

# ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ *DACTYLIS GLOMERATA*

**Ельчева Ирина Олеговна**

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

**Зубкова Валентина Михайловна**

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

## THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE CHEMICAL COMPOSITION *DACTYLIS GLOMERATA*

**I. Elcheva  
V. Zubkova**

**Summary.** The article presents data on the content and migration of heavy metals (HM) in the soil-plant system on the example of *Dactylis glomerata* in order to establish the degree of ecological balance in the urban district of Istra. It was found that the accumulation of HM in plants is determined primarily by the type of element, its biofilm and occurs by acropetal type. The content of individual elements in plants depending on soil conditions changed in 1,1–48,9 times. Given the bioecological features of *Dactylis glomerata* in the accumulation of TM, low coefficients of their biological absorption, it can be recommended for use in feed production.

**Keywords:** heavy metals, correlation analysis, acropetal coefficient (AK), indicators of biological absorption intensity.

**Аннотация.** В статье приводятся данные по содержанию и миграции тяжелых металлов (ТМ) в системе почва-растение на примере *Dactylis glomerata* в целях установления степени экологического равновесия на территории городского округа Истра. Установлено, что накопление ТМ в растениях определяется, прежде всего, видом элемента, его биофильностью и происходит по акропетальному типу. Содержание отдельных элементов в растениях в зависимости от почвенных условий изменялось в 1,1–4,25 раза. Учитывая биоэкологические особенности *Dactylis glomerata* в накоплении ТМ, низкие коэффициенты их биологического поглощения, можно рекомендовать ее для использования в кормопроизводстве.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, корреляционный анализ, акропетальный коэффициент (АК), интенсивность биологического поглощения.

С началом формирования туристического кластера «Русская Палестина» на территории городского округа Истра в результате увеличения туристического потока с каждым годом повышается рекреационная нагрузка на территорию и увеличивается общий техногенный поток элементов. При усилении антропогенного воздействия на природную среду в биогеоценозах происходят глубокие изменения, приводящие к нарушению экологического равновесия, и в особо серьезных случаях — к полной деградации экосистем.

В качестве метода, при помощи которого можно оценить комплексное антропогенное воздействие как на природные объекты, так и на территории урбо- и агроландшафтов, выступает биоиндикационный метод. В соответствии с ним химический состав биоты изменяется аналогично уровню загрязнения среды и отражает состояние и свойства всех абиотических компонентов ландшафта: подстилающих горных пород, почв, грунтовых и поверхностных вод, атмосферного воздуха, а также климатические особенности территории. Сравнение содержаний поллютантов в растениях фоновых и антропогенно нарушенных местообитаний дает качественную и количественную оценку характера загрязнения [4].

Целью нашего исследования является оценка содержания и миграции ТМ в системе почва-растения на примере *Dactylis glomerata*, произрастающей на территории г. Истра.

*Dactylis glomerata* — вид многолетних травянистых растений рода Ежа (*Dactylis*) семейства Злаки, или Мятликовые (*Poaceae*). Растение является компонентом травостоев лугов почти всех районов, встречается на лесных полянах, в разреженных лесах, антропогенных местообитаниях, часто растет в посевах злаков, широко используется в сельском хозяйстве в качестве многолетнего кормового растения, широко введено в культуру. *Dactylis glomerata* может давать по 2–3 укоса в год, поедается всеми видами скота, но особенно крупным рогатым скотом. *Dactylis glomerata* используется также в официальной медицине в аллергологии. Разновидности *Dactylis glomerata* используются в декоративных целях в парках и на газонах [2].

Поэтому сравнение содержаний поллютантов в фоновых и антропогенно нарушенных местообитаниях, позволяющее дать качественную и количественную оценку характера загрязнения для *Dactylis glomerata* имеет особое практическое значение [4].

Таблица 1. Функциональные зоны города Истра

№ участка	Место отбора проб
<b>Рекреационная зона</b>	
3	Новый Иерусалим (р. Истра)
4	Новый Иерусалим (монастырь)
5	Городской парк «Истра»
<b>Селитебная зона</b>	
2	Детский сад на ул. Панфилова, д.61
6	ул. Ленина, д.89 (Центр)
7	ул. Босова, д.7
<b>Промышленная зона</b>	
1	ул. Панфилова, д.51 (около АО Новатор)
8	КРКА (ул. Песочная)
9	Новоиерусалимский кирпичный завод (ОАО НИКЗ) (пригород)

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в *Dactylis glomerata*, мг/кг

№ участка	Часть растения	Тяжелые металлы				
		Cd	Zn	Pb	Cu	Ni
<b>Рекреационная зона</b>						
3	надземная	0,036±0,014	9,0±1,9	0,35±0,12	2,3±0,5	0,53±0,17
	подземная	0,146±0,051	33,6±7,0	1,8±0,60	4,4±1,0	3,55±0,81
4	надземная	0,015±0,006	18,2±3,8	0,28±0,10	2,0±0,5	1,13±0,30
	подземная	0,145±0,051	30,4±6,4	1,5±0,50	3,9±0,9	2,65±0,65
5	надземная	0,021±0,008	21,8±4,6	0,25±0,09	2,4±0,5	0,55±0,20
	подземная	0,200±0,072	49,4±10,4	7,3±0,51	8,5±1,9	2,83±0,70
<b>Селитебная зона</b>						
2	надземная	0,017±0,007	6,3±2,2	0,89±0,31	2,0±0,5	0,70±0,28
	подземная	0,203±0,071	28,5±6,0	6,3±2,21	8,4±1,9	3,41±0,75
6	надземная	0,030±0,012	30,3±6,4	0,45±0,16	2,3±0,5	1,31±0,32
	подземная	0,266±0,091	108,0±6,2	13,7±4,80	9,5±2,2	7,86±2,80
7	надземная	0,057±0,023	22,6±4,7	0,21±0,07	2,7±0,6	1,31±0,33
	подземная	0,389±0,136	64,0±8,4	2,3±0,83	8,2±1,9	3,57±0,90
<b>Промышленная зона</b>						
1	надземная	0,046±0,018	29,2±6,1	0,42±0,15	2,2±0,5	1,59±0,45
	подземная	0,097±0,039	69,3±2,8	10,4±3,11	7,5±1,7	2,29±0,72
8	надземная	0,019±0,008	26,3±5,5	0,34±0,12	2,8±0,6	0,26±0,10
	подземная	0,146±0,051	121,0±9,0	1,9±0,70	7,6±1,8	4,04±0,90
9	надземная	0,100±0,004	24,0±5,0	0,18±0,06	2,6±0,6	1,31±0,31
	подземная	0,141±0,049	62,8±1,4	4,2±1,51	12,8±2,7	4,03±1,10

Химический состав растений *Dactylis glomerata* характеризуется наличием таких макроэлементов как магний, натрий, железо, особенно необходимо отметить высокое содержание марганца и калия, а также микроэлементов — меди, цинка, кобальта, йода [1, 8]. В состав растения входит большое количество углеводов, биологических экстрактивных веществ, витаминов — В<sub>1</sub> — тиамин, В<sub>2</sub> — рибофлавин, В<sub>3</sub> — пантотеновая кислота, В<sub>4</sub> — холин, В<sub>5</sub> — никотиновая кислота, D — кальциферол, E — токоферол, каротин.

Эколого-геохимические исследования проводили в 2017–2018 гг. в городе Истра Московской области, территория которого была разбита на три функциональные зоны: рекреационную, селитебную и промышленную (табл. 1).

В каждой функциональной зоне отбирали пробы почв и растений. В растениях общее содержание ТМ определяли согласно методике ГОСТ 30692–2000 [3] в Испытательной лаборатории ООО «Центр сертификации

Таблица 3. Акропетальные коэффициенты

Точка отбора	Тяжелые металлы				
	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni
<b>Рекреационная зона</b>					
3	4,05	3,73	5,14	1,91	6,70
4	9,67	1,67	5,36	1,95	2,35
5	9,52	2,27	29,20	3,54	5,15
<b>Селитебная зона</b>					
2	11,94	4,52	7,08	4,20	4,87
6	8,87	3,56	30,44	4,13	6,00
7	6,82	2,83	10,95	3,04	2,73
<b>Промышленная зона</b>					
1	2,11	2,37	24,76	3,41	1,44
8	7,68	4,60	5,59	2,71	15,54
9	1,41	2,62	23,33	4,92	3,08

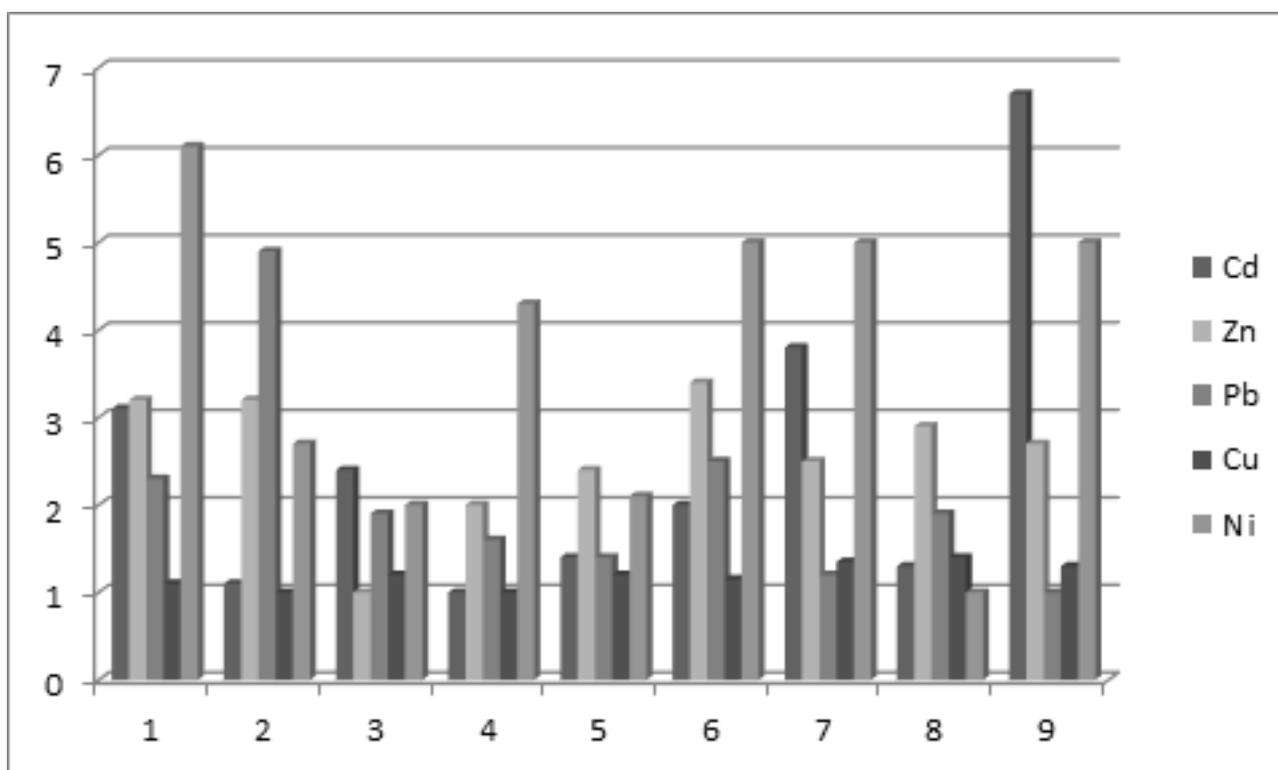


Рис. 1. Коэффициенты превышения минимальных содержаний элементов в надземной фитомассе.

и экологического мониторинга агрохимической службы «Московский» отдельно в надземной и подземной (корни) частях. Методика отбора и исследования почв приведена нами в работе [5]. Для исследования структуры взаимосвязей изучаемых элементов при поступлении их в растения использовали корреляционный анализ.

Результаты исследований показали, что содержание ТМ в *Dactylis glomerata* определяется, прежде всего, ви-

дом элемента и органом растений (табл. 2). В надземной части растений ряд содержания ТМ во всех функциональных зонах выглядит следующим образом:  $Cd < Pb < Ni < Cu < Zn$ ; в подземной части в среднем по зонам отмечено некоторое преобладание свинца по сравнению с никелем.

Существенно большим содержанием ТМ отличались растения, отобранные на ул. Ленина, д. 89 (в центре города).

Таблица 4. Коэффициенты биологического поглощения ТМ растениями *Dáctylis glomeráta*\*

Место отбора	КБП ТМ
<b>Рекреационная зона</b>	
3	Zn (0,214) > Cu (0,209) > Cd (0,069) > Ni (0,047) > Pb (0,029)
	Zn (0,80) > Cu (0,40) > Ni (0,31) > Cd (0,28) > Pb (0,15)
4	Zn (0,417) > Cu (0,146) > Ni (0,086) > Pb (0,026) > Cd (0,027)
	Zn (0,697) > Cu (0,285) > Cd (0,264) > Ni (0,202) > Pb (0,143)
5	Zn (0,484) > Cu (0,198) > Ni (0,092) > Cd (0,084) > Pb (0,012)
	Zn (1,098) > Cd (0,8) > Cu (0,702) > Ni (0,472) > Pb (0,358)
<b>Селитебная зона</b>	
2	Cu (0,095) > Ni (0,073) > Zn (0,052) > Pb (0,047) > Cd (0,031)
	Cu (0,40) > Cd (0,369) > Ni (0,355) > Pb (0,335) > Zn (0,234)
6	Zn (0,312) > Ni (0,081) > Cu (0,069) > Cd (0,035) > Pb (0,018)
	Zn (1,11) > Ni (0,74) > Pb (0,533) > Cd (0,313) > Cu (0,287)
7	Zn (0,415) > Cd (0,228) > Cu (0,20) > Ni (0,168) > Pb (0,026)
	Cd (1,556) > Zn (1,176) > Cu (0,607) > Ni (0,458) > Pb (0,280)
<b>Промышленная зона</b>	
1	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 (0,230) > Cd (0,095)
8	Zn (0,701) > Cu (0,262) > Cd (0,054) > Pb (0,037) > Ni (0,029)
	Zn (3,227) > Cu (0,710) > Ni (0,449) > Cd (0,417) > Pb (0,207)
9	Zn (0,394) > Cd (0,102) > Ni (0,099) > Cu (0,092) > Pb (0,012)
	Zn (1,031) > Cu (0,451) > Ni (0,305) > Pb (0,276) > Cd (0,144)

\*В числителе — надземная масса; в знаменателе — корни.

Для сравнения степени накопления ТМ растениями в зависимости от мест обитания рассчитывали коэффициенты превышения минимального содержания элементов (рис. 1).

В среднем по функциональным зонам более высоким содержанием кадмия, как в надземных, так и в подземных органах выделяется селитебная зона; для остальных изучаемых элементов содержание характеризовалось следующим рядом: промышленная зона > селитебная зона > рекреационная зона.

Для выявления особенностей распределения микроэлементов по органам растений использовали акропетальный коэффициент (АК), определенный как отношение содержания в корневой системе к содержанию его в надземной фитомассе [6, 9]. Поступление микроэлементов в растения *Dáctylis glomeráta* протекает по акропетальному типу (табл. 3).

Содержание Cd, Zn, Pb, Cu, Ni в корнях более чем в 1, 4; 1,7; 5,6; 1,9; 1,4 раза соответственно превышало содержание этих элементов в надземной массе.

Максимальное превышение содержания Cd в корнях по сравнению с надземной массой выявлено на участке

2; Pb — на участке 6; Cu — на участке 9; Zn и Ni — на участке 8.

Универсальными показателями интенсивности биологического поглощения элементов в ландшафтах являются коэффициенты и ряды биологического поглощения. Коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывали как отношение содержания элемента в золе растений к содержанию элемента в горной породе или почве, на которых произрастают данные растения [10] (табл. 4).

Растения *Dáctylis glomeráta* почти во всех функциональных зонах не проявили накопительной способности по отношению ко всем изучаемым элементам. Только на пятом, шестом, восьмом и девятом участках БПК по Zn и на седьмом по Cd превышали 1, что обусловлено, очевидно, повышенной миграцией этого элемента в растения при сложившихся сочетаниях других элементов.

Главным фактором, обеспечивающим нормальный рост, развитие и функционирование растений, является соблюдение правильного баланса химических составляющих в питательной среде и в самом растении. Всем растениям, в зависимости от их жизненного цикла, генотипических особенностей, их биохимического состава

Элемент	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Pb	1				
Cd	-0,46	1			
Cu	-0,58	0,44	1		
Zn	0,39	0,02	0,04	1	
Ni	-0,22	0,59	-0,15	0,23	1

Рис. 2. Корреляционная матрица взаимосвязи между микроэлементами при поступлении их в надземную часть *Dáctylis glomeráta*

Элемент	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni
Pb	1				
Cd	0,04	1			
Cu	0,39	0,18	1		
Zn	0,64	0,27	0,30	1	
Ni	0,62	0,35	0,31	0,94	1

Рис. 3. Корреляционная матрица взаимосвязи между микроэлементами при поступлении их в корни *Dáctylis glomeráta*

и окружающей среды, требуется определенное соотношение питательных элементов. Этот баланс имеет более важное значение, чем фактическая концентрация отдельных элементов в питательном растворе. Элементы, находящиеся в составе питательного раствора, могут вступать между собой в антагонистические и синергические взаимодействия [7].

Антагонизм между элементами возникает в том случае, если их общее участие в химических реакциях приводит к ухудшению действия одного из них. Корреляционный анализ позволил выявить среднюю обратную связь между содержанием для таких пар микроэлементов в надземной части *Dáctylis glomeráta* как Cd — Pb и Cu — Pb, коэффициенты корреляции составляли -0,46, -0,58 (рис. 2).

В отличие от антагонизма синергизм представляет собой комплексное действие элементов (двух или более), при котором достигается усиление их поступления в растения. В наших исследованиях явление синергиз-

ма при поступлении элементов в растения характерны, прежде всего, для корней (рис. 3). Средняя положительная связь характерна для таких пар как Zn — Pb и Ni — Pb, сильная — Ni — Zn.

Таким образом, накопление ТМ в *Dáctylis glomeráta* определяется, прежде всего видом элемента, его биофильностью. В фотосинтезирующих органах растений (надземная масса) накапливается существенно меньше ТМ по сравнению с корнями, что свидетельствует о наличии физиолого-биохимических барьеров при поступлении ТМ в растения. Учитывая биоэкологические особенности в накоплении ТМ нельзя рассматривать растения *Dáctylis glomeráta* в качестве фиторемедианта, но акропетальный характер распределения тяжелых металлов и низкая накопительная способность растений по отношению к ним даже в условиях повышенной антропогенной нагрузки позволяет рекомендовать *Dáctylis glomeráta* для асортимента растений, используемых в кормопроизводстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Битюцкий Н. П. Необходимые микроэлементы растений. — СПб.: Изд-во ДАЕН, 2005. — 256 с.
2. Бухарина И. Л. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях: монография / И. Л. Бухарина, А. А. Двоглазова. — Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. — 184 с.
3. ГОСТ 30692–2000. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 10 с.
4. Грановский, Э. И. Современные методы определения тяжелых металлов и их применение для биологического мониторинга [Текст]: аналит. обзор / Э. И. Грановский, Б. А. Неменко. — Алма-Ата: [б. и.], 1990. — 96 с.

5. Ельчева И. О. Оценка уровня загрязнения почв города Истра: статья //И.О.Ельчева, В. М. Зубкова, А. В. Гапоненко. — Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. — 2018. — № 1. — 128с
6. Золотарева, Б. Н. Распределение и трансформация соединений тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) в экосистемах [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра физ.-мат.наук:03.00.16 / Б. Н. Золотарева. — М., 1994. — 54 с.
7. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. — Новосибирск: Наука, 1991. — 151 с
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
9. Никитина М. В. Эколого-химическая оценка загрязнения тяжелыми металлами основных урбандшафтов г. Архангельска: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. хим. наук: 03.02.08/ М. В. Никитина. — Архангельск, 2011. — 22 с
10. Рылова Н. Г. Трансформация почвенного покрова в условиях промышленного города и ее воздействие на растительность (на примере г. Ижевска): Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. биол. наук: 03.00.16/ Н. Г. Рылова. — Ижевск, 2003. — 20 с.

© Ельчева Ирина Олеговна (elcheva-irina@mail.ru), Зубкова Валентина Михайловна (vmzubkova@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российский государственный социальный университет