

УДК 502.175:581.5
DOI: 10.26456/vtbio274

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В РАСТЕНИЯХ ЗОНЫ РАЗРАБОТКИ МАЛМЫЖСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУД
В ОКРЕСТНОСТЯХ ПОСЕЛКОВ
МАЛМЫЖ И ВЕРХНИЙ НЕРГЕН (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

Т.Н. Моторыкина

Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, Хабаровск
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

В работе представлены результаты анализа содержания тяжелых металлов (кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, свинца и цинка) в растениях в 14 объединенных растительных пробах, собранных в зоне разработки Малмыжского месторождения медно-порфировых руд в точках контроля на границе санитарно-защитной зоны, а также на аналоговых площадях в подобных контролируемых сообществах, но расположенных вне зоны воздействия. Концентрации исследованных элементов в растениях большинства пробных площадок находятся в пределах допустимых значений, что не вызывает нормального функционирования растений, в том числе и тяжелый металл высокой токсичности – кадмий. По результатам анализов в растениях на пробных площадках он находится в пределах допустимых концентраций. На девяти пробных площадках отмечено высокое содержание марганца, что связано с природными особенностями папоротников и брусники обыкновенной накапливать этот элемент в своих тканях. Такие высокие концентрации марганца в растениях являются наследством закрепленными.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, загрязнители, Малмыжское месторождение, валовое содержание, растительные пробы.*

Введение. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) является одной из важнейших экологических проблем современности. К ТМ относятся железо, кадмий, калий, кальций, кобальт, магний, марганец, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, хром и цинк, которые отличаются токсичностью, канцерогенностью, способностью накапливаться в разных объектах (Кустанович, 1972). Загрязнению тяжелыми металлами подвергается вода, почва, растения и животные, а также промышленные отходы, аккумулирующие их, накапливая в концентрациях, превышающих предельно-допустимые концентрации. Среди приоритетных загрязнителей выделяют кадмий,

медь, свинец, цинк, причем в природных объектах и промышленных водах они часто встречаются вместе в разных сочетаниях (Мосталыгина и др., 2014).

Для оценки уровня ТМ часто используются методы биомониторинга. Биологический мониторинг – система наблюдений за экологическим состоянием компонентов природных объектов, биологическая оценка качества окружающей среды (Шаназарова, Ахматова, 2015). Для проведения биомониторинга в качестве индикаторов состояния окружающей среды используют воду, почву, растения и животных данного региона.

Растения – один из наиболее чувствительных индикаторов техногенного изменения среды. Реагируя на загрязнения окружающей среды, растения, показывают изменения экологической обстановки под воздействием разных факторов и поэтому широко используются при оценке загрязнения окружающей среды. Растительный покров находится под мощным техногенным прессом поллютантов, поступающих из воздуха и загрязненных почв. Растения поглощают из окружающей среды практически все химические элементы. Часть из них необходима для обменных процессов в растениях, но увеличение их концентраций является токсичным для растений. Такой элемент, как свинец и кадмий токсичны даже в низких концентрациях (Baker, 1981).

Проблема взаимоотношения растений и тяжелых металлов в окружающей среде является очень актуальной и требует изучения. А знание природных концентраций ТМ в растениях дает возможность судить о состоянии чистоты или загрязненности определенного участка территории в связи с антропогенным воздействием на окружающую среду.

С целью оценки экологического состояния территории разработки Малмыжского месторождения медно-порфировых руд (Хабаровский край) проведено изучение валового содержания в растениях тяжелых металлов: кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, свинца и цинка как характерных природно-антропогенных загрязнителей среды. Именно этот перечень используется многими авторами в литературных источниках по влиянию ТМ на почвы, дикорастущие и лекарственные растения (Мальгин и др., 1995; Ельчинова и др., 2008).

На момент исследования проводилось строительство карьера по добыче руд, наблюдалось активное передвижение автомашин и строительной техники по уже проложенным дорогам и прокладка новых автодорог для передвижения транспорта. В связи с этим, основные источники воздействия на растительный покров – строительные и транспортные машины (пылевая завеса, выброс

выхлопных газов в атмосферу, загрязнение территории горюче-смазочными материалами).

Методика. Материал растительного происхождения для определения химического состава отбирали в июле 2021 г. с 14 заложённых пробных площадок, из которых десять ПП – точки контроля на границе санитарно-защитной зоны и четыре ПП – аналоговые площади в подобных контролируемых сообществах, но расположенные вне зоны воздействия разработки Малмыжского месторождения медно-порфириновых руд (рис. 1).

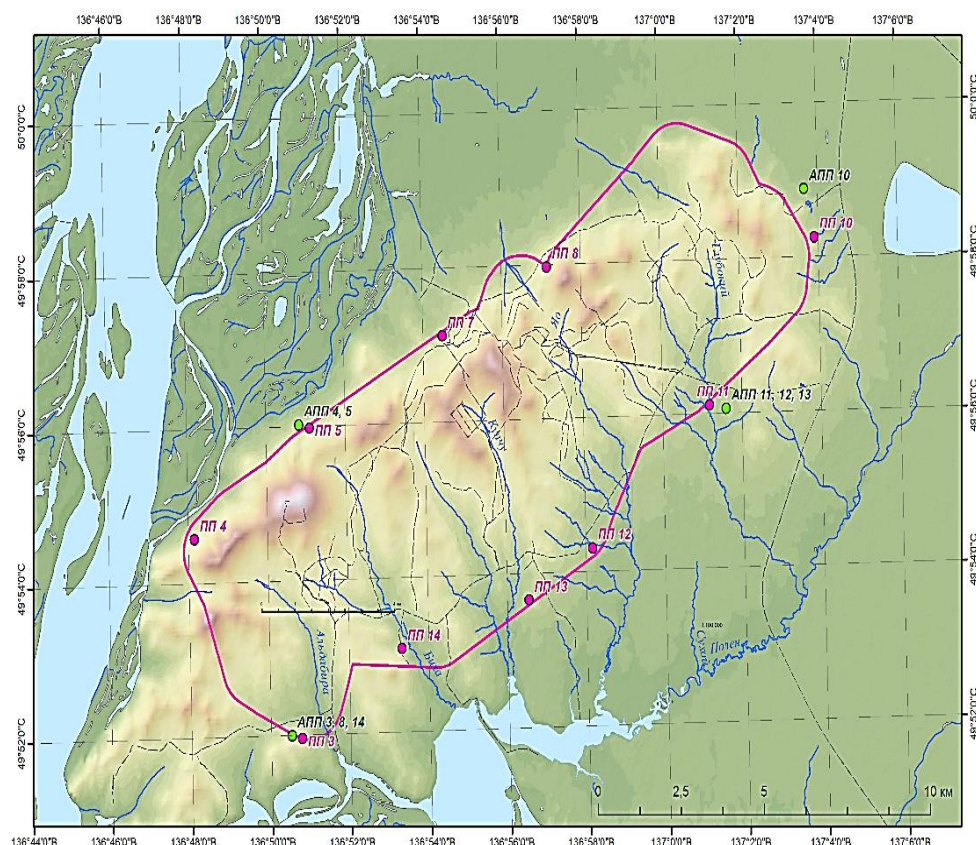


Рис. 1. Местоположение пробных площадок (ПП) в окрестностях поселков Малмыж и Верхний Нерген (Хабаровский край):

красные точки с номерами ПП – пробные площадки в точках контроля на границе санитарно-защитной зоны разработки Малмыжского месторождения медно-порфириновых руд;

зеленые точки с номерами АПП – аналоговые площади в подобных контролируемых сообществах, но расположенные вне зоны воздействия разработки Малмыжского месторождения медно-порфириновых руд

При отборе растительного материала для химических анализов руководствовались требованиями репрезентативности и представительности отобранных проб. Для этого на каждой ПП с помощью специальной деревянной рамки выделяли 6–10 типичных делянок площадью 1м² каждая, равномерно расположенных на участке. Растения скашивали в сухую погоду и из них составляли объединенную пробу. После тщательного перемешивания на ровной площадке из объединенной пробы отбирали средний образец массой 1,5 кг, помещали его в чистые бумажные мешки, этикетировали и хранили до проведения химических анализов в свежем состоянии.

По единой методике с 14 ПП отобрано 14 объединенных растительных проб, в которых были представлены следующие виды растений: осока кривоносая (*Carex campylorhina* V. I. Krecz.), бор развесистый (*Milium effusum* L.), хвощ зимующий (*Equisetum hyemale* L.), чистострелик азиатский (*Osmundastrum asiaticum* (Fernald) Tagawa), щитовник толстокорневищный (*Dryopteris crassirhizoma* Nakai), страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.), кочедыжник китайский (*Athyrium sinense* Rupr.), лепторумора амурская (*Leptorumohra amurensis* (Christ) Tzvel.), буковник обыкновенный (*Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt), щитовник сихотэ-алинский (*Dryopteris sichotensis* Kom.), подмаренник трехнадрезный (*Galium trifidum* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt), тригонотис укореняющийся (*Trigonotis radicans* (A. DC.) Steven), фиалка Селькирка (*Viola selkirkii* Pursh ex Goldie), адокса мускусная (*Adoxa moschatellina* L.), осока мечевидная (*Carex xuphium* Kom.), вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin.), дерен канадский (*Chamaepericlymenum canadense* (L.) Aschers. et Graebn.), брусника обыкновенная (*Rhodococcum vitis-idaea* (L.) Avror.), копис трехлистный (*Coptis trifolia* (L.) Salisb.), осока седеющая (*Carex canescens* L.), кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.).

В отобранных пробах растений определялось валовое содержание тяжелых металлов: кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, свинца и цинка. Валовые содержания ТМ дают представление о степени техногенного загрязнения (Водяницкий, 2005).

Анализ проб проводили в испытательной лаборатории Федерального государственного бюджетного учреждения Центра агрохимической службы «Хабаровский» (ФГБУ ЦАС «Хабаровский») атомно-эмиссионным методом с ионизацией в индуктивно-связанной аргоновой плазме по стандартной методике ЦВ 5.18, 19.01-2005 (Методика..., 2005) с использованием эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой *Agilent 720 ICP-OES*.

Результаты и обсуждение. Количественные показатели содержания ТМ в растениях представлены в таблице 1.

Марганец. В литературе, значение марганца для живых организмов хорошо изучено. Известно, что в зависимости от видовой принадлежности и места обитания растения в своей наземной части накапливают марганца от единиц до сотен миллиграммов на килограмм сухой массы. При концентрации этого элемента в растениях от 20 до 70 мг/кг организмы животных функционируют нормально. Надо полагать, что содержание марганца в растениях в пределах этих величин будет считаться нормой (Мальгин и др., 1995).

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в растениях

Номер пробной площади (ПП)	Массовая доля тяжелых металлов в растениях, мг/кг							
	Cd	Co	Mn	Cu	As	Ni	Pb	Zn
ПП 10	0,06	0,10	509,10	2,80	0,10	0,70	1,30	14,60
ПП 8	0,07	<0,1	44,70	2,70	<0,1	0,70	1,40	12,40
ПП 7	0,31	0,10	601,00	5,70	0,10	0,90	3,20	44,90
ПП 3	0,12	<0,1	67,60	2,50	0,10	0,30	0,90	18,80
АПП 3,8,14	0,06	<0,1	168,10	4,00	0,10	0,80	1,20	13,00
ПП 11	0,17	0,20	300,10	3,00	<0,1	0,80	1,10	18,00
АПП 11,12,13	<0,05	<0,1	452,60	4,30	<0,1	0,40	2,30	14,20
ПП 12	<0,05	<0,1	365,60	4,00	<0,1	1,00	1,40	10,00
ПП 14	0,20	<0,1	917,70	4,30	0,10	0,60	2,80	21,50
ПП 5	0,20	<0,1	28,00	4,30	0,30	0,10	2,00	9,70
АПП 4,5	0,06	<0,1	15,50	5,70	0,10	0,20	1,00	12,60
ПП 4	<0,05	<0,1	18,60	2,50	0,10	0,20	1,10	16,10
АПП 10	0,05	0,10	742,00	3,60	0,10	0,60	1,70	14,30
ПП 13	<0,05	0,10	310,70	2,70	0,10	1,00	3,30	16,60

Примечания: Cd – кадмий; Co – кобальт; Mn – марганец; Cu – медь; As – мышьяк; Ni – никель; Pb – свинец; Zn – цинк.

Из литературных источников известно о существовании манганофилов – растений, которые способны в больших количествах накапливать марганец: лютик, полынь, папоротники, сосна, береза (Леванидов, 1961). Высокие концентрации этого элемента присущи бруснике обыкновенной (*Rhodococcum vitis-idaea* (L.) Avror.) семейство Ericaceae Juss. – 163-1587 мг/кг, которые являются наследственно закрепленным (Мальгин, 1978). По результатам протоколов испытаний девять проб (ПП 7, 10, 11, 12, 13, 14; АПП

3,8,14; АПП 10, АПП 11,12,13) по сравнению с другими отличаются высоким содержанием марганца: ПП 7 – 601,00 мг/кг, ПП 10 – 509,10 мг/кг, ПП 11 – 300,10 мг/кг, ПП 12 – 365,60 мг/кг, ПП 13 – 310,70 мг/кг, ПП 14 – 917,70 мг/кг; АПП 3,8,14 – 168,10 мг/кг, АПП 10 – 742,00 мг/кг, АПП 11,12,13 – 452,60 мг/кг. Это может объясняться наличием папоротников на этих ПП, которые способны накапливать марганец в больших количествах: ПП 7 (*Osmundastrum asiaticum*, *Leptorumohra amurensis*), ПП 10 (*Osmundastrum asiaticum*, *Dryopteris crassirhizoma*, *Dryopteris sichotensis*, *Phegopteris connectilis*), ПП 12 (*Osmundastrum asiaticum*), ПП 13 (*Osmundastrum asiaticum*, *Phegopteris connectilis*), ПП 14 (*Leptorumohra amurensis*), АПП 3,8,14 (*Dryopteris crassirhizoma*, *Osmundastrum asiaticum*, *Leptorumohra amurensis*, *Athyrium sinense*), АПП 10 (*Osmundastrum asiaticum*, *Leptorumohra amurensis*), АПП 11,12,13 (*Leptorumohra amurensis*) и наличием брусники обыкновенной (*Rhodococcum vitis-idaea*) на ПП 11. На остальных ПП концентрация марганца в растениях находится в пределах нормальных значений для их функционирования.

Медь. Концентрация меди в растениях из незагрязненных регионов разных стран колеблется от 1 до 10 мг/кг сухой массы (Алексеев, 1987). На всех изученных ПП в растениях уровень содержания меди в растениях находится в норме и составляет от 1,30 до 7,40 мг/кг.

Цинк. Содержание цинка в травах находится в пределах 12–47 мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Уровень концентрации цинка в растениях на всех исследованных ПП укладывается в диапазон нормального функционирования растений (от 9,70 до 44,90 мг/кг).

Свинец. Естественные уровни содержания свинца в растениях из незагрязненных и безрудных областей находятся в пределах 0,1–10,0 мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). На всех изученных ПП концентрация свинца в растениях находится в пределах допустимых значений и составляет от 0,1 до 3,30 мг/кг.

Мышьяк. Мышьяк входит в состав растений, но его биохимическая роль практически не изучена. Содержание мышьяка, например, в растениях Алтая варьирует в широком диапазоне: от <0,05 до 0,625 мг/кг, в Северном Алтае от <0,05 до 0,33 мг/кг, в Центральном Алтае от <0,05 до 0,625 мг/кг (Мальгин и др., 1995). На исследованных ПП содержание мышьяка в растениях колеблется в диапазоне от <0,1 до 0,30 мг/кг и находится в пределах нормы.

Кадмий. Кадмий – элемент чрезвычайно высокой токсичности. Ионы его обладают большой подвижностью в почвах, легко поглощаются растениями, накапливаются в них. Нормальным считается содержание кадмия в растениях в пределах 0,05-0,2 мг/кг, а

максимально допустимым – 3 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Содержание кадмия в растениях на исследованных ПП колеблется от <0,05 до 0,52 мг/кг, что не превышает допустимые значения.

Никель. Средние показатели содержания никеля в растениях составляют 0,05-5 мг/кг сухой массы (Микроэлементы. Никель, 2021). При увеличении содержания этого элемента в растениях, развиваются признаки токсичности – тормозится рост растений, нарушается метаболизм. Концентрация никеля в растениях на всех исследованных ПП колеблется от 0,1 до 2,00 мг/кг и находится в пределах нормы.

Кобальт. Кобальт накапливается в пыльце и ускоряет ее прорастание, участвует в ауксиновом обмене, т.е. стимулирует процессы роста растений (в т.ч. способствует растяжению клеточных оболочек). Этот металл участвует в клеточной репродукции листьев (увеличение толщины и объема мезофилла, размеров и количества клеток столбчатой и губчатой паренхимы листа). Кроме того, кобальт повышает общее содержание воды в растениях, чем способствует увеличению засухоустойчивости культур. Установлено влияние кобальта на формирование и функционирование фотосинтетического аппарата растений путем концентрации хлоропластов и пигментов в листьях (Микроэлементы. Кобальт, 2021). Содержание кобальта в растениях немного и составляет 0,2-0,6 мг/кг сухого вещества (Минеев, 2006). Концентрация кобальта в растениях на всех исследованных ПП колеблется от <0,1 до 0,20 мг/кг и находится в пределах нормы.

Заключение. Таким образом, содержание исследованных тяжелых металлов (кадмия, кобальта, марганца, меди, мышьяка, никеля, свинца и цинка) в растениях в точках контроля на границе санитарно-защитной зоны, а также на аналоговых площадях в подобных контролируемых сообществах, но расположенных вне зоны воздействия находятся в пределах нормальных значений для функционирования растений, в том числе и тяжелый металл высокой токсичности – кадмий.

По результатам анализов в растениях на пробных площадках он находится в пределах допустимых концентраций. Отмечено высокое содержания марганца на девяти пробных площадках, что связано с природными особенностями папоротников и брусники обыкновенной накапливать этот элемент в своих тканях. Такие высокие концентрации марганца в растениях являются наследством закрепленными. В связи с этим, содержание тяжелых металлов в растениях исследованной территории позволяет говорить о том, что на момент разработки Малмыжского месторождения медно-порфировых руд в окрестностях поселков Малмыж и Верхний Нерген не выявлено негативного влияния на окружающую среду.

Список литературы

- Алексеев Ю.В.* 1987. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. 142 с.
- Водяницкий Ю.Н.* 2005. Изучение тяжелых металлов в почвах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 109 с.
- Ельчинова О.А., Рождественская Т.А., Черных Е.Ю.* 2008. Микроэлементы-биофилы и тяжелые металлы в лекарственных растениях Северного Алтая // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы Международной конференции. Горно-Алтайск. Изд-во Горно-Алтайского государственного университета. С. 51-55.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 439 с.
- Кустанович И.М.* 1972. Спектральный анализ. М.: Высшая школа. 348 с.
- Леванидов Л.Я.* 1961. Марганец как микроэлемент в связи с биохимией и свойствами таннидов. Челябинск: Челябинское кн. изд. 187 с.
- Мальгин М.А.* 1978. Биогеохимия микроэлементов в горном Алтае. Новосибирск: Наука. 272 с.
- Мальгин М.А., Пузанов А.В., Ельчинова, Горюнова Т.А.* 1995. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих лекарственных растениях Алтая // Сибирский экологический журнал. № 6. С. 510-514.
- Методика* выполнения измерений массовой доли тяжелых металлов в твердых пробах (почвы, пробы растительного происхождения) методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. 2005. М. 31 с.
- Микроэлементы. Кобальт. URL: <https://agrostory.com/infocentre/agronomists/mikroelementy-kobalt>. (дата обращения: 21.02.2022).
- Микроэлементы. Никель. URL: <https://agrostory.com/infocentre/agronomists/mikroelementy-nikel>. (дата обращения: 21.02.2022).
- Минеев В.Г.* 2006. Микроэлементы // Агрохимия. М.: Изд-во: МГУ. 752 с.
- Мостальгина Л.В., Костин А.В., Бухтояров О.И., Мостальгин А.Г.* 2014. Сорбция ионов меди, кадмия и цинка бентонитовой глиной из растворов при индивидуальном и совместном присутствии // Конденсированные среды и межфазные границы. Т. 16. № 3. С. 304-309.
- Шаназарова А.С., Ахматова А.Т.* 2015. Оценка содержания тяжелых металлов в растениях хвостохранилища п. Сумсар (Джалал-абадская область) // Вестник КРСУ. Т. 15. № 1. С. 165-167.
- Baker A.J.M.* 1981. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals // J. Plant Nutr. V. 3. № 1/4. P. 643-654.

**EVALUATION OF THE CONTENT OF HEAVY METALS
IN PLANTS OF THE DEVELOPMENT ZONE
OF THE MALMYZH DEPOSIT OF COPPER-PORPHYROUS ORES
IN THE SURROUNDINGS OF THE VILLAGES
OF MALMYZH AND UPPER NERGEN (Khabarovsk Krai)**

T.N. Motorykina

Khabarovsk federal research center of the Far Eastern Branch RAS, Khabarovsk
Institute of Water and Ecology Problems of the Far Eastern Branch of the Russian
Academy of Sciences, Khabarovsk

The paper presents the results of the analysis of the content of heavy metals (cadmium, cobalt, manganese, copper, arsenic, nickel, lead and zinc) in plants in 14 combined plant samples collected in the development zone of the Malmyzhskoe deposit of porphyry copper ores at control points at the border of the sanitary-protection zone, as well as in analogue areas in similar controlled communities outside the impact zone. The concentrations of the studied elements in the plants of most of the test plots are within the acceptable range, which does not cause the normal functioning of plants, including a heavy metal of high toxicity - cadmium. According to the results of analyzes in plants on trial sites, it is within the permissible concentrations. On nine test plots, a high content of manganese was noted, which is associated with the natural characteristics of ferns and common lingonberries to accumulate this element in their tissues. Such high concentrations of manganese in plants are heritable.

Keywords: *heavy metals, pollutants, Malmyzhskoye deposit, gross content, plant samples.*

Об авторе:

МОТОРЫКИНА Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии растительности, ФГБУН Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, 680021, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; e-mail: tanya-motorykina@yandex.ru.

Моторыкина Т.Н. Оценка содержания тяжелых металлов в растениях зоны разработки Малмыжского месторождения медно-порфировых руд в окрестностях поселков Малмыж и Верхний Нерген (Хабаровский край) / Т.Н. Моторыкина // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. № 3(67). С. 170-178.