

УДК 631.995:546:662:633:358

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАДМИЯ В ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА (Западная Бурятия)

*Н. М. Кожевникова*

*Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ  
E-mail: nicas@binm.bscnet.ru*

Изучена динамика накопления подвижных форм соединений кадмия в прикорневом слое почвы в зависимости от фазы вегетации растений: осоки стоповидной, польни холодной, лапчатки бесстебельной.

**Ключевые слова:** подвижные соединения кадмия, микрозоны почвы, пастбищный ценоз, техногенные ландшафты, Джидинский вольфрам-молибденовый комбинат.

### ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение биосферы тяжелыми металлами (ТМ) является одной из глобальных экологических проблем. Процессы взаимодействия ионов ТМ с минеральными и органическими компонентами почв, гидросферы играют большую роль в генезисе природных экосистем. Включаясь в биогеохимический круговорот элементов и передвигаясь по трофическим цепям, ТМ накапливаются в организмах животных и человека, вызывая серьезные заболевания. Основное количество ТМ аккумулируется в почвенно-грунтовых толщах, выступающих в отношении их мощной буферной системой, в которой протекают процессы, оказывающие существенное влияние на миграцию химических элементов в растения, поверхностные и грунтовые воды. В этом проявляется ключевая биосферная роль почв, их способность обеспечивать на загрязненных территориях нормальное функционирование экосистем и относительную чистоту растительной продукции и природных вод (Добровольский, 1985).

Среди ТМ одним из наиболее опасных токсикантов является кадмий, обладающий высокой подвижностью (Ладонин, 2002). Кадмий даже в низких концентрациях проявляет сильно выраженные токсичные свойства, быстро накапливаясь в растениях, мг/кг: до 58,6 в овсе, 21,6 – в пшенице, 138 – в ячмене, 2,9 – в люцерне. В пастбищных и сенокосных культурах Западного Забайкалья содержание кадмия не превышает 1,1 мг/кг (Добровольский, 1985, Ильин, 1991). Источником поступления Сd в растения является почва, содержание кадмия в которой варьирует от 0,01 до 1,1 мг/кг на незагрязненных территориях. На кислых почвах зафиксирована максимальная доступность

Сd растениям. Активный транспорт ионов кадмия осуществляется при помощи как ионных насосов, так и переносчиков преимущественно белковой природы. Установлено, что кадмий в растениях переносится при помощи металлотионеинов и фитохелатинов, формирование малоподвижных кадмийсвязывающих белков способствует фиксации его в вегетативных органах и вызывает различие в распределении по растению (Ильин, 1991).

Главным фактором, определяющим количество кадмия в почвах при отсутствии антропогенного влияния, являются материнские породы. В почвообразующих породах содержание Сd в среднем составляет, мг/кг: в глинах и глинистых сланцах – 0,15, в лессах и лессовидных суглинках – 0,08, песках и супесях – 0,03, в почвообразующих породах Забайкалья – 0,001–0,08 (Убугунов, Кашин, 2004).

Среднее содержание кадмия в почвах мира составляет 0,07–1,10 мг/кг, России – 0,01–1,00, Западной Сибири – 0,001–0,78, Западного Забайкалья – 0,08–0,34. Для песчаных и супесчаных почв ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) кадмия составляет 0,5 мг/кг почвы. Значительная его часть в почве (34–38%) связана с органическим веществом, 12–13% кадмия находится в форме кристаллических и аморфных оксидов, менее 10% от общего количества содержится в растворимой форме и около 30–35% – в обменной (Ладонин, 2002, Ильин, 1991).

Загрязнение почв кадмием ведет к снижению продуктивности системы почва – растение, продукция, полученная на загрязненных почвах, часто бывает непригодной для сельскохозяйственных животных.

Широкое развитие горнодобывающей перерабатывающей промышленности на территории Закаменского района Республики Бурятия привело

к накоплению отходов обогащительного производства по переработке молибденового и вольфрамового сырья – массивов техногенных песков, запасы которых превышают 40 млн т и являются основными источниками техногенных воздействий, нарушающих эколого-хозяйственный баланс. Содержание ряда ТМ: меди, цинка, кадмия, свинца, молибдена, вольфрама превышает ПДК в 4–15 раз в зоне непосредственной близости отвалов Джидинского вольфрам-молибденового комбината (ДВМК) (Кожевникова, 2010).

Почва микрозон (ризосфера (Р) и почвенно-корневая поверхность (ПКП) прикорневого слоя существенно изменяют подвижность тяжелых металлов вследствие поглотительной и выделительной деятельности корневой системы растений. Многие компоненты корневых выделений способствуют повышению активности соединений ТМ за счет комплексообразования с хелатирующими лигандами, входящими в состав диффузатов, секретов, экскретов корневых выделений (Gobran, Gleegg, 1996).

Воздействие корневой системы на почву зависит от физиологического состояния растения и его возрастных особенностей (Прокушкин, Каверзина, 1988; Кожевникова, 2010).

Материалы такого плана для Забайкалья в литературе практически отсутствуют.

Цель работы – изучение динамики содержания подвижных форм кадмия в прикорневой зоне осоко-разнотравного сообщества естественного пастбища в период вегетации в условиях микрополевого опыта.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки содержания подвижных форм соединений кадмия в микрозонах прикорневого слоя почвы пастбищных растений был заложен опыт на естественном пастбище в юго-восточной части г. Закаменска в 350 м от отвалов – хвостов обогащительной фабрики ДВМК. Учетная площадь делянок осоко-разнотравного пастбища составляла 2 м<sup>2</sup>. На опытном участке растительный покров был разреженным, с проективным покрытием 35–40%, с немногочисленным видовым составом. По возрастной структуре это были многолетники с преобладанием осоки стоповидной (*Carex pediformis*), полыни холодной (*Artemisia frigida*), лапчатки бесстебельной (*Potentilla acanlis*). Повторность опыта 4-кратная.

Почва на опытном участке – серая лесная легкосуглинистая неоподзоленная со следующими исходными характеристиками в слое 0–20 см: содержание гумуса 1,32%, азота – 0,11%, рН<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 7/1, подвижных (по Мачигину) соединений P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O – 2,26 и 11,8 мг/100 г почвы соответственно, емкость катионного обмена – 22 мг-экв./100 г почвы. Содержание валового кадмия в серой лес-

ной почве опытного участка (2,56–2,75 мг/кг почвы) превышает ОДК по этому металлу в 5 раз (Ладонин, 2002).

Динамика накопления подвижной формы кадмия изучена в прикорневом слое осоки стоповидной, полыни холодной и лапчатки бесстебельной.

Содержание подвижной формы кадмия определяли в почве, взятой из ризосферы, с почвенно-корневой поверхности, а также из почвы в целом; содержание подвижных соединений кадмия составляло 0,18–0,29 мг/кг почвы. Отбор почвенных образцов проводили по методике (Gobran et al., 1999). Корневую систему пастбищных растений освобождали от почвы, оставляя на корнях тонкий почвенный слой (1–2 мм). Корни отделяли от побега и высушивали, почвенный слой ризосферы аккуратно стряхивали, почвенные частички с почвенно-корневой поверхности удаляли щеточкой. Почву в целом отбирали на том же участке, свободном от корней растений.

Валовое содержание кадмия определяли в почвенных образцах, прокаленных в течение 4 ч в муфельной печи при температуре 500–550°C для удаления органического вещества, затем минеральную часть почвы разлагали смесью концентрированных кислот HF, HNO<sub>3</sub> и HCl с последующим атомно-абсорбционным анализом на спектрофотометре AAS SOLLAR M6. Для атомизации в пламени использовали смесь ацетилен – воздух. Подвижную форму (ионообменную) соединений кадмия извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором (АББ) с рН 4,8 (Ринькис и др., 1987). Статистическая обработка данных проведена по Б. А. Доспехову (1985).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Корневая система пастбищных растений значительно влияет на динамику накопления подвижной формы кадмия, поскольку многие компоненты корневых выделений, локализованные в микроучастках почвы, примыкающей к корням, даже в незначительных концентрациях повышают доступность для растений как элементов-биофилов, так и ТМ.

Такое активное воздействие корневой системы на почву зависит от биологических особенностей растений, периода вегетации и условий их произрастания.

Изучение динамики содержания кадмия в почве прикорневой зоны пастбищных растений осоко-разнотравного сообщества в период вегетации показало, что процессы почвенно-корневого взаимодействия не оказывают влияния на валовое содержание кадмия. Оно незначительно изменялось в течение вегетационного периода и было практически одинаково с содержанием элемента в обычной почве (см. таблицу). Вероятно, за ко-

Содержание валового количества и подвижных форм кадмия в прикорневой зоне растений в период вегетации, мг/кг

The contents of total quantity and mobile forms of cadmium in the root-inhabited layer of the plants during the vegetation period, mg/kg

Форма соединений	Ризосфера	Почвенно-корневая поверхность	Почва в целом
Осока стоповидная. Всходы			
Валовое содержание	2,57±0,11	2,58±0,11	2,56±0,12
Подвижная форма	0,17±0,01	0,18±0,01	0,16±0,01
Кущение			
Валовое содержание	2,59±0,11	2,61±0,11	2,56±0,11
Подвижная форма	0,18±0,01	0,19±0,01	0,17±0,01
Цветение			
Валовое содержание	2,63±0,12	2,63±0,12	2,57±0,12
Подвижная форма	0,19±0,01	0,19±0,01	0,16±0,01
Полынь холодная. Всходы			
Валовое содержание	2,58±0,11	2,59±0,11	2,56±0,11
Подвижная форма	0,18±0,01	0,19±0,01	0,17±0,01
Кущение			
Валовое содержание	2,61±0,11	2,62±0,11	2,57±0,12
Подвижная форма	0,20±0,01	0,22±0,01	0,17±0,01
Цветение			
Валовое содержание	2,63±0,12	2,64±0,12	2,57±0,12
Подвижная форма	0,23±0,01	0,24±0,01	0,17±0,01
Лапчатка бесстебельная. Всходы			
Валовое содержание	2,65±0,12	2,67±0,12	2,57±0,12
Подвижная форма	0,20±0,01	0,21±0,01	0,18±0,01
Кущение			
Валовое содержание	2,69±0,11	2,71±0,11	2,58±0,11
Подвижная форма	0,23±0,01	0,25±0,01	0,18±0,01
Цветение			
Валовое содержание	2,75±0,12	2,19±0,12	0,18±0,11
Подвижная форма	0,27±0,01	0,29±0,01	0,19±0,01

роткий период времени корни пастбищных растений не оказали значительного влияния на валовое содержание кадмия в почве.

Содержание подвижной формы соединений кадмия в почве прикорневой зоны было выше в 1,2–1,4 раза относительно почвы в целом. Содержание подвижной формы кадмия в почве микрозон прикорневого слоя осоки стоповидной было ниже, чем в зоне контакта корневой системы полыни холодной и лапчатки бесстебельной с почвой.

Для лапчатки бесстебельной отмечено максимальное содержание подвижной формы кадмия в почве почвенно-корневой поверхности – 0,25–0,29 мг/кг почвы. Концентрация подвижной формы соединений кадмия в почве под осокой стоповидной в 1,2–1,3 раза выше, чем в обычной почве, под полынью холодной – в 1,3–1,4 раза и под лапчаткой бесстебельной – в 1,5–1,6 раза, которая характеризуется аккумуляцией более высоких количеств подвижной формы соединений кадмия по сравнению с представителем осоковых видов пастбищных культур.

Накопление подвижной формы кадмия в почве микрозон прикорневого слоя почвы обусловлено в значительной степени выделяемыми корнями в

окружающую среду органическими соединениями: аминокислотами, ароматическими и алифатическими кислотами, углеводами, стиролами, энзимами, клеточными веществами. Корневые выделения создают в прикорневой почве условия, при которых разрушается структура минералов, изменяется состав растворимых соединений, увеличивается емкость катионного обмена, что способствует переходу части валового количества в подвижные формы. Необходимо отметить вклад в увеличение подвижных форм элементов сосущей силы корня, вызывающей массовый поток вещества к корневой поверхности и способствующей накоплению подвижных соединений элементов в почве прикорневой зоны. Определенный вклад в накопление подвижной формы кадмия в почве микрозон корневой системы растений вносят прикорневые микроорганизмы, количество которых на поверхности корня в сотни раз больше, чем в почве в целом (Емцев, Мишустин, 1993; Сабинин, 1971).

Количество подвижной формы кадмия в почве прикорневой зоны изменялось в зависимости от фазы развития пастбищных растений, максимальное содержание отмечено в период цветения, что,

вероятно, обусловлено тем, что корни растений в фазе цветения выделяют максимальное количество веществ (Gobran et al., 1999).

### ВЫВОДЫ

В течение вегетационного периода в почве прикорневой зоны растений осоко-разнотравного сообщества не выявлено существенных различий в валовом содержании кадмия в почве прикорневой зоны растений и почвы в целом.

Концентрация подвижной формы кадмия в прикорневой зоне была выше, чем в почве в целом, максимальное накопление подвижной формы отмечено в период цветения, особенно для лапчатки бесстебельной.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 09-05-00121.

### ЛИТЕРАТУРА

Добровольский Г. В. Тяжелые металлы: загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М. : Изд-во МГУ, 1985. – С. 3–12.

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. Микробиология. – М. : Колос, 1993. – 324 с.

Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе «почва – растение». – Новосибирск : Наука, 1991. – 151 с.

Кожневникова Н. М. Содержание лантана в почве прикорневой зоны гороха в период вегетации // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2010. – № 4. – С. 100–102.

Ладонин Д. В. Соединения ТМ в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. – 2002. – № 6. – С. 682–692.

Прокушкин С. П., Каверзина Л. Н. Корневые экзо-метаболические и сапролины сосны обыкновенной. – Красноярск : ИП и ДСО АН СССР, 1988. – 130 с.

Ринькис Г. Я., Рамане Х. К., Куницкая Т. А. Методы анализа почв и растений. – Рига : Зинайтне, 1987. – 174 с.

Сабинин Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений. – М. : Наука, 1971. – 510 с.

Убугунов В. Л., Кашин В. К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.

Gobran G. R., Gleegg S. A conceptual model for nutrient availability in the mineral soil – root system // Can. J. Soil Sci. – 1996. – Vol. 76. – P. 125–131.

Gobran G. R., Gleegg S., Courchenese F. The Rhizosphere and Trace Elements Acquisition // Fate and Transport of Heavy Metals in the Vadose Zone / eds. H. M. Selim, A. Iykander. – CRC Press LLC., 1999. – 223 p.

Поступила в редакцию 20.12.2010 г.

## DYNAMICS OF MOBILE CADMIUM IN TECHNOGENIC LANDSCAPES OF THE DZHIDA TUNGSTEN-MOLIBDENUM COMPLEX (Western Buryatiya)

*N. M. Kozhevnikova*

The dynamics of mobile cadmium compounds accumulation in the rhizosphere of *Carex pediformis*, *Artemisia frigida*, *Potentilla acanlis* was studied during the vegetation period.

**Key words:** mobile cadmium, soils microzones, pasture cenosis, technogenic landscapes, Dzhida Tungsten-Molibdenum Complex.