещения в надземную часть, что соответствует установленному для данного металла акропетальному характеру распределения благодаря наличию в корнях растений системы его инактивации [4]. Однако при низком и среднем уровне содержания свинца в почве выявлена способность представителей семейства крестоцветных — горчицы и редьки — к активному транспорту данного элемента в надземные органы. Максимальный общий вынос свинца в вариантах с его внесением в почву отмечен у растений амаранта и проса (0,2-0,4 мг Pb/сосуд), а в ва-

рианте с внесением ТМ на уровне 5 ПДК — в надземной части растений львиного зева и корнях донника — 0,16 и 0,27 мг Pb/сосуд соответственно. Таким образом, при низких и средних концентрациях свинца в почве амарант и просо накапливали наибольшее количество свинца, но при высоких концентрациях элемента в среде произрастания активнее накапливали и транспортировали его в надземную часть растения львиного зева.

Содержание цинка в растениях варьировало в широких пределах в зависимости от уровня загрязнения почвы и вида растения. Однако расчетные данные выноса цинка позволили установить, что, во-первых, у большинства растений его накопление достигало максимальных значений в диапазоне низких и средних концентраций ТМ и, во-вторых, большая часть поглощенного растениями элемента обнаружена в надземных органах независимо от уровня его концентрации в среде произрастания. Это согласуется с выводами других авторов о том, что механизмы, препятствующие транспорту ТМ в надземную часть и органы накопления ассимилятов, в отношении цинка выражены в наименьшей степени [1]. В качестве исключения можно отметить растения донника, корни которого удерживали 43-86% цинка от общего выноса в зависимости от варианта по аналогии с кадмием, никелем и свинцом.

Для определения фиторемедиационного потенциала экспериментальных растений были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (КБП) как соотношение содержания элемента в надземной части и его валового содержания в почве, а также транслокационные коэффициенты (ТК) — соотношение содержания элемента в надземной части растения и его содержания в корнях.

Растения, у которых ТК и в особенности КБП меньше 1,0, не подходят для использования в целях фитоэкстракции [7]. Результаты ранжирования экспериментальных растений по показателям КБП и ТК, значения которых больше 1,0, при разном уровне комплексного загрязнения почвы кадмием, цинком, никелем и свинцом, представлены в таблице 2. Растения, для которых оба расчетных коэффициента оказались выше единицы, являются потенциальными фиторемедиантами в отношении конкретного металла и при определенном уровне его содержания в почве. Так, при до-

пустимом и среднем уровне загрязнения почвы аккумулятором кадмия проявила себя горчица, тогда как при высоком уровне загрязнения — амарант и львиный зев. Активный вынос никеля и его накопление в надземных органах при среднем уровне загрязнения почвы отмечен для растений львиного зева, а при высоком — для растений мари и горчицы. Цинк, в отличие от других металлов, активно накапливали все экспериментальные растения, однако наиболее активно транспортировали его в надземные органы в зависимости от уровня загрязнения почвы горчица, амарант,

Таблица 2

**Ранжирование экспериментальных растений, имеющих показатели КБП и ТК более 1,0, в условиях разного уровня комплексного загрязнения почвы ТМ**

Показатель	Уровни загрязнения почвы тяжелыми металлами			
	допустимый	низкий	средний	высокий
<i>Кадмий</i>				
КБП	Горчица > редька	Амарант > марь > просо	Редька > амарант > горчица > просо	Амарант > львиный зев > донник > горчица > просо
ТК	Горчица > редька	—	Горчица	Львиный зев > амарант
<i>Никель</i>				
КБП	—	—	Амарант > львиный зев > марь	Амарант > марь > львиный зев = горчица
ТК	Редька	—	Львиный зев	Горчица > редька > марь
<i>Свинец</i>				
КБП	—	—	—	—
ТК	Просо > горчица > львиный зев > редька > амарант	Просо	Просо	Просо > львиный зев
<i>Цинк</i>				
КБП	Горчица > редька >> амарант > донник = марь > львиный зев > просо	Просо > амарант >> редька > горчица > львиный зев > марь > донник	Амарант >> редька > горчица > марь > донник > львиный зев > просо	Львиный зев > горчица > марь > амарант > редька > просо = донник
ТК	Горчица > амарант > редька	Марь > просо	Горчица > редька > амарант	Амарант > львиный зев

редька, львиный зев, марь и просо. Из них следует особо выделить амарант и львиный зев, которые, как было отмечено ранее, проявили наибольшую толерантность к высокому уровню загрязнения почвы ТМ. Амарант, помимо установленной в опыте высокой толерантности к присутствию в почве ТМ и способности к их аккумуляции, обладает высокой продуктивностью, экологической пластичностью и устойчивостью к различным стресс-факторам [2], в связи с чем данное растение можно рассматривать как наиболее перспективный фиторемедиант. Установленные значения КБП свинца свидетельствуют о том, что ни одно из изученных растений не обладает потенциалом для фиторемедиации почв, загрязненных данным элементом.

### Заключение

Согласно общепринятым критериям [5], ни одно из исследуемых растений не проявило себя гипераккумулятором в отношении кадмия, цинка, никеля и свинца при выращивании на загрязненной данными элементами почве. Однако для некоторых растений в отно-

шении отдельных металлов расчетные коэффициенты биологического поглощения и транслокации оказались выше единицы, что свидетельствует о существовании у них фиторемедиационного потенциала при определенном уровне антропогенной нагрузки. Так, при высоком уровне загрязнения растения амаранта и львиного зева проявили наибольшую толерантность и способность к аккумуляции в надземных органах кадмия и цинка, растения горчицы — никеля; при среднем уровне загрязнения активно накапливали и транспортировали кадмий растения горчицы, цинк — растения амаранта, горчицы и редьки, никель — растения львиного зева. Необходимо дальнейшее изучение использования указанных растений — потенциальных фиторемедиантов для деконтаминации загрязненных ТМ почв, а также поиск способов усиления их экстракционной способности. Кроме того, способность удерживать металлы в корнях наиболее ярко продемонстрировали растения донника, которые можно использовать для деконтаминации загрязненных почв методом фитостабилизации. Это позволит минимизировать миграцию ТМ в почве, их биодоступность и попадание в пищевые цепи [9].

### Библиографический список

1. *Зубкова В.М.* Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах и влияние удобрений на их поведение в системе почва — растение: Автореф. докт. дис. М., 2004.
2. *Чернов И.А., Куликов Ю.А., Дегтярева И.А., Гасимова Г.А., Максимов С.В.* Биосинтез белка и продуктивность амарантовых / В сб.: Материалы VII Международной научно-методической конференции «Интродукция нетрадиционных и редких растений», 8-12 июня 2008 г. Мичуринск. Т. III. С. 91-94.
3. Экологические требования к почвам и грунтам г. Москвы (методическое пособие) / Под ред. Н.Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2005.
4. *Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б., Замараев А.Г., Чаповская Г.В.* Накопление кадмия и свинца некоторыми сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Известия ТСХА, 1995. Вып. 2. С. 85-100.
5. *Baker A.J.M., Brooks R.R.* Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry // *Biorecovery*. V. 1. P. 81-126.
6. *Brooks R.R.* Plant that hyperaccumulate heavy metals (their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining). Wallingford: CAB International, 1998.

7. *Fitz W.J., Wenzel W.W.* Arsenic transformation in the soil — rhizosphere — plant system, fundamentals and potential application of phytoremediation// *Journal of Biotechnology*, 2002. V. 99. P. 259-278.

8. *Gkosh M., Singh S.P.* A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts // *Applied Ecology and Environmental Research*, 2005. V. 3(1). P. 1-18.

9. *Joonki Yoon, Xinde Cao, Qioting Zhou, Lena Q. Ma* Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site // *Science of the Total Environment*, 2006. V.368. P. 456-464.

10. *Zhao F.J., Lombi E., McGrath S.P.* Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* // *Plant and Soil*, 2003. V. 249(1). P. 37-43.

*Рецензент* — д. б. н. В.И. Кирюшин

#### SUMMARY

Data on a vegetation experiment determining the phyto-remediation abilities of seven cultivated and wild plants, under conditions of complex contamination of sod-podzol soil with Cd, Ni, Pb, Zn, have been reviewed. It has been established that at both middle and high levels of soil contamination" amaranth, snapdragon and white mustard have the highest phyto-remediation potential in relation to Cd, Zn and Ni among studied plants.

**Key words:** heavy metals, cadmium, nickel, lead, zinc, soil contamination, tolerance, phyto-remediation, phyto-remediation potential, phyto extraction.

**Андреева Ирина Викторовна** — к.б.н., РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.  
Тел. 977-78-94.

**Злобина Мария Владимировна** — РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.  
Тел. 976-12-48. Эл. почта: m-zlobina@yandex.ru.

**Байбеков Роман Федорович** — д.с.-х. н., ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова.  
Тел. 976-25-01.

**Ганжара Николай Федорович** — д.б.н., РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.  
Тел. 976-84-03.