

ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ГОРОДА ИСТРА В НАКОПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

SPECIES FEATURES OF HERBACEOUS PLANTS OF THE CITY OF ISTRA IN THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS

I. El'cheva
V. Zubkova
V. Gorbunova

Summary. The article presents data on the accumulation of heavy metals (TM) by plants *Dáctylis glomeráta*, *phlum pretense*, *Taráxacum officinále* in various functional zones of the city of Istra; the contents of Pb, Cd, Cu, Ni, Zn in aboveground and underground parts of plants are established. It was revealed that the greatest concentration of the studied heavy metals in the above-ground mass occurs in *Taráxacum officinále*; the highest content of Zn, Pb and Ni is characterized by plants of the industrial zone, Cd — residential, Cu — recreational. The distribution of TM in all plants is acropetal.

Keywords: impact pollution, heavy metals, concentration coefficients, accumulation coefficients, acropetal coefficients.

Ельчева Ирина Олеговна

Российский государственный социальный
университет (Москва)
elcheva-irina@mail.ru

Зубкова Валентина Михайловна

Д.б.н., профессор, Российский государственный
социальный университет (Москва)
vmzubkova@yandex.ru

Горбунова Василиса Андреевна

Старший преподаватель, Российский
государственный социальный университет (Москва)
tb.e@bk.ru

Аннотация. В статье приведены данные по аккумуляции тяжелых металлов (ТМ) растениями *Dáctylis glomeráta*, *Phleum pretense*, *Taráxacum officinále* в различных функциональных зонах города Истра; установлены содержания Pb, Cd, Cu, Ni, Zn в надземных и подземных частях растений. Выявлено, что наибольшее концентрирование изучаемых тяжелых металлов в надземной массе происходит в *Taráxacum officinále*; наибольшим содержанием Zn, Pb и Ni характеризуются растения промышленной зоны, Cd — жилой, Cu — рекреационной. Характер распределения ТМ во всех растениях — акропетальный.

Ключевые слова: импактное загрязнение, тяжелые металлы, коэффициенты концентрации, коэффициенты накопления, акропетальные коэффициенты.

В связи с усилением антропогенной нагрузки на окружающую среду важное место занимают исследования, связанные с экологическим состоянием городов и качеством жизни населения.

Города выступают, как концентраторы населения, промышленной продукции, транспортных сетей и узлов, а значит и интенсивного импактного загрязнения. Образующиеся отходы, различные коммунальные и промышленные выбросы и стоки, автомобильные выхлопы формируют техногенные геохимические аномалии в различных средах.

Использование геохимических методов исследования позволяет оценить степень и характер загрязнения городской среды многочисленными поллютантами [1, 4, 6].

Изучение изменений содержания загрязнителей в компонентах окружающей среды и моделирование последствий этих изменений позволяет оценить потенциальный риск для окружающей среды в будущем [5, 7, 13].

Растения как цепь звена, взаимосвязанная с животными или человеком, позволяет оценить непосред-

ственную угрозу для человека и минимизировать её в будущем [3].

Среди широкого спектра исследуемых компонентов урбозкосистем большое внимание отводится изучению состояния травянистых и древесных растений. В исследованиях ряда авторов установлены высокие уровни корреляционных связей между морфологическими и физиологическими параметрами травянистых растений и токсикологическими нагрузками [8, 9].

Травянистые растения способствуют фитостабилизации загрязнений — уменьшению их мобильности в почве за счет адсорбции или осаждения на корнях в виде нерастворимых соединений (фосфатов, карбонатов, гидроксидов и т.д.). Особую роль при этом играют виды, устойчивые к загрязнению, способные образовывать плотный травянистый покров, связывать поллютанты в процессе интенсивного корневого обмена [10].

Способность растений накапливать такие токсиканты как тяжелые металлы реализуется на разных уровнях организации: клеточном, тканевом и органном, что свя-

Таблица 1. Среднее содержание ТМ в надземной части и корнях растений в условиях различной антропогенной нагрузки на почву, мг/кг*

Виды растений	Тяжелые металлы				
	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni
Рекреационная зона					
<i>Dáctylis glomeráta</i>	$\frac{0,015 \pm 0,002}{0,145 \pm 0,015}$	$\frac{18,2 \pm 1,8}{60,4 \pm 6,0}$	$\frac{0,28 \pm 0,03}{1,5 \pm 0,15}$	$\frac{2,0 \pm 0,2}{3,9 \pm 0,4}$	$\frac{1,13 \pm 0,11}{2,65 \pm 0,26}$
<i>Phleum pratense</i>	$\frac{0,011 \pm 0,001}{0,172 \pm 0,017}$	$\frac{17,8 \pm 1,7}{48,4 \pm 4,2}$	$\frac{0,46 \pm 0,05}{4,6 \pm 0,46}$	$\frac{1,8 \pm 0,2}{3,3 \pm 0,3}$	$\frac{0,71 \pm 0,07}{5,62 \pm 0,56}$
<i>Taráxacum officinále</i>	$\frac{0,257 \pm 0,026}{0,166 \pm 0,017}$	$\frac{17,2 \pm 1,6}{27,7 \pm 2,8}$	$\frac{1,33 \pm 0,13}{1,40 \pm 0,14}$	$\frac{9,3 \pm 0,9}{17,4 \pm 1,6}$	$\frac{1,93 \pm 0,19}{2,52 \pm 0,25}$
Селитебная зона					
<i>Dáctylis glomeráta</i>	$\frac{0,057 \pm 0,006}{0,089 \pm 0,009}$	$\frac{22,6 \pm 2,3}{64,0 \pm 6,4}$	$\frac{0,21 \pm 0,02}{2,3 \pm 0,22}$	$\frac{2,7 \pm 0,3}{8,2 \pm 0,8}$	$\frac{1,31 \pm 0,13}{2,29 \pm 0,22}$
<i>Phleum pratense</i>	$\frac{0,017 \pm 0,002}{0,125 \pm 0,013}$	$\frac{21,6 \pm 2,2}{42,0 \pm 4,0}$	$\frac{0,93 \pm 0,09}{7,3 \pm 0,72}$	$\frac{2,4 \pm 0,2}{5,2 \pm 0,5}$	$\frac{0,97 \pm 0,10}{4,7 \pm 0,41}$
<i>Taráxacum officinále</i>	$\frac{0,292 \pm 0,027}{0,311 \pm 0,029}$	$\frac{19,3 \pm 1,8}{27,6 \pm 2,6}$	$\frac{1,51 \pm 0,15}{1,97 \pm 0,18}$	$\frac{8,1 \pm 0,8}{13,6 \pm 1,4}$	$\frac{1,79 \pm 0,18}{1,66 \pm 0,15}$
Промышленная зона					
<i>Dáctylis glomeráta</i>	$\frac{0,046 \pm 0,005}{0,097 \pm 0,009}$	$\frac{29,2 \pm 2,8}{69,3 \pm 6,8}$	$\frac{0,42 \pm 0,04}{5,4 \pm 0,51}$	$\frac{2,2 \pm 0,2}{7,5 \pm 0,7}$	$\frac{1,59 \pm 0,15}{3,57 \pm 0,34}$
<i>Phleum pratense</i>	$\frac{0,030 \pm 0,003}{0,123 \pm 0,013}$	$\frac{22,7 \pm 2,6}{53,0 \pm 5,2}$	$\frac{1,57 \pm 0,13}{14,1 \pm 1,40}$	$\frac{1,9 \pm 0,2}{6,8 \pm 0,6}$	$\frac{1,22 \pm 0,11}{5,91 \pm 0,59}$
<i>Taráxacum officinále</i>	$\frac{0,110 \pm 0,011}{0,286 \pm 0,027}$	$\frac{20,4 \pm 2,3}{29,0 \pm 2,1}$	$\frac{2,20 \pm 0,21}{3,14 \pm 0,33}$	$\frac{8,0 \pm 0,8}{15,8 \pm 1,3}$	$\frac{2,24 \pm 0,22}{2,37 \pm 0,23}$

*В числителе — содержание в надземной части растений, в знаменателе — в корнях.

зано, прежде всего, со способностью растений накапливать металлы в клеточных оболочках и вакуолях клеток разных тканей и органов, а также с существованием барьерных тканей, ограничивающих передвижение ряда тяжелых металлов.

Распределение тяжелых металлов в клетке неравномерно. Значительная часть поступивших ионов металлов задерживается в клеточной стенке клеток корня и листа, что считается одним из наиболее важных механизмов защиты растений от их токсического действия [2, 11].

Целью наших исследований явилось изучение наиболее распространенных на территории города Истра травянистых растений по их способности к накоплению тяжелых металлов.

Исследования проводили в 2017–2018 годах в промышленной, селитебной и рекреационной зонах города. В качестве объектов исследования выбраны наиболее распространенные виды травянистых растений, характерные для городского округа — *Dáctylis glomeráta*, *Phleum pratense*, *Taráxacum officinále*, которые интересны не только сами по себе как возможные накопители ТМ, но и в связи с возможным использованием их для кормовых и лекарственных целей.

Растительные образцы отбирали в период цветения растений и анализировали в Испытательной лаборатории ООО «Центр сертификации и экологического мониторинга агрохимической службы «Московский».

Определение тяжелых металлов проводили атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Varian Spectr AA-240 согласно методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что изучаемые растения существенно отличались по содержанию изучаемых элементов (табл. 1).

Наименьшей накопительной способностью по отношению к Cd, Cu и Ni во всех изучаемых зонах характеризовалась *Phleum pratense*, наибольшей — *Taráxacum officinále*. При этом в отдельных зонах содержание Cd в надземной массе *Taráxacum officinále* в 3,7–23,4; Cu — 3,4–5,2; Ni — 1,4–2,7 раза превышало содержание этих же элементов в надземной массе *Phleum pratense* (табл. 1).

Вместе с тем отмечена тенденция к снижению концентрации в *Taráxacum officinále* Zn, хотя существенных различий в содержании этого элемента в данных видах растений не прослеживается. Наименьшее коли-

Таблица 2. Акропетальные коэффициенты

Виды растений	Тяжелые металлы				
	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni
Рекреационная зона					
<i>Dáctylis glomeráta</i>	9,67	3,32	5,36	1,95	2,35
<i>Phleum pratense</i>	15,64	2,72	4,95	1,83	7,92
<i>Taráxacum officinále</i>	1,51	1,61	1,05	1,87	1,31
Селитебная зона					
<i>Dáctylis glomeráta</i>	1,56	2,83	10,95	3,04	2,73
<i>Phleum pratense</i>	7,35	1,94	7,85	2,17	4,85
<i>Taráxacum officinále</i>	1,11	1,43	1,3	1,68	0,93
Промышленная зона					
<i>Dáctylis glomeráta</i>	2,11	2,37	24,76	3,41	1,44
<i>Phleum pratense</i>	4,1	2,33	24,7	3,58	4,85
<i>Taráxacum officinále</i>	2,6	1,42	8,05	1,98	3,7

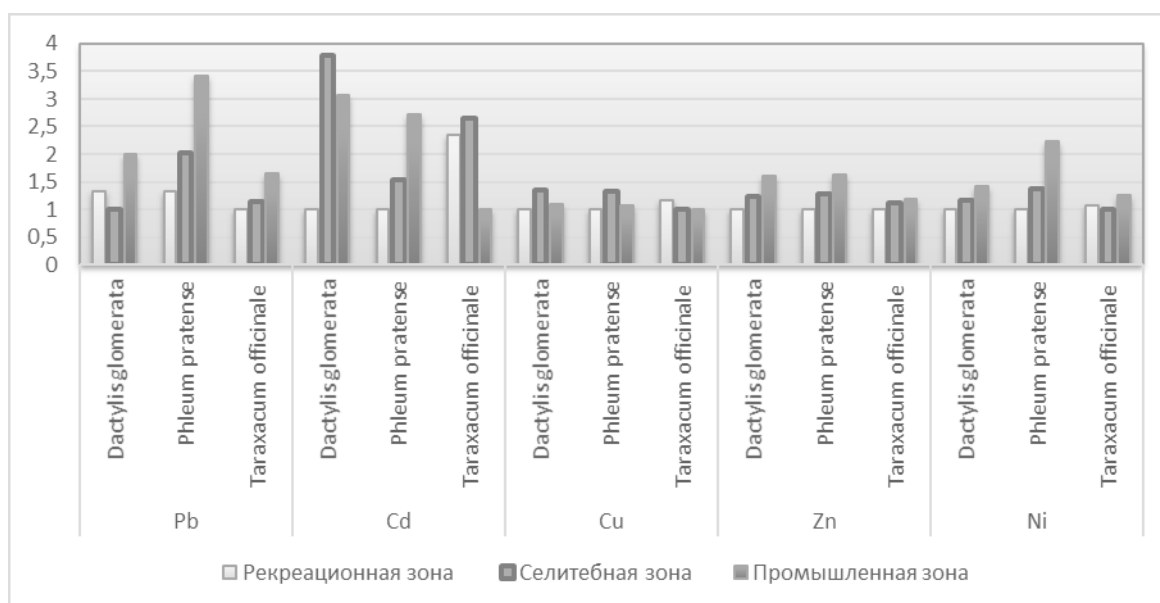


Рис. 1. Коэффициенты концентрации ТМ в надземной части растений различных зон города Истра

чество Pb содержится в *Dáctylis glomeráta*, оно в 1,6–4,4 раза больше, чем в надземной массе *Phleum pratense* и в 4,7–7,2 раза — *Taráxacum officinále*.

Наименьшей накопительной способностью корней по отношению к Cd характеризовалась *Dáctylis glomeráta*, цинку, свинцу и никелю — *Taráxacum officinále*, меди — *Phleum pratense*.

В надземной части растений промышленной зоны характерно наибольшее накопление Pb, Zn, Ni; селитебной — Cd, Cu; в рекреационной зоне различий практически не выявлено (рис. 1). Аналогичная закономерность характерна и в концентрировании тяжелых металлов корнями (рис. 2).

Определение отношений содержаний ТМ в корневой системе к содержаниям его в надземной фитомассе показало, что все растения накапливали микроэлементы по акропетальному типу (табл. 2). Содержание Cd в корнях растений превышало его содержание в надземной массе в 1,1–15,6; Zn — 1,4–3,3; Pb — 1,1–24,8; Cu — 1,7–3,6; Ni — 1,3–7,9 раза. Условная суммарная удерживающая способность корней достигала максимума у растений *Phleum pratense*. Она в 1,14–1,46 раз превышала удерживающую способность корней *Dáctylis glomeráta* и 2,2–6,0 раз — *Taráxacum officinále*.

Коэффициенты биологического накопления, рассчитанные как отношение содержания тяжелых металлов в воздушно-сухой массе растений к общему содержанию

Таблица 3. Коэффициенты биологического поглощения ТМ растениями

Виды растений	КБП ТМ
Рекреационная зона	
Dáctylis glomeráta	$\frac{Zn (0,417) > Cu (0,146) > Ni (0,047) > Pb (0,027) \geq Cd (0,027)}{Zn (1,385) > Cu (0,285) > Cd (0,263) > Ni (0,202) > Pb (0,143)}$
Phleum pratense	$\frac{Zn (0,408) > Cu (0,131) > Ni (0,054) > Pb (0,044) > Cd (0,020)}{Zn (1,110) > Pb (0,438) > Ni (0,429) > Cd (0,313) > Cu (0,241)}$
Taráxacum officinále	$\frac{Zn (0,393) > Cu (0,198) > Ni (0,147) > Cd (0,467) > Pb (0,127)}{Cu (1,270) > Zn (0,635) > Cd (0,302) > Ni (0,192) > Pb (0,133)}$
Селитебная зона	
Dáctylis glomeráta	$\frac{Zn (0,415) > Cd (0,228) > Cu (0,200) > Ni (0,168) > Pb (0,026)}{Zn (1,176) > Cu (0,607) > Cd (0,356) > Ni (0,294) > Pb (0,280)}$
Phleum pratense	$\frac{Zn (0,397) > Cu (0,177) > Pb (0,113) > Ni (0,124) > Cd (0,068)}{Pb (0,890) > Zn (0,772) > Ni (0,603) > Cd (0,500) > Cu (0,385)}$
Taráxacum officinále	$\frac{Cd (1,168) > Cu (0,600) > Zn (0,355) > Ni (0,229) > Pb (0,184)}{Cd (1,244) > Cu (1,007) > Zn (0,507) > Pb (0,240) > Ni (0,213)}$
Промышленная зона	
Dáctylis glomeráta	$\frac{Zn (0,376) > Ni (0,177) > Cu (0,119) > Cd (0,045) > Pb (0,009)}{Zn (0,893) > Cu (0,405) > Ni (0,254) > Pb (0,119) > Cd (0,095)}$
Phleum pratense	$\frac{Zn (0,293) > Cu (0,103) > Ni (0,135) > Cd (0,029) > Pb (0,035)}{Zn (0,683) > Ni (0,656) > Cu (0,368) > Pb (0,312) > Cd (0,121)}$
Taráxacum officinále	$\frac{Cu (0,432) > Zn (0,263) > Ni (0,249) > Cd (0,108) > Pb (0,049)}{Cu (0,854) > Zn (0,374) > Ni (0,263) > Cd (0,280) > Pb (0,069)}$

*В числителе — коэффициенты биологического поглощения в надземной части растений, в знаменателе — в корнях.

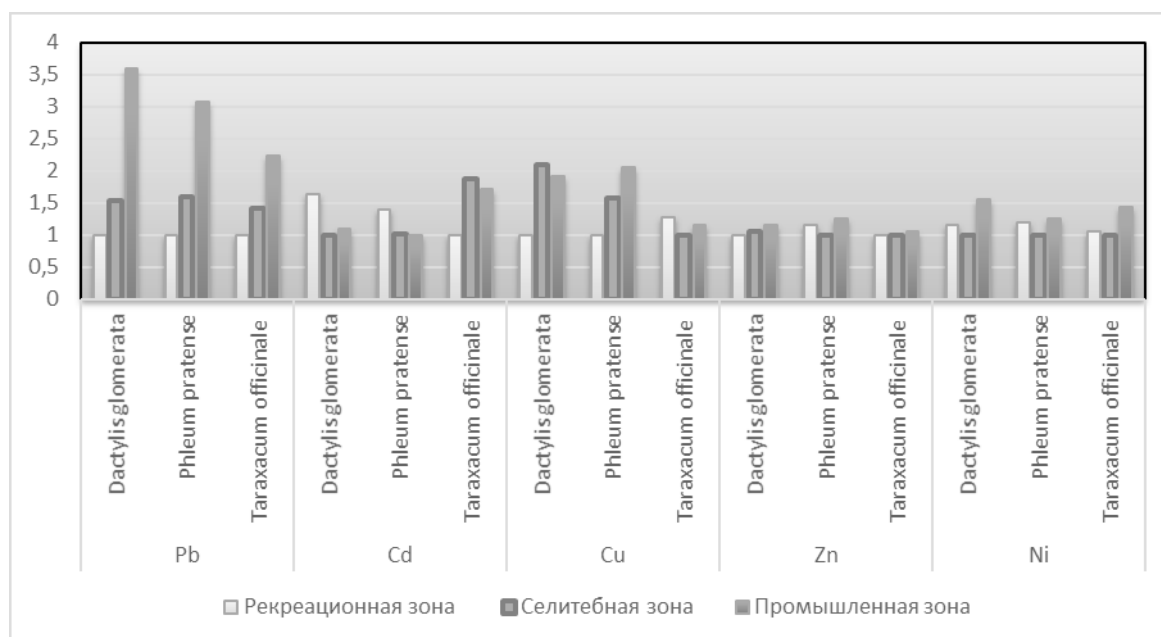


Рис. 2. Коэффициенты концентрации ТМ в корнях растений различных зон города Истра

Таблица 4. Динамика содержания Cu, Zn и Ni в *Taraxacum officinale*

Зоны	Элемент	Июнь		Июль		Август	
		Над. ч	корни	Над. ч	корни	Над.ч	корни
Рекреационная	Cu	9,3±0,9	17,4±1,6	9,6±1,0	19,5±1,7	9,9±1,1	21,8±1,8
	Zn	17,2±1,6	27,7±2,8	17,7±1,7	27,5±2,6	18,4±1,8	27,8±2,7
	Ni	1,93±0,19	2,52±0,25	2,0±0,19	2,67±0,26	2,2±0,20	2,82±0,27
Селитебная	Cu	8,1±0,8	13,6±1,4	9,0±0,9	16,2±1,5	9,9±1,1	20,1±1,7
	Zn	19,3±1,8	27,6±2,6	20,9±1,9	28,7±2,7	22,4±2,0	36,8±2,9
	Ni	1,79±0,18	1,66±0,15	1,83±0,19	1,86±0,16	2,1±0,20	2,26±0,17
Промышленная	Cu	8,0±0,8	15,8±1,3	8,2±0,8	18,2±1,4	8,5±0,9	19,8±1,5
	Zn	20,4±2,3	29,0±2,1	22,0±2,4	29,0±2,1	25,5±2,5	35,4±2,2
	Ni	2,24±0,22	2,37±0,23	2,4±0,23	2,39±0,23	2,5±0,24	2,73±0,24

их в почве указывают на то, что практически по всем элементам наблюдается пассивное поступление элементов из почвы. Наши исследования показали, что интенсивность поглощения элементов для определенного вида растений и их органов варьирует в зависимости от вида элемента и условий среды (табл. 3). По способности проникать в надземную часть растений в рекреационной и промышленной зонах выделяются такие элементы как Zn, Cu, Ni, при этом порядок поглощения их корнями специфичен для каждого растения. Интенсивность биологического поглощения элементов для разных растений также различна. При этом необходимо отметить, что корни *Dáctylis glomeráta*, *Phleum pretense*, *Taraxacum officinale* способны накапливать такие элементы как Zn, Cu, Cd (КБП>1). Накопительной способностью к Cd отличается также надземная часть *Taraxacum officinale*.

Чаще всего коэффициент накопления больше 1 свидетельствует о том, что поступление элементов в растения происходит не только из почвы, но и из атмосферы [12].

Изменение концентрации ТМ в среде корнеобитания растений может существенно повлиять на скорость поступления отдельных элементов и их соотношение

в растениях. Однако исследование нами содержания Cu, Zn, Ni в растениях *Taraxacum officinale* в динамике показало, что содержание всех изучаемых элементов за исключением Zn оставалось примерно на одном уровне, содержание же Zn как в надземной массе, так и в корнях увеличивалось в августе по сравнению с июнем в 1,1–1,3 раза (табл. 4).

Таким образом, установлено, что наибольшим концентрированием изучаемых тяжелых металлов в надземной массе характеризуется *Taraxacum officinale*, при этом наибольшее содержание Zn, Pb, Ni наблюдалось в промышленной, Cd — селитебной, Cu — рекреационной зонах. В корнях аккумуляция происходит иначе: наибольшая концентрация Cd и Cu характерна для *Taraxacum officinale*, Zn — *Dáctylis glomeráta*, Pb, Ni — *Phleum pretense*. Аккумуляция ТМ в корнях была выше, чем в надземной части. По сравнению с почвой корни содержали меньше ТМ: КН < 1. С увеличением содержания ТМ в почве увеличивалось их содержание в корнях, однако при этом количество элементов в побегах мало изменялось, что свидетельствует о барьерной функции корней на пути проникновения избыточных количеств поллютантов в надземную часть.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В. А. Химические элементы в городских почвах [Текст]: [монография] / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. — Москва: Логос, 2014. — 310 с.
2. Безель В. С. Экологическая токсикология: популяционный и биоценотический аспекты / В. С. Безель; Российская академия наук, Уральское отделение, Институт экологии растений и животных. — Екатеринбург: Голицынский, 2006. — 279 с.
3. Ельчева И. О. Влияние антропогенной нагрузки на химический состав *Dactylis glomerata* / И. О. Ельчева, В. М. Зубкова Журнал Современная наука: актуальные проблемы теории и практики
4. Касимов Н. С. Экогеохимия ландшафтов / Н. С. Касимов. М.: ИП Филимонов М. В., 2013. — 208 с.
5. Куролап С. А. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды / С. А. Куролап, Н. П. Мамчик, О. В. Клепиков; Воронежский гос. ун-т, Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской обл. — Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2006 (Тип. ВГУ). — 219 с.
6. Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязненных почв [Текст]: [монография] / [Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, Л. В. Кондакова и др.]; под общ. ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. — Киров: Науч. изд-во Вятского гос. ун-та, 2018. — 254 с.
7. Пукальчик М. А. Экологическая оценка городских почв с применением «Триадного» подхода: на примере г. Кирова: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.02.08 / Пукальчик Мария Алексеевна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова]. — Москва, 2013. — 170 с.
8. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере: [монография] / В. К. Жиров [и др.]; отв. ред. Е. Е. Кислых; Российская академия наук, Кольский науч. центр, Полярно-Альпийский ботанический сад-институт. — Москва: Наука, 2007. — 164 с.
9. Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов [Текст]: материалы международной научной конференции (г. Киров, 16–18 апреля 2019 г.) / [Ответственный редактор: Т. Я. Ашихмина]; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет», Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. — Киров: ВятГУ, 2019. — 308 с.
10. Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде [Текст]. — Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2015. — с.
11. Хентов, В. Я. Процессы комплексообразования природного и техногенного происхождения [Текст]: монография. — Москва: Русайнс, 2017. — 265 с.
12. Экологические аспекты жизнедеятельности человека, животных и растений [Текст]: монография / [Бекузарова С. А., Ханиева И. М., Качмазов Д. Г. и др.]; под ред. Т. А. Нугмановой; Министерство образования и науки РФ, Российская академия естественных наук, Отделение «Физико-химическая биология и инновации», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». — Москва: [б. и.]; Белгород: Белгород, 2017. — 205 с.
13. Яжлев, И. К. Экологическое оздоровление загрязненных производственных и городских территорий [Электронный ресурс] / И. К. Яжлев. — Москва: Изд-во АСВ, 2012. — 279 с.

© Ельчева Ирина Олеговна (elcheva-irina@mail.ru),

Зубкова Валентина Михайловна (vmzubkova@yandex.ru), Горбунова Василиса Андреевна (tb.e@bk.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»