

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

ШАЙХУТДИНОВА АНАСТАСИЯ АНАТОЛЬЕВНА,  
НЕМЕРЕШИНА ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена проблеме химического загрязнения природной среды тяжелыми металлами на территориях, прилегающих к стационарным источникам выброса загрязняющих веществ. Проведена оценка качества территорий по коэффициенту транслокации.

**Ключевые слова:** коэффициент транслокации; фитотоксиканты; антиоксиданты.

## ON HEAVY METALS CONTENT EVALUATION IN TISSUES OF PLANTS IN TECHNOGENICAL CONTAMINATED TERRITORIES

SHAYHUTDINOVA A. A.,  
NEMERESHINA O. N.

### ABSTRACT

The article in question considers the problem of environmental chemical pollution on the territories, adjacent to the stationary source of contaminant ejection. The territory quality was assessed by the translocation index.

**Keywords:** translocation index; phytotoxicants; anti-oxidants.

В настоящее время отмечается резкий рост уровня загрязнения природной среды и в первую очередь почв и растений. В число наиболее опасных загрязнителей входят тяжелые металлы. Их миграция и перераспределение в компонентах экосистем зависят от целого комплекса природных факторов, а также от интенсивности и характера техногенеза. Поэтому при оценке результатов экологического мониторинга тяжелых металлов было определено их количественное содержание в надземных органах растений и почве.

В качестве объекта исследования был выбран горец птичий *Polygonum aviculare* L. (семейство *Polygonaceae* Juss.) – однолетнее стелющееся травянистое растение высотой 15 – 50 см, распространенное космополитно в северном полушарии. В Волго-Уральском регионе встречается повсеместно на лугах и пашнях, вдоль дорог и по выгонам, на приречных песках, отмелях, возле жилищ и обычно образует густые куртины и является ценным кормовым растением для домашней птицы и скота [4].

При заражении техногенно нарушенных территорий данный вид обычно выступает в роли пионерной растительности. Тем не менее, адаптационные механизмы этого растения к различным видам техногенных загрязнителей, в том числе и повышенным концентрациям тяжелых металлов в почве, до сих пор не выявлены. В то же время микроэлементный состав надземной части горца птичьего интересен с позиции оценки качества лекарственного растительного сырья, заготовки кормов, а также возможностей использования его для фиторемедиации.

Растения более устойчивы к повышенному, чем

к пониженному содержанию тяжелых металлов в почве, но увеличение их концентрации до критических значений отрицательно влияет на их развитие [5]. При этом, нередко токсичность металлов проявляется в их взаимодействии друг с другом. Большинство токсичных для растений тяжелых металлов аккумулируются в корневой системе, что, по мнению многих исследователей [3, 4, 5], является одним из механизмов адаптации.

Воздействие выбросов промышленных предприятий является важным фактором, определяющим жизнеспособность растений. Поэтому целью исследования является проведение анализа содержания микроэлементов в растительном сырье, собранном на территории крупного промышленного предприятия Южного Урала – Оренбургский газоперерабатывающий завод.

Оренбургский газоперерабатывающий завод (ОГПЗ) ООО Газпром добыча Оренбург, являющийся предприятием первой категории опасности (размер санитарно-защитной зоны составляет 5000 м), был пущен в эксплуатацию в 1974 году и предназначен для очистки и переработки природного газа и нестабилизированных жидких углеводородов, получения сжиженного газа, стабильного конденсата, серы газовой и одоранта. Сырьем для ОГПЗ являются сероводородсодержащий газ Оренбургского (РФ) и Карачаганакского (Республика Казахстан) месторождений; смесь нестабильного конденсата и нефти Оренбургского месторождения; нестабильный газовый конденсат Карачаганакского месторождения.

В составе атмосферных выбросов предприятия содержатся сероводород, диоксид серы, нитрозные газы, оксид углерода, углеводороды метанового

ряда, пыль цеолитовая, пыль металлическая, пыль серная, сажа, бенз(а)пирен, меркаптаны, метанол, угольная зола, пыль катализатора, оксид алюминия, марганец и его соединения, соединения свинца, меди и другие примеси.

Растительное сырье *Polygonum aviculare L.* собиралось в период цветения (конец июня – начало июля) 2014 года по 20 экземпляров с участка. На территории предприятия закладывались три исследуемые точки на границе санитарно-защитной зоны. Определение элементного состава проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии в лабораториях Оренбургского государственного аграрного университета. Элементный анализ растительного сырья, собранного на территории Оренбургского газоперерабатывающего завода, позволил выявить некоторые особенности накопления тяжелых металлов в надземной части горца птичьего.

Максимальное содержание меди отмечается

в сырье горца птичьего, собранного на исследуемых территориях (см. табл. 1). Коэффициенты транслокации в системе почва – растение составляют 68,7 / 35,2. Таким образом, медь во всех исследуемых образцах демонстрирует явление биоконцентрации, что обусловлено особенностями метаболизма горца птичьего. Известно, что медь входит в состав полифенолоксидазы – активатора в биогенезе фенольных соединений [2, 5]. Недостаток меди отрицательно отражается на продуцировании фенольных соединений, а также пигментов, антоцианов, некоторых витаминов, ауксинов, белков. Сапонинсодержащие и алкалоидоносные растения также отличаются повышенным содержанием меди [5]. Медьсодержащие синего цвета белки – пластоцианины – принимают участие в процессе фотосинтеза, являясь естественными антиоксидантами. Темно-зеленый фермент окисления жирных кислот в растениях – дегидратаза бутирил-КоА и аскорбатоксидаза – содержат в активном центре ионы меди.

Таблица 1.

Содержание тяжелых металлов в надземной части горца птичьего (мг/кг)

Точка сбора сырья	Объект	Cu	Mo	Co	Zn	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
ОГПЗ	растение	68,7	3,49	1,11	34,07	4,23	59,05	3,99	0,11	0,09
	почва	35,2	1,2	5,9	70,2	65,7	678,6	65,7	13,7	1,54
Фоновая территория	растение	37,7	1,28	1,01	22,25	1,05	8,10	0,99	0,04	0,02
	почва	8,8	0,62	0,38	13	3,9	109	6,81	4,1	0,78

Исследования показали, что исследуемый вид растения является концентратором молибдена (коэффициенты транслокации в зоне ОГПЗ – 3,49 / 1,2, в контроле 1,28 / 0,62). Увеличение содержания молибдена в растениях тесно зависит от его концентрации в почвах. Однако наблюдается неодинаковое распределение элемента по видам растений из-за различий в метаболизме, а также в значительной мере зависит от аэротехногенного загрязнения [5]. Молибден является активатором флавопротеиновых ферментов, участвующих в большинстве биохимических процессов: влияет на синтез углеводов, хлорофилла, аскорбиновой кислоты, аминокислот; предположительно принимает участие в фотосинтезе, биогенезе кумариновых гликозидов и карденолидов [6].

Проведенный анализ показал, что горец птичий, собранный на экологически благополучных территориях, отличается высокими коэффициентами транслокации в отношении кобальта (коэффициенты транслокации составляют 1,01 / 0,38). В техногенных зонах коэффициенты транслокации составляют 1,11 / 5,9. Содержание кобальта в надземной части горца птичьего экологически чистых и техногенных зон отличается незначительно, что полностью согласуется с литературными данными о способности большинства растений накапливать большие количества данного элемента и при этом вырабатывать механизм устойчивости к загрязне-

нию почв этим металлом [1, 5]. Кобальт в растениях активирует ферменты симбиотической фиксации азота, следовательно, активно участвует в биосинтезе аминокислот, процессах фосфорилирования и биосинтезе алкалоидов. Кобальт входит в состав органического комплекса витамина B<sub>12</sub> и ряд других соединений, способных связываться с кислородом. Поскольку кобальт накапливается в генеративных органах, имеются предположения о стимулировании им процесса оплодотворения [5].

В результате проведенных исследований установлено, что физиологический барьер при усвоении цинка из почв у горца птичьего несколько ниже, чем для более фитотоксичных элементов (коэффициенты транслокации на территории ОГПЗ составляют 34,07 / 70,2). В экологически благополучных экотопах отмечается биоконцентрация этого микроэлемента в надземной части растений, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты транслокации – 22,25 / 13. Цинк принимает активное участие в физиологических процессах растений, так как входит в состав активного центра целого ряда ферментов, в том числе и участвующих в биосинтезе полифенольных соединений. По некоторым данным, цинк повышает устойчивость растений к засухе и гипертермии [5]. Критическая концентрация цинка в растениях составляет 300 мг/кг. Подвижность и биодоступность цинка повышается в кислых легких почвах.

Коэффициенты транслокации для хрома в горце птичьим, произрастающем на техногенных участках, составили 5,08/44,05 для ОГПЗ, что указывает на существование физиологического барьера, препятствующего избыточному накоплению хрома в надземной части исследуемого растения. Несмотря на то, что соединения хрома являются постоянными компонентами почв и живых организмов, его физиологическая роль в растениях изучена недостаточно [4, 5]. Участие хрома в фотосинтезе позволяет предположить его влияние на продуцирование биологически активных веществ [5].

Коэффициенты транслокации марганца в надземной массе горца птичьего на территории ОГПЗ составляют 59,05/678,6. В контрольной зоне – 8,1/109. Величины коэффициентов транслокации указывают на существование физиологического барьера препятствующего накоплению марганца в ассимилирующих и генеративных органах *Polygonum aviculare L.* до фитотоксичных концентраций. Он входит в состав многих металлофлавопротеидов, принимающих участие в окислительно-восстановительных процессах в клетках растений [4, 5]. Данный элемент активирует ферменты, участвующие в синтезе моносахаров, производных циклопентанопергидрофенантрена, дубильных веществ, алкалоидов, витамина В<sub>2</sub>. Количественное содержание танидов коррелирует с накоплением марганца в растениях. Его фитотоксичность увеличивается в кислой среде и он, по-видимому, является антагонистом меди.

Определение коэффициентов транслокации никеля в горце птичьим техногенных и фоновых участков также указывает на существование физиологического барьера. Коэффициенты транслокации техногенных участков составляют 3,99 / 65,7; на фоновой территории – 0,99 / 6,81. Никель оказывает неспецифическое действие на целый ряд металлоферментных комплексов, участвуя во многих биохимических реакциях, в том числе и в синтезе биологически активных соединений. Никель активирует аргиназу, оксалоацетатдекарбоксилазу, участвует в реакциях трансминирования, ускоряет окисление сульфгидридных групп в дисульфидные, в определенных условиях ингибирует фосфатазу.

Основными фитотоксикантами среди анализируемых тяжелых металлов считаются свинец и кадмий [2, 4]. Оба указанных элемента не относятся к разряду биогенных, но отличаются повышенной токсичностью и быстрыми темпами накопления в окружающей среде. Свинец для растений менее токсичен, чем для человека и животных. Его соединения малорастворимы, что до некоторой степени должно ограничивать его биодоступность. Для исследуемого вида растения характерны выраженные коэффициенты транслокации свинца в системе почва – растение составляют 0,11/13,7, что свидетельствует о наличии физиологического барьера препятствующего проникновению этого элемента к ассимилирующим и генеративным органам растения.

Опасным для жизнедеятельности растений фитотоксикантом принято считать кадмий, который способен, вторгаясь в процессы метаболизма, нарушать работу ферментных систем [4]. Кадмий не входит в число необходимых для жизнедеятельности растения элементов, однако, легче, чем свинец поглощается корневой системой и листьями, что подтверждается более высокими коэффициентами транслокации на территории ОГПЗ – 0,09/1,54, на фоновой территории – 0,02/0,78.

Таким образом, характер накопления тяжелых металлов в надземной части растений горца птичьего показывает неодинаковый уровень физиологического барьера для эссенциальных и токсичных микроэлементов, хотя подобное деление является во многом условным. Результаты исследования надземной части горца птичьего техногенных зон позволили распределить коэффициенты транслокации 9-ти исследуемых элементов в ряд по убыванию (среднее значение):

Mo > Cu > Zn > Co > Mn > Cr > Ni > Cd > Pb.

На фоновой территории коэффициенты транслокации располагаются в ряд по убыванию следующим образом:

Mo > Cu > Co > Zn > Cr > Mn > Ni > Pb > Cd.

Для большинства высокотоксичных элементов характерен более выраженный физиологический барьер, препятствующий их поступлению к ассимилирующим и генеративным органам растений.

На основании результатов исследования, можно с уверенностью утверждать, что горец птичий способен регулировать поток загрязняющих веществ, что позволяет ему с одной стороны активно противостоять избыточному поступлению тяжелых металлов и с другой стороны – избирательно накапливать эссенциальные микроэлементы, необходимые для работы ферментов.

#### Список литературы

1. Гусев Н. Ф. Лекарственные растения Оренбуржья (ресурсы, выращивание и использование). – Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2007.
2. Ильин В. Б. Элементарный химический состав растений. – Новосибирск: Наука, 1985.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях : пер. с англ. – М. : Мир, 1989.
4. Немерешина О. Н., Шайхутдинова А. А. Оценка содержания тяжелых металлов в тканях *Polygonum aviculare L.* на техногенно загрязненных территориях // Экология и промышленность России. – 2012. – № 9. – С. 46 – 49.
5. Ноздрюхина Л. Р. Нарушение микроэlementного обмена и пути его коррекции. – М. : Наука, 1980.
6. Симонов И. Н., Полудений Л. В. Влияние молибдена на некоторые физиологические процессы в листьях и почках облепихи // Селекция и семеноводство овощных, плодовых и декоративных культур. – М., 1992. – С. 96 – 98.