

## Распределение тяжёлых металлов в депонирующих средах в зоне влияния теплоэлектростанций

А.А. Шайхутдинова, к.т.н., Е.В. Гривко, к.п.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ, О.Н. Немершина, к.б.н., ФГБОУ ВО Ор ГМУ

Важной проблемой экологической науки на данном этапе развития общества является исследование влияния отходов химических производств на природные и созданные человеком экосистемы [1]. В процессе биогеохимического круговорота веществ важную роль играют высшие растения. Поэтому современный этап экологических исследований характеризуется формированием знаний о закономерностях распределения элементов в различных средах, и в первую очередь транслокации поллютантов, в растения [2].

Растения в процессе жизнедеятельности накапливают набор микроэлементов – Zn, Cu, Mn, Pb, Co, V, Ni, Sn, As, Cd и др. [3]. Многие из перечисленных элементов обладают биогенностью и играют важную роль в метаболизме растений, выступая в роли кофакторов и активаторов ферментов (Zn, Cu, Mn, Ni, Co). Элементный состав растений является лабильной величиной, на которую влияет большое количество одновременно действующих факторов [4]. Основными факторами, определяющими содержание элементов в растениях, являются:

- 1) содержание элемента в почве и воде;
- 2) относительное количество биодоступной формы в почве;
- 3) вид растения, фаза развития и распределение элемента по органам;
- 4) эволюция растений в данных геохимических условиях и адаптация к ним [5].

Поэтому для разработки теоретических основ управления качеством окружающей среды, экологического нормирования и экологической безопасности территорий необходимо проведение системных исследований с целью определения закономерностей миграции элементов в среде и особенностей транслокации в ткани растений.

Одним из источников загрязнения Кумертауского района Республики Башкортостан является Кумертауская ТЭЦ, которая наряду с освоением сжигания природного и попутного газа, продуктов переработки нефти сохранила технологию сжигания бурых углей и предназначена для тепло- и электроснабжения предприятий и жилищно-коммунального сектора г. Кумертау. ТЭЦ расположена в районе Южно-Уральского буругольного бассейна на северо-восточной окраине г. Кумертау Республики Башкортостан. ТЭЦ выбрасывает в атмосферный воздух 38 наименований загрязняющих веществ, из них приоритетной примесью по массе выброса является зола бурого угля, на её долю приходится 64,5%, на втором месте – сер-

нистый ангидрид (30,63%), на третьем – диоксид азота (2,61%).

Согласно проведённым расчётам Кумертауская ТЭЦ относится к первой категории опасности предприятия, и в соответствии с установленной классификацией санитарно-защитная зона должна составлять 1000 м. Но согласно списку П – 4.2 СанПиН 2.2.1/2.1.1 1200-03 категория опасности предприятия принимается равной 2 с размером санитарно-защитной зоны в 500 м.

Исследования летучей золы бурого угля Кумертауской ТЭЦ показали, что в её составе присутствуют тяжёлые металлы: цинк, свинец, медь, хром, кобальт, никель, марганец.

Основным отходом на предприятии является зола бурого угля, которая по системе жидкого шлакоудаления направляется на отвалы, которые выступают дополнительным источником загрязнения атмосферы города. Золоотвалы Кумертауской ТЭЦ расположены в северо-западном направлении на расстоянии 1700 м и представляют собой земляную ёмкость без гидроизоляции днищ и стенок. Золоотвалы находятся в стадии естественного зарастания и занимают площадь в 22,2 га. Одним из главных пионерных видов на золоотвалах ТЭЦ выступает *Polygonum aviculare* L. – горец птичий.

**Материал и методы исследования.** Горец птичий (спорыш) *Polygonum aviculare* L. (сем. *Polygonaceae* Juss.) – однолетнее стелющееся травянистое растение высотой 15–35 см, анемохор с развитой корневой системой, распространившейся космополитно в северном полушарии. В Волго-Уральском регионе встречается повсеместно на лугах, вдоль дорог, на отмелях, возле жилищ, часто образует густые куртины, является ценным лекарственным и кормовым растением [6]. При зарастании нарушенных территорий спорыш обычно выступает в роли пионерной растительности. Тем не менее механизмы адаптации спорыша к воздействию техногенных загрязнителей (в том числе тяжёлых металлов) до сих пор не выявлены. Оценка содержания микроэлементов в надземной части спорыша актуальна с позиции оценки качества лекарственного растительного сырья, кормов, а также прогнозирования возможностей фиторемедиации.

В связи с вышеизложенным целью данной работы является выявление роли различных факторов в формировании элементного состава растений горца птичьего, произрастающего на золоотвалах Кумертауской ТЭЦ. Были применены методы полевых и лабораторных исследований с использованием единых методических подходов. В основу положены результаты проведённого систематического изучения содержания цинка,

свинца, марганца и меди в надземных органах горца птичьего, а также результаты лабораторного определения концентрации указанных элементов в золе бурого угля, почве исследуемых участков золоотвала, дождевой и талой воде.

На содержание указанных элементов проанализированы образцы почвы, дождевой воды, талой воды и надземные органы горца птичьего, собранные на границе санитарно-защитной зоны размером 500 м в северном, западном, южном и восточном направлениях.

Известно, что в условиях многолетнего техногенного воздействия в почве происходит накопление тяжёлых металлов, достигающих местами опасных для живых организмов концентраций. При интенсивном воздействии на клетки растений тяжёлых металлов и других радикализирующих факторов происходит гиперпродукция активных форм кислорода и развитие окислительного стресса, поэтому тяжёлые металлы входят в число наиболее опасных загрязнителей [7].

Растительное сырьё *Polygonum aviculare* L. собирали в период цветения (конец июня – начало июля) 2014 г. по 20 экз. с участка. Содержание исследованных металлов анализировали методом атомно-абсорбционной спектрометрии (табл. 1).

**Результаты исследования.** В результате проведённого исследования выявлено, что растения горца птичьего накапливают ионы меди в количествах, значительно превышающих их содержание в иных средах. Для остальных исследуемых элементов (Zn, Pb, Mn) обнаружен физиологический барьер, препятствующий их повышенному поступлению в фотосинтезирующие и генеративные органы растений (табл. 1).

Проведённые расчёты обнаруживают средний уровень корреляции между содержанием цинка

в дождевой и талой воде и в растениях (табл. 2). Слабый уровень корреляции был отмечен нами между содержанием цинка в почве и в растениях (траве) горца птичьего. Данная зависимость указывает на повышенную транслокацию цинка в растения из талой и дождевой воды по сравнению с транслокацией из почвы, в которой лишь часть микроэлементов является биодоступной.

Установлено, что для исследуемых элементов содержание их в тканях надземных органов растений в большей степени коррелирует с содержанием в талой воде, в меньшей степени – с содержанием в дождевой воде и ещё ниже – в почве. Возможно, указанное объясняется интенсивным метаболизмом растений в весенний период, а также биодоступностью и высоким содержанием подвижных форм элементов в талой и дождевой воде. Невысокая корреляция между содержанием в дождевой воде и в тканях растений характерна лишь для свинца.

Следует отметить, что зафиксирован высокий уровень корреляции между содержанием цинка в талой воде и почве и средний для остальных исследуемых элементов (табл. 2).

Отмеченные закономерности, на наш взгляд, объясняются биохимической ролью металлов в растениях и способами их поглощения и переноса. Так, известно, что цинк является эссенциальным элементом для живых организмов и входит в состав активных центров целого ряда ферментов (в том числе и ферментов синтеза полифенольных антиоксидантов). Наряду со многими микроэлементами цинк играет важную роль в белковом, углеводном и фосфорном обмене, в биосинтезе витаминов и ростовых веществ (ауксинов) [3]. При дефиците цинка в растениях задерживается образование сахарозы, крахмала и ауксинов, нарушается образование белков, вследствие чего в них

1. Содержание элементов в депонирующих средах в зоне влияния Кумертауской ТЭЦ

Элемент	Место сбора	рН	Содержание элементов, мг/кг			
			талая вода	дождевая вода	почва	трава горца птичьего
Zn	север	6,7	0,28	0,02	50,02	18,51
	запад	6,7	0,21	0,031	42,2	17,53
	юг	6,7	0,2	0,026	17,99	17,56
	восток	6,8	0,22	0,015	44,22	15,85
	фон	7,1	0,2	0,019	12,8	16,6
Pb	север	6,7	0,003	0,0005	25	0,63
	запад	6,7	0,002	0,001	36,11	0,67
	юг	6,7	0,002	0,0004	8,33	0,56
	восток	6,8	0,002	0,0008	13,89	0,47
	фон	7,1	0,001	0,0005	11,8	0,05
Cu	север	6,7	0,412	0,0011	21,43	61,3
	запад	6,7	0,384	0,0018	19,64	42,7
	юг	6,7	0,31	0,0022	17,5	51,6
	восток	6,8	0,398	0,0007	20,5	41,2
	фон	7,1	0,268	0,0015	20,3	41
Mn	север	6,7	0,004	0,002	381,58	44,5
	запад	6,7	0,003	0,005	139,47	23,3
	юг	6,7	0,004	0,002	184,21	26,6
	восток	6,8	0,005	0,0091	432,5	66,8
	фон	7,1	0,003	0,0032	410,5	19,5

## 2. Корреляция содержания элементов в депонирующих средах в зоне влияния Кумертауской ТЭЦ

Корреляция / элемент	Цинк	Свинец	Медь	Марганец
Талая вода / почва	0,723164	0,409098	0,486263	0,419004
Почва / растения	0,246606	0,565049	0,1181	0,563957
Дождевая вода / растения	0,50839	0,345875	0,046481	0,682082
Талая вода / растения	0,587664	0,820375	0,344079	0,91505

накапливаются небелковые соединения азота и нарушается фотосинтез [7]. Хронический недостаток цинка приводит к повышению чувствительности клеток к окислительному стрессу. Антиоксидантное действие цинка связано со снижением образования гидроксильного радикала из перекиси водорода за счёт антагонизма с редокс-активными металлами (Cu, Fe) и тем самым предотвращения образования свободных радикалов и сульфгидридной стабилизации. Поэтому обеспеченность растений цинком определяет их устойчивость к засухе, гипер- и гипотермии [3]. Рядом исследователей установлено, что для Zn при концентрациях его в почве 250 мг/кг характерен метаболический перенос, он поглощается против градиента концентрации, так как в процессе эволюции у растений имеются определённые защитные механизмы для снижения поступления избыточных количеств этого элемента в генеративные органы [7], что подтверждается незначительным коэффициентом корреляции между содержанием цинка в почве и растениях (табл. 2).

Свинец не относится к биогенным элементам и характеризуется высокой токсичностью и темпами накопления в окружающей среде. Способность повышенных концентраций свинца ослаблять антиоксидантную защиту и провоцировать последующее развитие окислительного стресса является общепризнанной. Для растений свинец менее токсичен, чем для человека и животных, так как его соединения малорастворимы, что снижает его биодоступность [4]. Обнаруженные нами закономерности распределения свинца между растениями и средой во многом объясняются его пассивным переносом при увеличении концентрации, а также наличием физиологического барьера для указанного элемента между средой и генеративными органами растений (табл. 1). Выраженная корреляция обнаружена между содержанием свинца в тканях растений, почве и талой воде.

В исследуемых образцах растений отмечена биоконцентрация меди, что объясняется биогенностью данного элемента (табл. 1). Медь входит в состав активного центра полифенолоксидаз — ключевых ферментов в биогенезе фенольных соединений, пигментов, некоторых витаминов, ауксинов, белков, сапонинов и алкалоидов [8]. Дегидратаза бутирил-КоА и аскорбатоксидаза также содержат в активных центрах ионы меди. Медьсодержащие белки пластоцианины участвуют в фотосинтезе [6]. Для указанного элемента была характерна слабая

корреляция его содержания в растениях, почве, талой и дождевой воде (табл. 2).

Марганец как микроэлемент входит в состав многих металлофлавопротеидов, принимающих участие в окислительно-восстановительных процессах в клетках растений [8], активирует ферменты, участвующие в синтезе моносахаров, стероидов, дубильных веществ, алкалоидов, рибофлавина. Установлено участие марганца в процессе фотосинтеза, гликолиза, цикла трикарбоновых кислот. Для марганца отмечен выраженный физиологический барьер, препятствующий повышенному накоплению его в тканях растений горца птичьего (табл. 1). А также характерны выраженные величины корреляции между его содержанием в растениях горца, в воде и почве (табл. 2).

**Вывод.** Проведённый анализ позволил установить содержание цинка, свинца, марганца и меди в почве, образцах растений и образцах талой и дождевой воды в зоне техногенного влияния Кумертауской ТЭЦ. Выявлены основные закономерности накопления и распределения химических элементов в дождевой и талой воде, почве и образцах растений горца птичьего. Установлена тесная связь между накоплением растительными организмами цинка, свинца, меди и марганца и содержанием этих элементов в талой воде, дождевой воде и почве. Полученные данные согласуются с утверждением Перельмана о том, что растительно-водный коэффициент превышает растительно-почвенный [9].

### Литература

1. Grime J.P., Hodson J.G., Hunt R. Comparative plant ecology: a functional approach to common British species. London, 1988. 742 p.
2. Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Немерешина О.Н. Лекарственные растения Оренбуржья (ресурсы, выращивание и использование). Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2007. 332 с.
3. Ильин В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва — растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
4. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
5. Зайцева В.Н., Гусев В.Ф., Немерешина О.Н. К вопросу содержания микроэлементов в наземных органах *Fragaria viridis* (Duch.) Weston Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 4 (28). С. 240–241.
6. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Шайхутдинова А.А. Некоторые аспекты адаптации *Polygonum aviculare* L. к загрязнению почвы тяжёлыми металлами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1 (33). С. 230–232.
7. Минкина Т.М., Бурачевская М.В., Чаплыгин В.А. Накопление тяжёлых металлов в системе почва — растение в условиях загрязнения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. Т. 4. С. 9–12.
8. Ноздрихина Л.Р., Гринкевич Н.И. Нарушения микроэлементного обмена и пути его коррекции. М.: Наука, 1980. 280 с.
9. Перельман А.А., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 610 с.