

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 581:502

*О. Л. Воскресенская*

### ДИНАМИКА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ И НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОНТОГЕНЕЗЕ ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Приведены результаты исследований морфометрических показателей, содержания и накопления тяжелых металлов свинца, кадмия, цинка и меди в онтогенезе подорожника большого, произрастающего в городе Йошкар-Оле, с различной степенью антропогенной нагрузки. Показано, что растения, произрастающие на загрязненных территориях, имеют более низкие показатели ростовых характеристик, биомассы и более высокие содержания тяжелых металлов, изменяющиеся в процессе онтогенеза растений.*

**Ключевые слова:** подорожник большой, возрастное состояние, свинец, кадмий, медь, цинк, биомасса.

**Введение.** Одной из важнейших задач эколого-физиологических исследований является разработка представлений о взаимодействии растений со средой обитания в процессе онтогенеза. Несмотря на продолжительную историю изучения возрастной изменчивости растений, до сих пор не сформулированы общие принципы определения физиологического возраста для различных видов и отсутствует единая шкала, на основе которой возможна их сравнительная характеристика по данному признаку. Имеющиеся в литературе сведения о воздействии антропогенного загрязнения на растения обсуждаются преимущественно в аспекте их связи с вариациями физиологического возраста [1]. В то же время имеются четкие морфологические критерии выделения возрастных онтогенетических состояний для растений практически всех биоморф, разработанные авторами [2]. При этом исследования физиологоадаптационного процесса у растений различного возрастного состояния, толерантность видов по отношению к экологическим и антропогенным факторам, выделение морфофизиологических признаков маркеров уровня загрязнения среды базируются на концепции дискретного описания онтогенеза [2–6]. Рост является интегральным процессом, результирующим многие фи-

зиологические процессы, протекающие в растительном организме. Рост зависит от этапов онтогенеза, одним из проявлений которого он сам является. Количественные проявления роста всегда сопровождаются более или менее глубокими качественными изменениями формы, строения, физико-химического состояния или химического состава организма и его частей. В онтогенезе растений ростовые процессы протекают непрерывно, но с различной интенсивностью во времени и в разных частях организма [7].

Все факторы, влияющие на онтогенез растений в присутствии тяжелых металлов, можно разбить на две группы. Первая – «почвенная» составляющая, вторая – собственно физиологические свойства растений. Многие растения, в том числе и подорожник большой, адаптированы к высоким концентрациям токсических веществ в почве, атмосфере и активно накапливают их в своих тканях без видимого ущерба для своей жизнедеятельности. При поступлении избыточного количества металлов через корни растения начинают работать защитные механизмы неспецифической природы. По отношению к разным тяжелым металлам защитные возможности растения проявляются неодинаково, например, свинец, цинк, медь задерживаются в корнях, кадмий сравнительно легко проникает в надземные органы.

Другим источником металлов для растений служит загрязненный воздух. Попадающие из атмосферного воздуха на листья соединения металлов частично проникают внутрь тканей в результате пассивной диффузии или активного транспорта, частично остаются в виде поверхностного отложения, что зависит от особенностей поверхности листа и его морфологии [8]. Разницу в содержании тяжелых металлов исследуемыми видами можно объяснить неодинаковой подвижностью тяжелых металлов в почвах, а, следовательно, неодинаковой доступностью для растений, а также неодинаковой способностью растений поглощать разные тяжелые металлы.

В целом загрязнение биологических объектов тяжелыми металлами промышленного и автотранспортного происхождения носит комплексный характер [9]. Тяжелые металлы взаимодействуют как друг с другом, образуя физиологически активные пары, так и с другими загрязнителями (газообразными и жидкими) и оказывают совместное и избирательное действие на процессы метаболизма и физиологию растений.

**Цель** исследования состояла в определении морфометрических показателей, биомассы и содержания тяжелых металлов в онтогенезе подорожника большого, произрастающего в условиях антропогенного загрязнения.

**Объекты и методы.** Исследования проводились в городе Йошкар-Оле в районах с различной степенью антропогенного загрязнения: условно чистое местообитание – территория ООПТ «Сосновая роща»; загрязненный район (промышленная зона города) – вблизи заводов «Искож», «Марбиофарм» и крупных автомагистралей с высоким уровнем движения автотранспорта.

Объектом исследования выбран подорожник большой (*Plantago major* L.), исследования его биометрических показателей проведены в прегенеративном (j, im, v) и генеративном (g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub>) периодах онтогенеза. В качестве количественных критериев оценки ростовых характеристик были выбраны высота растения, длина черешка, количество листьев, длина и ширина листовой пластинки, а также увеличение биомассы.

В растительных образцах анализировали содержание тяжелых металлов: меди – фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом; цинка – фотометрически с дитизоном, кадмия и свинца методом инверсионной вольтамперометрии [10,11]. Содержание ионов металлов рассчитывали в миллиграммах на килограмм сухой массы (мг·кг<sup>-1</sup>). Для характеристики процессов передвижения химических элементов использовали коэффициент передвижения (Кп), равный отношению содержания элементов в листьях к таковому в корнях [12].

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTIKA 6.0». Достоверность различий обсуждалась при 5% уровне значимости.

**Результаты и их обсуждение.** Морфометрические показатели и накопление биомассы в онтогенезе подорожника большого в благоприятных условиях произрастания (ООПТ «Сосновая роща») приведены в табл. 1 и на рис. 1. При переходе растений от одного возрастного состояния к другому происходило постепенное увеличение высоты надземной части растений. Средневозрастные генеративные растения подорожника большого (27,6 см) были в 6 раз выше ювенильных растений (4,6 см). Каждое возрастное состояние характеризовалось увеличением высоты растений от 15 до 33%.

В процессе роста подорожника большого происходило также и увеличение количества листьев. В каждом возрастном состоянии наблюдалось прибавление 1–2 новых листьев, в целом количество листьев от ювенильных до средневозрастных генеративных растений увеличилось от 3,5 до 9,3 штук на особь. Ширина и длина листовых пластинок также увеличивались и к концу наблюдений у средневозрастных генеративных особей составили 6,7 и 10,7 см, что было больше в 3 раза по сравнению с ювенильными особями.

Т а б л и ц а 1

**Морфометрические показатели и накопление биомассы в онтогенезе подорожника большого (контроль, ООПТ «Сосновая роща»)**

Онтогенетические состояния	Высота растения (см)	Ширина листовой пластинки (см)	Длина листовой пластинки (см)	Длина черешка (см)	Количество листьев (шт.)	Биомасса растений (мг)
Ювенильные растения (j)	4,63±0,25	2,0±0,03	2,9±0,01	2,8±0,04	3,5±0,03	0,47±0,01
Имматурные растения (im)	6,18±0,85	3,9±0,02	4,8±1,24	5,0±0,01	4,7±0,01	0,75±0,06
Виргинильные растения (v)	13,43±1,40	5,8±0,03	8,2±0,04	10,2±0,02	6,7±0,06	3,88±0,21
Молодые генеративные растения (g <sub>1</sub> )	18,86±1,30	6,3±0,01	10,1±0,07	10,5±0,01	7,7±0,21	9,76±0,33
Средневозрастные генеративные растения (g <sub>2</sub> )	27,62±0,63	6,7±0,03	10,7±0,02	10,8±0,04	9,3±0,07	25,97±1,50

В процессе онтогенеза наблюдалось значительное увеличение биомассы подорожника большого. Так, практически в 5 раз увеличилась биомасса виргинильных растений (3,9 мг) по сравнению с имматурными особями (0,8 мг). Фитомасса средневозрастных генеративных растений (25,9 мг) была в 55 раз больше, чем масса ювенильных особей (0,5 мг). Существенное увеличение биомассы в 2,5 раза наблюдалось также при переходе особей из молодого генеративного в средневозрастное генеративное онтогенетическое состояние.

При изучении растений, произрастающих в условиях загрязнения (табл. 2), установлено, что на начальных этапах онтогенеза не наблюдалось статистически достоверных отличий в высоте растений, по сравнению с растениями, произрастающими в экологически чистой зоне. Однако по мере дальнейшего роста виргинильные растения отставали в росте на 40% по сравнению с контролем. Но в то же время молодые генера-

тивные растения, выросшие в условиях загрязнения, были несколько выше, чем растения чистых мест обитания. В целом к концу наблюдений средневозрастные генеративные растения были ниже растений контрольного варианта (ООПТ «Сосновая роща») на 16 %.

Выявлено наиболее существенное снижение биомассы растений, произрастающих в условиях антропогенного загрязнения. Биомасса растений загрязненных мест обитания в среднем составила 15,9 мг (на контрольной территории – 25,9 мг), т.е. на 63 % ниже.

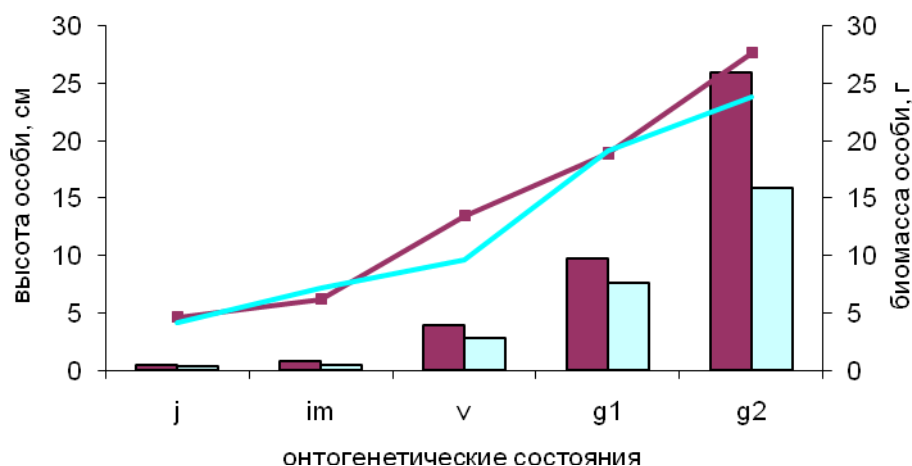


Рис.1. Изменение высоты и биомассы в онтогенезе подорожника большого (■ – контроль; ■ – промышленная зона; ----- – высота особи, □ – биомасса особи)

Т а б л и ц а 2

**Морфометрические показатели и накопление биомассы в онтогенезе подорожника большого (промышленная зона)**

Онтогенетические состояния	Высота растения (см)	Ширина листовой пластинки (см)	Длина листовой пластинки (см)	Длина черешка (см)	Количество листьев (шт.)	Биомасса растений (мг)
Ювенильные растения (j)	4,11±0,12	1,6±0,02	2,2±0,01	2,3±0,02	3,1±0,02	0,31±0,01
Имматурные растения (im)	7,10±0,18	2,0±0,02	3,2±0,04	3,5±0,02	4,3±0,02	0,49±0,03
Виргинильные растения (v)	9,54±0,94	4,0±0,03	6,1±0,14	8,9±0,02	6,4±,03	2,81±0,21
Молодые генеративные растения (g <sub>1</sub> )	19,06±1,51	4,6±0,03	6,8±0,06	7,5±0,11	6,6±0,02	7,56±0,04
Средневозрастные генеративные растения (g <sub>2</sub> )	23,82±0,73	5,0±0,04	7,6±0,05	7,9±0,14	8,1±0,05	15,89±0,70

Следует отметить, что на всем протяжении онтогенеза у растений подорожника большого, произрастающих в условиях загрязнения среды, длина черешка была на 37%,

ширина листовой пластинки – на 34%, длина листовой пластинки – на 40% меньше по сравнению с растениями, выросшими в экологически благоприятных условиях (рис. 2).

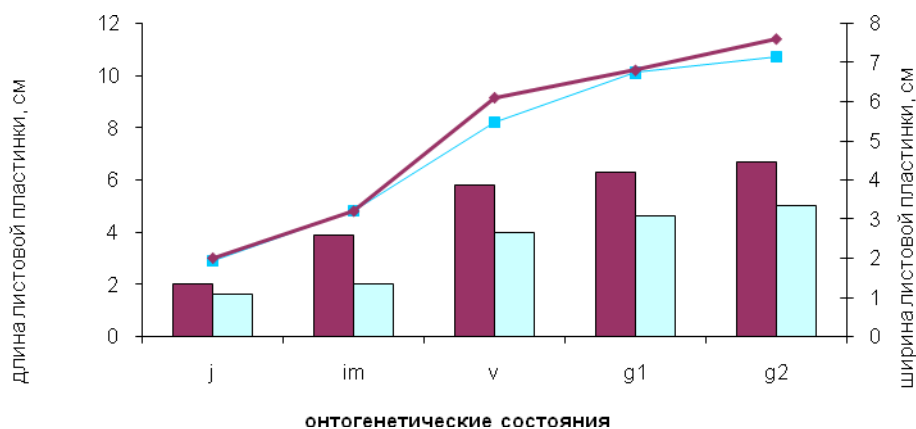


Рис. 2. Изменение параметров листовой пластинки в онтогенезе подорожника большого (■ – контроль; ■ – промышленная зона; ----- – длина листовой пластинки, ———— – ширина листовой пластинки)

Неблагоприятные условия роста оказывали влияние на биометрические показатели роста подорожника большого, растения быстрее «взростели», т.е. более энергично происходила смена возрастных состояний, и наблюдалось более раннее завершение онтогенеза.

Авторы [13] также отмечают, что на начальных этапах развития в условиях автотранспортного загрязнения наблюдается уменьшение длины корня, высоты побега, размеров листовой пластинки, биомассы побега и корня многолетних злаков. Однако в ходе дальнейшего онтогенеза растений ингибирующее действие загрязнителей городской среды в отношении большинства ростовых показателей ослабевает.

В процессе исследования изучена динамика накопления тяжелых металлов свинца, кадмия, меди и цинка в онтогенезе подорожника большого в условиях урбанизированной среды.

Т а б л и ц а 3

Содержание свинца в онтогенезе подорожника большого, мг/кг сухой массы

Возрастное состояние	ООПТ «Сосновая роща»			Промышленная зона		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
Ювенильные растения (j)	0	0	-	0,01±0,00	0,13±0,04	0,08
Имматурные растения (im)	0	0,06±0,00	-	1,28±0,07	3,05±0,18	0,42
Виргинильные растения (v)	0,18±0,02	0,44±0,03	0,41	3,21±0,07	4,04±0,15	0,79
Молодые генеративные растения (g <sub>1</sub> )	0,58±0,05	0,91±0,06	0,63	4,55±0,17	7,23±0,48	0,63
Средневозрастные растения (g <sub>2</sub> )	0,54±0,03	0,98±0,04	0,55	5,71±0,11	6,46±0,17	0,88

Следует отметить, что в растениях подорожника большого в контрольной зоне (ООПТ «Сосновая роща») на начальных этапах онтогенеза (ювенильные и имматурные

растения) свинец не был обнаружен, либо содержание данного тяжелого металла находилось в следовых количествах (табл. 3). По мере дальнейшего роста растений содержание свинца увеличивалось как в листьях, так и в корнях. Причем генеративные особи ( $g_1$ ,  $g_2$ ) накапливали свинца больше, чем растения, имеющие более молодой возрастной статус. Коэффициент передвижения был меньше 1 и равнялся от 0,41 до 0,63; основная масса свинца содержалась в корнях растений.

В результате исследования растений подорожника большого, произраставших в промышленной зоне города, было отмечено, что содержание свинца в листьях в 10, а в корнях в 6 раз превышает уровень, наблюдаемый у растений контрольного варианта. При этом содержание данного металла существенно увеличивалось в процессе роста растений и при переходе от одного возрастного состояния к другому. Коэффициент передвижения свинца у растений промышленной зоны был выше, особенно в генеративном возрастном состоянии, чем у растений, произрастающих в ООПТ «Сосновая роща». Проведенными исследованиями было установлено (табл. 3), что содержание свинца в различных возрастных состояниях подорожника большого значительно отличалось, при этом наибольшее содержание металла было характерно для корней.

Известно [14], что под действием свинца нарушается ряд физиологических процессов у растений, например, ионы свинца вызывают деполяризацию мембранного потенциала у coleoptelers кукурузы, причиной которого может служить увеличение проницаемости плазмолеммы. Основным симптомом токсического действия свинца является торможение роста и угнетение биомассы, которое особенно отчетливо проявляется на корнях. Поглощенный растением свинец в основном остается в корнях. Аккумуляция свинца снижается в ряду корень – стебель – листья – плоды. Более вероятным механизмом задержки металла в корнях следует считать его иммобилизацию. Ее формы могут быть различны. Предполагается образование труднорастворимых фосфатов, силикатов и сульфатов, или прочное связывание металла клеточными оболочками [15]. Также важную роль в механизме защиты растений от поступления свинца играет слизь, которой покрыта поверхность корня. Это высокогидрированный слой отрицательно заряженных полисахаридов, участвующих в процессе поступления металлов в корни. Слизистый слой интенсивно связывает свинец [16].

Изучение накопления кадмия показало (табл. 4), что данный металл содержится в листьях и корнях подорожника большого во всех возрастных состояниях.

Т а б л и ц а 4

## Содержание кадмия в онтогенезе подорожника большого, мг/кг сухой массы

Возрастное состояние	ООПТ «Сосновая роща»			Промышленная зона		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
Ювенильные растения (j)	0,09±0,01	0,11±0,01	0,82	0,10±0,00	0,13±0,04	0,77
Имматурные растения (im)	0,11±0,01	0,15±0,03	0,73	0,28±0,07	0,55±0,18	0,51
Виргинильные растения (v)	0,13±0,02	0,24±0,03	0,54	0,43±0,07	0,94±0,15	0,46
Молодые генеративные растения ( $g_1$ )	0,14±0,05	0,21±0,06	0,67	0,55±0,07	1,23±0,48	0,45
Средневозрастные растения ( $g_2$ )	0,15±0,03	0,22±0,02	0,68	0,71±0,04	1,16±0,10	0,61

В растениях, произрастающих в промышленной зоне города, содержание кадмия достоверно выше по сравнению с растениями, произрастающими в ООПТ «Сосновая роща». Как и в случае со свинцом, более высокое содержание кадмия наблюдалось в корнях. Коэффициент передвижения был чуть ниже 1, по мере роста растений наблюдалось его дальнейшее снижение, и у генеративных особей величина Кп находилась в пределах от 0,4 до 0,6.

В процессе онтогенеза растений отмечается картина увеличения содержания кадмия по мере старения особей и наиболее высокие показатели характерны для растений генеративного периода онтогенеза.

Следует отметить, что физиологическая роль кадмия и свинца недостаточно ясна. В литературе они рассматриваются в основном как тяжелые металлы-загрязнители. Полученные нами данные не выходят в целом за пределы ПДК, которые для свинца равны 10–20; для кадмия – 1–6 мг/кг [14].

Содержание меди характеризовалось одновершинной кривой с пиком в виргинильном возрастном состоянии (табл. 5). Такая закономерность наблюдалась как у растений, произрастающих в ООПТ, так и в загрязненных районах города. При этом абсолютное содержание меди было выше в растениях, произрастающих в промышленном районе города. Основная масса меди от 60 до 80 % содержалась в корнях. Превышение ПДК (15–20 мг/кг [17]) меди не наблюдалось.

Т а б л и ц а 5

## Содержание меди и цинка в онтогенезе подорожника большого, мг/кг сухой массы

Возрастное состояние	ООПТ «Сосновая роща»			Промышленная зона		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
медь						
Ювенильные растения (j)	1,39±0,04	2,18±0,05	0,64	3,19±0,00	7,13±0,04	0,45
Имматурные растения (im)	2,11±0,05	3,35±0,03	0,63	5,28±0,07	6,55±0,18	0,81
Виргинильные растения (v)	3,63±0,02	6,24±0,03	0,58	8,48±0,07	11,94±0,15	0,71
Молодые генеративные растения (g <sub>1</sub> )	3,04±0,05	5,21±0,06	0,58	6,55±0,07	10,23±0,48	0,64
Средневозрастные растения (g <sub>2</sub> )	2,15±0,03	4,52±0,12	0,48	5,31±0,04	10,16±0,10	0,52
цинк						
Ювенильные растения (j)	4,59±0,06	6,11±0,05	0,82	4,10±0,03	7,13±0,04	0,77
Имматурные растения (im)	6,11±0,04	7,15±0,03	0,73	6,28±0,07	7,55±0,18	0,51
Виргинильные растения (v)	8,13±0,09	10,24±0,08	0,54	9,43±0,07	11,94±0,10	0,46
Молодые генеративные растения (g <sub>1</sub> )	6,14±0,05	9,21±0,06	0,67	7,55±0,07	10,23±0,12	0,45
Средневозрастные растения (g <sub>2</sub> )	7,15±0,03	8,22±0,02	0,68	8,71±0,04	9,16±0,10	0,61

Для оценки вклада каждого возрастного состояния в процесс накопления тяжелых металлов нами были проведены расчеты суммарного содержания металлов в листьях и корнях, а также в пересчете на каждое онтогенетическое состояние. Так, в ООПТ «Сосновая роща» содержание меди составило в листьях в сумме 12,68 мг, а в среднем на одно онтогенетическое состояние – 2,5 мг/кг; в корнях – в сумме 21,5 мг; в среднем на

одно онтогенетическое состояние – 4,3 мг/кг. В целом в пересчете на одно растение подорожника большого, произрастающего в ООПТ «Сосновая роща», содержание меди равно 3,41 мг/кг.

В промышленной зоне города содержание меди в особях подорожника большого составило в листьях в сумме 28,81 мг, а в среднем на одно онтогенетическое состояние – 5,7 мг/кг; в корнях – в сумме 46,01 мг; в среднем на одно онтогенетическое состояние – 9,2 мг/кг. В целом в пересчете на одно растение подорожника большого содержание меди было равно 7,45 мг/кг.

Следовательно, содержание меди в растениях подорожника большого, произраставшего в промышленном районе города, в 2,2 раза выше, чем у растений ООПТ «Сосновая роща» в среднем на одно онтогенетическое состояние.

Что касается цинка (табл. 5), то его содержание в растениях подорожника большого не характеризовалось высокими значениями. Так, его содержание в листьях и корнях подорожника большого во всех возрастных состояниях как в условно чистой, так и в загрязненной территории города было примерно одинаковым в пределах от 6 до 10 мг/кг. Наблюдается некоторая тенденция увеличения цинка у виргинильных растений, с последующим снижением к генеративному периоду онтогенеза. ПДК для цинка составляет 150–300 мг/кг [16]. Полученные нами результаты показывают, что содержание цинка даже в загрязненном районе города находится в пределах физиологической нормы. Кроме того, не исключена возможность, что подорожник большой является специфическим видом, который адаптировался в процессе своего филогенеза к произрастанию в придорожных территориях и выработал определенные механизмы, препятствующие поступлению в его ткани избыточных количеств тяжелых металлов.

#### **Выводы.**

При изучении растений подорожника большого, произрастающих в условиях загрязнения, установлено, что на начальных этапах онтогенеза не наблюдалось статистически достоверных отличий в высоте растений, по сравнению с растениями, произрастающими в экологически чистой зоне. Однако по мере дальнейшего роста виргинильные растения отставали в росте на 40% по сравнению с контролем. Но в то же время молодые генеративные растения, выросшие в условиях загрязнения, были несколько выше, чем растения чистых мест обитания. В целом к концу наблюдений средневозрастные генеративные растения были ниже растений контрольного варианта (ООПТ «Сосновая роща») на 16 %.

Выявлено наиболее существенное снижение (на 63%) биомассы растений, произрастающих в условиях антропогенного загрязнения. На всем протяжении онтогенеза у растений подорожника большого, произрастающих в условиях загрязнения среды, длина черешка была на 37%, ширина листовой пластинки – на 34%, длина листовой пластинки – на 40% меньше по сравнению с растениями, выросшими в экологически благоприятных условиях. В условиях загрязнений растения подорожника большого быстрее «взростели», т.е. более энергично происходила смена возрастных состояний и наблюдалось более раннее завершение онтогенеза.

Содержание свинца, кадмия, меди и цинка в вегетативных органах подорожника большого существенно выше в экологически неблагоприятном местообитании по сравнению с контрольной зоной (Сосновая роща). Можно предположить, что повышенное содержание металлов в городских растениях связано с большим поступлением их из загрязненных почв. Поскольку верхний горизонт почв загрязнен металлами более всего, то этот источник накопления имеет, по-видимому, большое значение для травянистых растений с поверхностной корневой системой.



В процессе онтогенеза подорожника большого содержание свинца и кадмия увеличивалось как в корнях, так и в листьях по мере роста растений, самое высокое содержание было у средневозрастных генеративных особей подорожника большого, произрастающих в промышленном районе города. Содержание меди и цинка в целом практически не изменялось в процессе онтогенеза подорожника большого, однако относительно высоким было его содержание в растениях виргинильного возрастного состояния.

**Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 07-04-96619 «Эколого-физиологические адаптации растений в условиях городской среды» и НИР по тематическому плану Федерального агентства по образованию «Исследования функциональных особенностей биосистем в изменяющейся среде».**

### Список литературы

1. *Жиров, В. К.* Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере / В. К. Жиров, Е. И. Голубева, А. Ф. Говорова, А. Х. Хаитбаев; (отв. ред. Е. Е. Кислых); Полярно-альп. ботан. сад-ин-т КНЦ РАН. – М.: Наука, 2007. – 166 с.
2. *Жукова, Л. А.* Популяционная жизнь луговых растений / Л. А. Жукова. – Йошкар-Ола: РИИК «Ланар», 1995. – 224 с.
3. *Работнов, Т. А.* Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Тр. БИН АН СССР. – 1950. – Вып. 6. – С. 7–204.
4. *Уранов, А. А.* Жизненное состояние вида в растительном сообществе / А. А. Уранов // Бюл. МО-ИП. Отд. биол. – 1960. Т. 65. Вып. 3. – С. 77–92.
5. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Воронцова Л. Г., Гатцук Л. Е., Егорова В. Н. и др. – М.: Наука, 1976. – 217 с.
6. Ценопопуляции растений: (очерки популяционной биологии) / Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Комарова А. С., Смирнова О. В. – М.: Наука., 1988. – 124 с.
7. *Леопольд, А.* Рост и развитие растений / А. Леопольд. – М.: Из-во «Мир», 1968. – 494 с.
8. *Парибок, Т. А.* Загрязнение растений металлами и его эколого-физиологические последствия / Т. А. Парибок // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 82–100.
9. Экология города Йошкар-Олы: научное издание / Мар. гос. ун-т; отв. ред. О. Л. Воскресенская. – Йошкар-Ола, 2007. – 300 с.
10. Практикум по росту и устойчивости растений: Учеб. пособие / В. В. Полевой, Т. В. Чиркова, Л. А. Лутова и др. / Под ред. В. В. Полевого, Т. В. Чирковой. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. – 212 с.
11. *Чернавина, И. А.* Большой практикум по физиологии растений. Минеральное питание / И. А. Чернавина, Л. Г. Косулина, А. П. Потапова. – М.: Выс. шк., 1978. – 326 с.
12. *Ковалевский, А. Л.* Основные закономерности формирования химического состава растений / А. Л. Ковалевский / Биогеохимия растений. – Улан-Удэ: Бурятское кн. изд-во, 1969. – С. 6–28.
13. *Казнина, Н. М.* Физиологические аспекты устойчивости представителей семейства Роаесееае к тяжелым металлам / Н. М. Казнина, А. Ф. Титов, Г. Ф. Лайдинен и др. // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: Материалы докладов Международной конференции (в трех частях). Часть 2. – Сыктывкар, 2007. – С. 167–168.
14. *Ильин, В. Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 148 с.
15. *Косицин, А. В.* Действие тяжелых металлов на растения и механизмы металлоустойчивости / А. В. Косицин, Н. В. Алексеева-Попова // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 5–22.
16. *Алексеева-Попова, Н. В.* Устойчивость к металлам различных дикорастущих видов / Н. В. Алексеева-Попова – Л.: Из-во АН СССР, 1991. – 214 с.
17. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

Статья поступила в редакцию 21.01.09.

*O. L. Voskresenskaya*

**DYNAMICS OF GROWTH AND ACCUMULATION OF HEAVY METALS  
IN GREATER PLANTAIN ONTOGENY IN ANTHROPOGENIC  
POLLUTION ENVIRONMENT**

*Study results of morphometric data, contents and accumulation of such heavy metals as lead, cadmium, zinc and copper in the ontogeny of greater plantain growing in Yoshkar-Ola with different levels of anthropogenic load are given. The plants growing on the polluted territories are shown to have lower indicators of growth, biomass and higher content of heavy metals which varies in the process of plant ontogeny.*

**Key words:** *greater plantain, age state, lead, cadmium, copper, zinc, biomass.*

---

*ВОСКРЕСЕНСКАЯ Ольга Леонидовна* – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой экологии Марийского государственного университета. Область научных интересов – экологическая физиология растений, популяционная экология, урбоэкология. Автор более 110 публикаций, в том числе трех монографий.