

Накопление и распределение микроэлементов в органах и тканях *Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC.

Accumulation and distribution of microelements in organs and tissues of *Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC.

Бондаревич Е. А., Лагутенко М. Р.

Bondarevich E. A., Lagutenko M. R.

ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», г. Чита, Россия. E-mail: bondarevich84@mail.ru
Chita State Medical Academy, Chita, Russia

Реферат. Проблема загрязнения объектов окружающей среды неорганическими экотоксикантами является крайне актуальной, особенно в условиях интенсивного роста городов. В условиях города Чита выявлено формирование техногенной биогеохимической полиэлементной аномалии, связанной с воздействием транспорта и промышленности в условиях резко-континентального климата. Объектом исследования был *Oxytropis myriophylla*, характеризующийся высокой устойчивостью к загрязнению среды. Целью работы было изучение особенностей накопления и распределения Mn, Fe, Cu, Zn, As и Pb в листьях и корнях *O. myriophylla*. Выявлено, что наиболее интенсивно микроэлементы накапливались в подземных органах вида, особенно в районах воздействия транспортной инфраструктуры, а также на отвалах горно-обогатительного комбината. Zn и Cu имели техногенное происхождение, тогда как As и Pb – элементы, сопутствующие полиметаллическим рудам, а Mn и Fe имеют высокие уровни накопления и в почвенном покрове региона и характеризуют природные биогеохимические аномалии. По сравнению с нормирующими показателями растения *O. myriophylla* из пунктов на территории города Чита и поселка Орловск имели превышения, тогда как для экологически благополучных пунктов – село Иля и Яблоновый хребет – существенного накопления не выявлено.

Ключевые слова. Восточное Забайкалье, микроэлементы, рентгено-флюоресцентный метод, *Oxytropis myriophylla*.

Summary. The problem of pollution of environmental objects with inorganic ecotoxicants is extremely relevant, especially in conditions of intensive urbanization. In the conditions of the city of Chita, the formation of a technogenic biogeochemical polyelement anomaly associated with the impact of transport and industry in a sharply continental climate was revealed. The object of the study was *Oxytropis myriophylla*, which is characterized by high resistance to environmental pollution. The purpose of the work was to study the characteristics of the accumulation and distribution of Mn, Fe, Cu, Zn, As and Pb in the leaves and roots of *O. myriophylla*. It was revealed that microelements accumulated most intensively in the underground organs of the species, especially in areas affected by transport infrastructure, as well as on the dumps of a mining and processing plant. Zn and Cu were of technogenic origin, while As and Pb are elements associated with polymetallic ores, and Mn and Fe have high levels of accumulation in the soil cover of the region and characterize natural biogeochemical anomalies. Compared to the standard indicators, *O. myriophylla* plants from points in the city of Chita and the village of Orlovsk had excesses, while for environmentally safe points – the village of Ilya and Yablonovy Ridge – no significant accumulation was detected.

Key words. Eastern Transbaikalia, microelements, *Oxytropis myriophylla*, X-ray fluorescence method.

Введение. Изучение аккумуляции микроэлементов растениями и особенности их воздействия на растительный организм является важной задачей биогеохимических исследований. В разных условиях воздействия техногенеза и природных геохимических аномалий приводят к широкой вариативности содержания микроэлементов в тканях и органах растений, что представляет собой научный интерес в направлении экомониторинга, особенно в условиях интенсивной урбанизации.

Цель работы – изучение особенностей накопления и распределения Mn, Fe, Cu, Zn, As и Pb в листьях и корнях *Oxytropis myriophylla*.

Материалы и методы. Объектом исследования были растения *Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC. семейства Fabaceae. Вид является многолетним травянистым растением до 20 см высотой, относящийся к стержнекорневым дерновинным поликарпикам с многоглавым каудексом (Kozhevnikov et al., 2019).

Сбор проб проводился в августе 2019–2020 гг. на территории Забайкальского края: пункт 1 – с. Иля (Дульдургинский район), пункт 2 – отвалы хвостохранилища Орловского горно-обогатительного комбината у п. Орловский (Агинский район), и пункты в окрестностях г. Чита – Московский тракт (пункт 3), п. Молоковка (пункт 4), п. Антипиха (пункт 5), п. Песчанка (пункт 6), мкр. Сосновый бор (пункт 7), стадион Восточного военного округа (ВВО) (пункт 8) и перевал Яблонового хребта (пункт 9), принятый за условный фоновый участок (рис. 1).

Экземпляры растений промывали проточной водой и разделяли на отдельные органы. После высушивания на воздухе части растений помещали в сушильный шкаф при 105 °С на 2–3 ч, а после измельчали при помощи универсальной мельницы RT-02ВНК до состояния мелкодисперсного порошка. В качестве исследуемых органов использовали придаточные корни (К) и листья (Л) *O. myriophylla*.

Перед анализом порошки проб взвешивались на аналитических весах и подвергали мокрому озолению в присутствии 65 %-ой азотной кислоты и 30 %-го раствора пероксида водорода в соотношении 10 : 1. После растворения проб в 10 мл окисляющей смеси, отбиралась аликвота, объёмом 1 мл и в неё добавляли 0,100 мл стандартного раствора соли германия с концентрацией 2,50 мг/л. Из полученной пробы на кварцевую подложку наносили каплю исследуемого раствора объёмом 10,0 мкл и после высушивания пробы помещались в рентгено-флуоресцентный спектрометр S2 Picofox (Bruker), который количественно определял содержание Mn, Fe, Cu, Zn, As и Pb. Анализ полученных спектров проводился в программе Spectra PICOFOX, ver. 7.8.2.0.



Рис. 1. Административные территории, где произрастает *O. myriophylla* (Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet. URL: <http://www.plantsoftheworldonline.org/>) и точки отбора проб в Забайкальском крае (пункты 1–3) и в окрестностях г. Читы (пункт 4).

Результаты и их обсуждение. В результате исследования выявлено существенное накопление (более 400 мг/кг сухой массы) соединений марганца в корнях *O. myriophylla*, произраставшего в окрестностях «стадиона ВВО», и несколько меньшие величины для пунктов «п. Антипиха» и «Московский тракт» (рис. 2). В листьях концентрации марганца были меньшими, однако для пункта «Московский тракт» уровень аккумуляции марганца был более 300 мг/кг сухой массы. По литературным данным известно, что кларк марганца в наземных растениях составляет 630 мг/кг (Воткевич, Кокин, 1990), и по сравнению с ним превышения не выявлено. Однако если ориентироваться на глобальные уровни содержания микроэлемента в травянистых растениях (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), изменяющиеся от 17 до 334 мг/кг сухой массы, растения *O. myriophylla*, произрастающие в пределах г. Читы имеют его повышенные величины накопления (рис. 2).

Накопление цинка характеризовалось широкой вариабельностью показателя, с максимальными величинами более 300 мг/кг сухой массы в корнях *O. myriophylla* в пункте «стадион ВВО», а в листьях около 400 мг/кг (мкр. Сосновый бор). Кларк микроэлемента для наземных растений – 100 мг/кг (Воткевич, Кокин, 1990), а среднее содержание в травянистых растениях – 12–47 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Для большинства пунктов отбора проб, кроме точки на перевале Яблонового хребта, имели показатели кратно большие, чем нормирующие (рис. 2).

Железо является крайне важным микроэлементом, необходимым для метаболизма всех клеточных форм живых организмов. Травянистые растения накапливают от 2127 до 3580 мг/кг сухой массы соединений Fe (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), тогда как кларк в растениях составляет 140 мг/кг (Воткевич, Кокин, 1990). Для *O. myriophylla* содержание железа было крайне вариабельным и ниже кларковых значений его количество фиксировалось только для корней вида из пункта «Яблоновый хребет». В условиях урбанизированной территории Читы концентрации железа были существенно большими нормирующих значений, и максимум его аккумуляции в корнях и листьях отмечался в пункте «Московский тракт» (рис. 2).

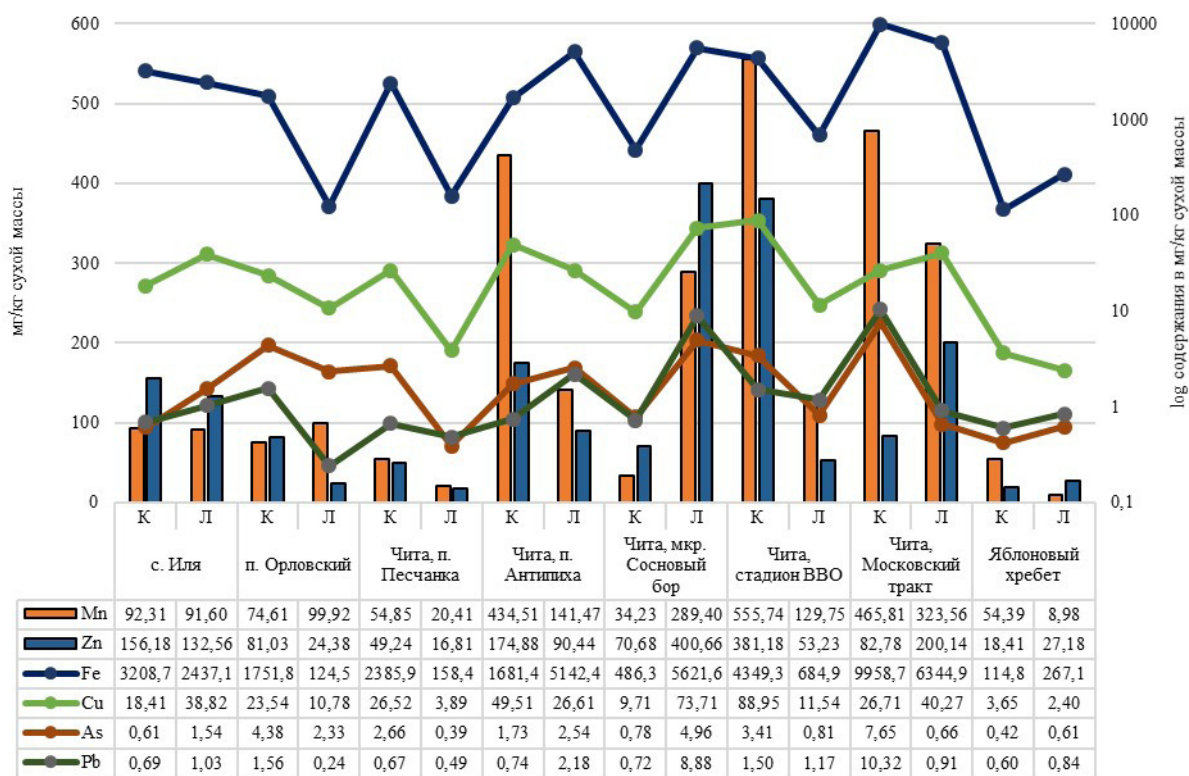


Рис. 2. Уровни содержания микроэлементов в придаточных корнях и листьях *O. myriophylla*.

Накопление меди имело широкий диапазон величин, с максимальным показателем для корней в пункте «стадион ВВО», а в листьях «мкр. Сосновый бор» (рис. 2). Кларк меди для растений – 14 мг/кг (Воткевич, Кокин, 1990), глобальный уровень в травянистых растениях – до 20 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), таким образом нормирующие показатели превышены у менее, чем половины проб.

Мышьяк представляет собой неметалл, соединения которого в анионной или элементарноорганической формах может оказывать сильное токсическое действие на живые организмы. Растения более устойчивы к загрязнению экосистем мышьяком, тем не менее их метаболизм нарушается при его избыточном поступлении и накоплении. Наибольшее количество микроэлемента фиксировалось в корнях в пункте «Московский тракт», а в листьях – «мкр. Сосновый бор» (рис. 2). Кларк As в растениях – 0,2 мг/кг (Воткевич, Кокин, 1990), а концентрации мышьяка в растениях, произрастающих на незагрязненных почвах, варьируют в пределах 0,009–1,5 мг/кг сухого веса (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Отмеченные показатели позволяют отнести ряд участков урбанизированной территории Читы к сильнозагрязненным мышьяком. Аналогичная ситуация и для отвалов пород Орловского ГОКа, где мышьяк,

как сопутствующих полиметаллическим рудам (литий, вольфрам и тантал) элемент не извлекался, а переходил в пустую породу и в настоящее время интенсивно перемещается по трофическим цепям, оказывая негативное воздействие на экосистемы региона.

Высокотоксичный свинец также максимально аккумулировался в органах *O. myriophylla*, произрастающего на хвостохранилище Орловского ГОКа и возле крупных автомагистралей в г. Чита – мкр. Сосновый бор (максимум в листьях) и Московский тракт (корни). Кларк свинца в растениях – 2,7 мг/кг (Воткевич, Кокин, 1990), а естественный уровень в растениях незагрязненных и нерудных областей мира лежит в пределах 0,1–10 мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). По свинцовому загрязнению существенных превышений нормирующих показателей не выявлено по большинству пунктов отбора проб, кроме «мкр. Сосновый бор» – более 8 мг/кг Pb в листьях и «Московский тракт», где содержание свинца в корнях *O. myriophylla* было более 10 мг/кг (рис. 2).

Расчет коэффициентов корневого барьера (отношения содержания элемента в корне к его содержанию в надземных органах) показал, что для практически всех элементов (кроме Pb) медианное значение величины было более 1 (табл. 1), что указывает на барьерный тип накопления микроэлементов (Афанасьева, Аюшина, 2018). По свинцу, по-видимому, способность к уменьшению поступления из подземных в надземные органы у *O. myriophylla* снижена и отсутствуют существенные физиолого-биохимические барьеры передвижения.

Максимумы коэффициента корневого барьера выявлены для пунктов, характеризующихся высокой интенсивностью техногенного воздействия – п. Песчанка и Московский тракт, по Fe выделяется Орловский ГОК (табл. 1). Существенные величины $K_{кб}$ указывают на преимущественно корневое поступление микроэлементов и их активное накопление в подземных органах *O. myriophylla*.

Таблица 1

Величины коэффициента корневого барьера между корнями и листьями *O. myriophylla*

Пункт отбора проб	Показатель $K_{кб}$ по микроэлементам					
	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Pb
с. Иля	1,01	1,32	0,47	1,18	0,39	0,67
п. Орловский	0,75	14,07	2,18	3,32	1,88	6,45
п. Песчанка	21,29	10,61	12,74	10,40	4,45	1,53
п. Антипиха	0,24	0,09	0,37	0,78	0,31	0,33
мкр. Сосновый бор	0,12	0,09	0,13	0,18	0,16	0,08
стадион ВВО	4,28	6,35	7,71	7,16	4,21	1,28
Московский тракт	1,44	1,57	0,66	0,41	11,62	11,39
Яблонный хр.	6,05	0,43	1,52	0,68	0,68	0,71
Медиана $K_{кб}$	1,22	1,44	1,09	0,98	1,28	1,00

Заключение. Таким образом, выявлено, что на урбанизированной территории Читы, в пунктах расположения крупных транспортных путей (п. Песчанка, Московский тракт, стадион ВВО) имеются биогеохимические аномалии по марганцу, цинку, меди, железу. Источниками загрязнения почвенного покрова и растений *O. myriophylla* могут быть не только объекты автотранспорта, но и стационарные источники (котельные – стадион ВВО, предприятия – п. Песчанка и Московский тракт). Выявлено интенсивное загрязнение корней и листьев *O. myriophylla* мышьяком и свинцом в пункте п. Орловский, где на протяжении четырех десятилетий проводится добыча полиметаллических руд. Экологически благополучный пункт – с. Иля – характеризовался относительно высоким уровнем накопления цинка в листьях и корнях *O. myriophylla*, что может быть обусловлено локальными геохимическими факторами и расположением поблизости региональной автодороги. Наименьшие величины аккумуляции микроэлементов в корнях и листьях *O. myriophylla* отмечены для Яблонного хребта, хотя площадка расположена в 20 км от границы г. Читы. Данная особенность связана с отсутствием переноса смога в направлении Яблонного хребта в наиболее неблагоприятные месяцы года (ноябрь–март) и преобладанием северного и северо-восточного ветра.

В целом вид *O. myriophylla* характеризовался высокой устойчивостью к действию загрязнителей, их относительно низкими величинами накопления и перемещения микроэлементов из подземной

части растений в надземные. Вероятно, эта особенность связана с высоким содержанием в тканях видов *Oxytropis* полигетерофункциональных метаболитов (Li et al., 2012), обладающих высокой хелатирующей активностью и переводящих ионы микроэлементов в менее токсичные элемент-органические производные. Коэффициент корневого барьера показал, что интенсивность накопления элементов была выше в корнях, по сравнению с надземными органами.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьева Л. В., Аюшина Т. А.** Накопление и распределение микроэлементов в растениях *Arctostaphylos uva-ursi* // Химия растительного сырья, 2018. – №3. – С. 123–128. DOI: 10.14258/jcprm.2018033693
- Воткевич Г. В., Кокин А. В.** Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – С. 323–324 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
- Kozhevnikov A. E., Kozhevnikov Z. V., Kwak M., Lee B. Y.** Illustrated flora of the Primorsky Territory, Russian Far East // National institute of biological resources, 2019. – P. 447.
- Li M.X., Lan Z.H., Wei L.L., Zhang R. X., Zheng P. J.** Phytochemical and biological studies of plants from the genus *Oxytropis* // Records of Natural Products, 2012. – Vol. 6, № 1. – P. 1–20.