

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ И ЖИВОТНЫМИ НОВОТРОИЦКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

М.А.Самбурова¹, Б.А.Сафонов²

¹ ООО «БИОС», г. Москва, Россия

² Институт геохимии и аналитической химии им В.И. Вернадского РАН, г. Москва, Россия

На территории захоронения хвостов обогащения золото-мышьяковистых руд, расположенном в г. Пласт Челябинской области для эколого-геохимической оценки накопления тяжелых металлов взяты пробы грунта, корней и побегов растений, шерсти и тканей животных. Полученные с помощью масс-спектрометрии результаты говорят о завышенном в 1,4-20,4 раз содержании тяжелых металлов в почве, что становится источником их поступления в живые организмы. Нами была установлена аккумуляция меди, ртути, свинца, никеля и цинка в растениях и тканях животных.

Ключевые слова: растения; животные; тяжелые металлы; хвостохранилище.

В комплексной эколого-геохимической оценке состояния испытывающих техногенное давление биогеоценозов важной составляющей является диагностика аккумуляции токсичных элементов организмами растений и животных. В условиях интенсивного техногенеза территории, на которых идет активное развитие промышленности и транспортного сообщения, подвержены избыточному поступлению тяжелых металлов.

Связанный с выбросами тяжелых металлов дисбаланс химических элементов в таксонах окружающей среды становится ведущей причиной формирования полиметаллических биогеохимических провинций [6]. Из-за выхода уровня химических элементов за пороговые значения, требуемые для реализации физиологических функций живых организмов, в экстремальных условиях среды наблюдаются биологические реакции живых систем, выражающиеся в развитии специфических заболеваний – микроэлементозов. Наиболее заметные реакции часто отмечаются на отвалах предприятий рудной промышленности, как правило, небольших по площади временных биогеохимических провинций с экстремальными условиями [5].

Тяжелые металлы и радионуклиды относятся к ведущим категориям ксенобиотиков, проявляющих токсические эффекты в живых организмах. Процессы миграции тяжелых металлов в биоценозе выступают фактором, определяющим его развитие и устойчивость, поскольку от уровня присутствия в среде поллютантов и их взаимодействий зависит состояние всех компонентов биоценоза. Тяжелые металлы не имеют специфичных переносчиков и используют транспортные системы, существующие в организмах для переноса металлов и микроэлементов, принимающих участие в биологических процессах в норме. Они замещают эссенциальные элементы в биомолекулах, нарушая их функции, например, приводят к дезактивации ферментов. Тяжелые металлы становятся причиной повреждения внутриклеточных белков и активации перекисного окисления липидов [1, 10].

В ходе эволюции живыми организмами были выработаны системы, защищающие от стрессовых факторов загрязненной окружающей среды. Некоторые виды растений обладают устойчивостью к воздействию тяжелых металлов и могут произрастать в неблагоприятных условиях. Изучение распределения тяжелых металлов в растениях показывает способность устойчивых видов при накоплении поллютантов задерживать их большую часть в корнях, предот-

вращая миграцию в листья. Это становится возможным благодаря большому количеству разнообразных биоллигандов, хелатирующих избыточные количества тяжелых металлов: полисахаридов, флавоноидов, танинов и т.д. [2].

В районах техногенного загрязнения экосистем соединениями тяжелых металлов у животных отмечаются морфофункциональные изменения, происходящие вследствие метаболических нарушений. Развивается полиорганный патологический процесс, проявляющийся дистрофиями, дисциркуляторными и некротическими изменениями в печени, почках, плаценте, эндокринных органах и органах иммунной системы. В зонах развитой металлургической промышленности сохранение популяции зависит от успешности адаптационных процессов к аномальным уровням токсичных элементов [4]. Живые организмы, не способные поддерживать гомеостаз в измененных условиях окружающей среды, будут гибнуть из-за техногенного загрязнения. Принимая во внимание отрицательное влияние тяжелых металлов на биосферу, необходимо ведение постоянного мониторинга их содержания в техногенных биогеохимических провинциях.

Целью нашей работы было дать эколого-геохимическую оценку территории хвостохранилища Новотроицкого горно-обогатительного комбината.

Материалы и методика

Эколого-геохимическая оценка Новотроицкого хвостохранилища, содержащего лежалые хвосты обогащения золото-мышьяковистых руд, расположенного в г. Пласт Челябинской области, включала измерения уровней тяжелых металлов: меди (Cu), ртути (Hg), свинца (Pb), никеля (Ni) и цинка (Zn). Исследовались образцы техноземов и грунта, полученные путем бурения 4 скважин глубиной до 18 м, пробы забирались с интервалом в 1-2 м и далее усреднялись. В радиусе 2 м от скважин собирали образцы различных видов растений, отдельно исследовали корни и побеги. В качестве животного-индикатора использовали европейского крота *Talpa europaea* (4 особи), для исследования брали шерсть животного и ткани мышц, печени и почек. Работа с животными проводилась гуманными методами в соответствии с директивой Европейского сообщества (86/609/ЕЕС) и Хельсинской декларацией.

Концентрация тяжелых металлов определялась методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (масс-спектрометр Perkin Elmer Nexion 300D) по 3 параллельным навескам. Числовые данные обра-

батывали методами математического анализа с помощью прикладного программного обеспечения Statistica 13.5.

Результаты

По имеющимся на настоящий момент данным на территории Южного Урала часто встречаются биогеохимические провинции свинцово-цинкового и медного типа. В образцах грунта Новотроицкого хвостохранилища нам удалось выявить превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) [3] не только свинца, цинка, меди, но и никеля.

Таблица 1. Содержание мышьяка и тяжелых металлов в пробах грунта хвостохранилища Новотроицкого золото-мышьяковистого месторождения ($M \pm m$, мг/кг)

Элемент	Содержание на поверхности (0-2 м)	Среднее содержание (0-18 м)	ПДК
Cu	$37,14 \pm 11,72$	$61,33 \pm 33,40$	3,0
Hg	Ниже порога определения	Ниже порога определения	2,1
Pb	$45,71 \pm 7,01$	$64,00 \pm 32,33$	32,0
Ni	$44,29 \pm 18,24$	$36,33 \pm 22,51$	4,0
Zn	$92,86 \pm 14,47$	$127,33 \pm 39,99$	23,0

Обращаясь к данным таблицы 1, видим, что средний уровень меди в массиве хвостохранилища превышал ПДК в 20,4 раза, свинца – в 2,0 раз, никеля – в 9,1 раз, цинка – в 5,5 раз. То есть, Новотроицкое хвостохранилище является не только источником поступления в биогеоценозы больших количеств мышьяка [9], но и тяжелых металлов, некоторые из которых необходимы живым системам в роли эссенциальных микроэлементов, но обладают сильным отравляющим эффектом при избыточном поступлении.

Разработка биогеохимических критериев для отдельных растений остается спорным вопросом. Наиболее оправданной является необходимость подобных критериев для определенных сельскохозяйственных культур [7]. Наиболее сложна задача в отношении дикорастущих растений, для которых был бы крайне желателен учет в оценке конкретных сред обитания. В данной работе мы будем ориентироваться на критерии, предложенные сотрудниками ГЕОХИ РАН для укосов, пастбищных растений и растительных кормов [5]. Относительно удовлетворительные уровни Pb, Ni и Hg составляют, таким образом, 1,1-1,5 мг/кг, Cu – 5-20 мг/кг, Zn – 20-60 мг/кг.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в пробах растений хвостохранилища Новотроицкого золото-мышьяковистого месторождения (мг/кг)

Элемент	Ковыль		Осока		Зонтичные	
	Побег и	Корни	Побег и	Корни	Побег и	Корни
Cu	4,01	23,78	3,35	10,63	6,17	8,22
Hg	0,0181	0,1300	0,0136	0,0359	0,0545	0,0079
Pb	1,22	0,993	0,284	4,24	0,805	9
Ni	0,687	4,39	0,583	3,76	1,2	1,4
Zn	14,59	18,25	17,52	93,38	31,98	48,32

Можно сказать, что наибольшее опасение вызывают уровни свинца и никеля, которые превышают

удовлетворительный уровень в 4 пробах в каждом случае. В то же время, нельзя не заметить неоднородность накопления элементов разными частями и видами растений, поэтому будет желательным проведение анализа большего числа образцов, дающего возможность использовать статистические методы и учесть в то же время видовую принадлежность, и сравнение результатов с результатами элементного анализа растений «фоновых» территорий.

Естественным путем поступления тяжелых металлов в организм животных является их пищевой рацион. Хроническое воздействие токсикантов даже в небольших дозах может приводить к нарушениям обменных процессов, нейрогуморальных систем, иммунологического статуса, вызывать мутации. При поступлении с пищей тяжелых металлов высокие их концентрации выявляются в печени и почках животных, большие концентрации цинка и свинца обнаруживают в костной ткани [8]. В организм крота токсиканты поступают с основным (90-95 %) его компонентом – дождевым червем, чей образ жизни также полностью привязан к загрязненной почве.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в пробах шерсти и тканей европейского крота ($M \pm m$, мг/кг)

Элемент	Печень	Почки	Мышцы	Шерсть
Cu	$6,46 \pm 0,53$	$5,86 \pm 0,57$	$3,03 \pm 0,25$	$12,72 \pm 2,27$
Hg	$0,178 \pm 0,0137$	$0,291 \pm 0,0232$	$0,1275 \pm 0,0115$	$0,3675 \pm 0,0856$
Pb	$0,23 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,03$	$0,16 \pm 0,5$	$4,26 \pm 0,83$
Ni	$0,12 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,04$	$1,01 \pm 0,17$
Zn	$28,45 \pm 1,04$	$27,87 \pm 1,88$	$29,07 \pm 2,81$	$174,5 \pm 10,31$

Данные таблицы 3 демонстрируют высокую степень накопления тяжелых металлов в шерсти животных. При рассмотрении уровней ТМ в тканях заметно, что в наибольшей степени медь, свинец и ртуть аккумулируются тканями печени и почек, никель – мышечной тканью, а концентрация цинка находится на примерно одинаковом уровне во всех тканях исследованных органов.

Заключение

Накопление растениями и животными тяжелых металлов в техногенно измененных биоценозах тесно связано с содержанием токсичных элементов в почвенном покрове. Наши результаты демонстрируют присутствие тяжелых металлов во всех ключевых компонентах биогеоценоза техногенного массива и свидетельствуют об экологическом неблагополучии на территории Новотроицкого хвостохранилища.

Литература

1. Ахлопова В.О., Брин В.Б. Современные представления о кинетике и патогенезе токсического действия тяжелых металлов // Вестник новых медицинских технологий. 2020. – Т. 27 – С. 55-61.

2. Бондаревич А.Б., Коцюржинская Н.Н., Самойленко Г.Ю. Влияние техногенеза на накопление и распределение тяжелых металлов в объектах из природных растительных сообществ в границах урбанизированной территории Читы // Экологический мониторинг и биоразнообразие, 2018. – С. 186-189.
3. ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М., 2006. – 15 с.
4. Дроздова Л.И. Соли тяжелых металлов и морфологическая оценка их воздействия на организм животных // БИО. 2018. №12 (219). – С. 31-32.
5. Ермаков В.В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы // Геохимия. 2005. № 3. – С. 203-221.
6. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов / Монография. Отв. ред. Т.И. Моисеенко. М.: РАН, 2018. – 386 с.
7. Ермохин Ю.И., Синдирева А.В. Взаимосвязи в питании растений. Омск: Вариант-Омск, 2011. – 208 с.
8. Максимюк Н.Н., Ребезов М.Б. Исследование содержания ксенобиотиков в мясе диких кабанов // Международный научно-исследовательский журнал. 2005. № 7 (38). Часть 2. – С. 81-85.
9. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Сафонов В.А. Исследование экологического воздействия Новотроицкого хвостохранилища на растительный покров и живые организмы // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. – Вып. 1. – С. 108-120.
10. Safonov V.A., Danilova V.N., Ermakov V.V., Vorobyov V.I. Mercury and methylmercury in surface waters of arid and humid regions, and the role of humic acids in mercury migration // Periodico Tche Quimica. 2019. Vol. 16. No 31.— P. 892-902.