

СТАТЬИ

УДК 550.47(575.2)

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Калдыбаев Б.К., Арбаев Т.К., Арбаев К.А.

*Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Каракол,
e-mail: kbakyt387@gmail.com, arbaetologon@mail.ru, arbaevkalys00@mail.ru*

Цель исследования заключалась в оценке уровней накопления олова и других микроэлементов в почвенно-растительном покрове восточной части Иссык-Кульской области. Пробы почв и растений были отобраны в долининной, предгорной и высокогорной зонах региона. Всего было проанализировано 36 проб почв и 24 пробы растений. Содержание микроэлементов в почвах и растениях определяли методом эмиссионного спектрального анализа, статистическую обработку данных выполняли с использованием программы StataMP-64. Результаты исследования показали, что концентрации олова в почвах и растительности долининной и предгорной зон варьируют в пределах естественных показателей. Содержание других микроэлементов, таких как Cu, Zn, Pb, Cd, также соответствует фоновым значениям и не представляет угрозы для сельскохозяйственной продукции. Особый интерес представляет высокогорная зона региона, где находится ряд месторождений олова, триоксида вольфрама, полиметаллов. Оловянные жилы здесь встречаются редко, их мощность составляет от нескольких до несколько десятков сантиметров, а концентрации олова в почвах относительно низкие, не установлено ярко выраженной биогенной миграции микроэлемента в растениях. С экологической точки зрения данный регион представляет интерес в связи с уникальной ассоциацией редких химических элементов в природных объектах.

Ключевые слова: содержание, олово, микроэлементы, тяжелые металлы, почва, растение, олово-вольфрамовое месторождение

**MICROELEMENTS IN SOILS AND PLANTS
OF THE EASTERN PART OF ISSYK-KUL REGION**

Kaldybaev B.K., Arbaev T.K., Arbaev K.A.

*K. Tynystanov Issyk-Kul State University, Karakol,
e-mail: kbakyt387@gmail.com, arbaetologon@mail.ru, arbaevkalys00@mail.ru*

The aim of the research was to investigate the accumulation levels of tin and other microelements in soils and plants in the eastern Issyk-Kul region. Soil and plant samples were collected in the valley, foothill and highland zones of the study region. A total of 36 soil samples and 24 plant samples were analyzed. Microelements in soil and plant samples were determined by emission spectral analysis; statistical processing of the results was carried out using the StataMP-64 application program. According to the research results, it was established that the tin content in the soil and plant cover of the valley and foothill zones varies within the natural indicators. The content of other microelements (Cu, Zn, Pb, Cd) in the soil varies within the background values and does not pose a danger to plant products. Of particular interest is the highland zone of the region, where a number of deposits of tin, tungsten trioxide, and polymetals are located. Tin veins are rare here, their thickness ranges from several to several tens of centimeters, and tin concentrations in soils are relatively low, no pronounced biogenic migration of the microelement in plants has been established. From an ecological point of view, this region is of interest due to the unique association of rare chemical elements in natural objects.

Keywords: content, tin, microelements, heavy metals, soil, plant, tin-tungsten deposit

Введение

Тяжелые металлы являются одним из загрязнителей, оказывающих значительное влияние на природные экосистемы. Несмотря на то что многие из них необходимы для жизнедеятельности организмов как микроэлементы, их накопление в окружающей среде и загрязнение биосферы ведут к негативным последствиям для природных экосистем [1, с. 39]. За последние годы было опубликовано множество исследований, посвященных распространению тяжелых металлов, их миграции, накоплению и влиянию на живые организмы [2, 3, 4]. Среди них олово представляет

особый интерес, его широкое использование в промышленности приводит к постоянному увеличению объемов добычи и вместе с тем к загрязнению в окружающей среды [5, 6].

Целью исследования явилось изучение уровней накопления олова и других микроэлементов в почвенно-растительном покрове природно-техногенных экосистем восточной части Иссык-Кульской области.

Материал и методы исследования

Для исследования содержания олова и других микроэлементов были отобраны образцы почвы и растительности иссле-

дуемого региона. Отбор почвенных проб проводился в соответствии с нормативами ГОСТ 17.4.4.02-84 [7]. Растительные образцы были взяты с тех же участков, что и почвенные. Всего было проанализировано 36 почвенных и 24 растительные пробы. Содержание микроэлементов в почвах и растениях определяли методом эмиссионного спектрального анализа в центральной лаборатории Министерства природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы StataMP-64.

Результаты исследования и их обсуждение

Сведения о распределении олова в земной коре показывают его высокие концентрации в глинистых отложениях (6–10 мг/кг) и низкие – в ультраосновных и известковых породах (0,35–0,50 мг/кг). Олово образует лишь ограниченное количество собственных минералов, основным из которых является касситерит, обладающий

высокой устойчивостью к процессам выветривания. Хотя главным источником олова в почвах считаются материнские породы, его концентрация в верхних слоях почвы практически не отличается. В стандартных почвенных образцах уровень олова составляет около 4,5 мг/кг, в то время как, согласно данным А.П. Виноградова (1957), кларк олова оценивается в 10 мг/кг [8, с. 217]. Результаты исследований показали, что содержание олова в прибрежных почвах восточной части Прииссыккуля варьирует в пределах 1–2 мг/кг. В почвах города Каракол и других населенных пунктов региона содержание олова составляет 2–4 мг/кг. Существенных различий уровней накопления олова по типам почв не установлено. В укосах дикорастущих растений содержатся незначительные концентрации олова, преимущественно данный микроэлемент обнаруживается в корневой системе растений (табл. 1). Средние содержания других микроэлементов в почвах прибрежной зоны восточного Прииссыккуля представлены в таблице 2.

Таблица 1

Статистические характеристики содержания олова в почвах и растениях прибрежной зоны восточного Прииссыккуля

Вид образца	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	$V, \%$	Предел колебаний (мг/кг)
Почва	1,44±0,17	0,076	0,29	20,1	1,0–2,0
Растения (надземная часть)	0,12±0,03	0,003	0,05	41,6	0,07–0,21
Растения (корневая система)	0,20±0,03	0,003	0,05	25	0,16–0,31

Таблица 2

Средние содержания микроэлементов в почвах прибрежной зоны восточного Прииссыккуля

Микроэлемент	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	$V, \%$	Предел колебаний (мг/кг)
Mn	460±88,4	13777,7	123,6	26,7	300–700
Ni	7,4±2,1	8,4	2,9	28,6	3–12
Co	4,7±1,06	2,01	18,1	1,5	3–7
Ti	4700±799,8	112222,2	1118,0	17,0	3000–7000
V	72,0±11,9	306,6	16,6	16,5	50–90
Cr	61,0±14,7	387,7	20,6	24,2	40–90
Zr	81,0±14,7	1076,6	9690,0	32,8	50–150
Cu	20,4±6,5	75,1	9,2	32,2	12–30
Pb	24,4±7,6	103,8	10,7	31,3	12–40
Zn	69,0±33,7	2165,5	47,2	48,8	30–120

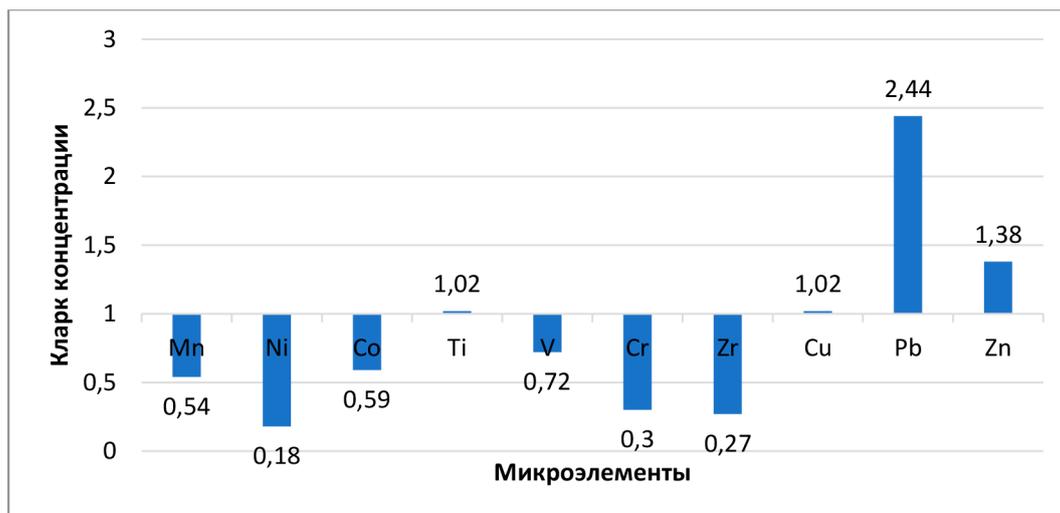


Рис. 1. Кларк концентрации микроэлементов для почв прибрежной зоны восточного Прииссыккуля

Согласно полученным результатам, содержание микроэлементов в почвах региона удовлетворяет существующим биогеохимическим критериям по отношению к кларковым значениям по А.П. Виноградову (1957). Так, например, содержание марганца, никеля, кобальта, ванадия, хрома, циркония, титана, меди, цинка варьирует в пределах показателей кларка, а свинца – выше 2,4 раз, но не превышает ПДК (32 мг/кг) в почве (рис. 1).

В последние годы было проведено множество исследований, направленных на изучение накопления микроэлементов в почвах и растительности региона. Так, Т.Э. Токтоева (2018) установила, что концентрации тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) в почвах агроэкосистем Прииссыккуля соответствуют фоновым значениям [9]. Результаты А.В. Кенжебаевой (2021) показали, что почвы восточного Прииссыккуля обладают высокой, повышенной и средней устойчивостью к загрязнению Cu, Pb, Cd. Содержание данных тяжелых металлов в почве не представляет опасности для растениеводческой продукции [10].

С давних времен высокогорный регион бассейна реки Сары-Джаз являлся перспективным центром горнорудной деятельности, где находятся ряд месторождений олова, вольфрама, полиметаллов, а также редких и рассеянных элементов. Одним из крупнейших является олово-вольфрамовое месторождение «Трудовое», находящееся в высокогорной зоне восточной части Иссык-Кульской области. Вулканогенно-терригенно-карбонатные породы прорваны массивами гранитов, вмещающих 23 руд-

ные зоны, включающие 191 жильное рудное тело. Здесь преобладают рудные тела кварц-турмалинового состава, главными рудными минералами являются касситерит, шеелит, вольфрамит. Содержание олова колеблется от 0,1 до 1,0%, триоксида вольфрама – 0,1–0,76%, флюорита – до 12,7%. Отдельные участки оловянных руд месторождения частично разрабатываются малыми предприятиями [11, с. 198]. Согласно литературным данным, в почвах в районах с оловорудной минерализацией возможно содержание микроэлементов в количестве на порядок выше по отношению к фоновым показателям [5]. Результаты исследований показали, что содержание олова в верхнем слое почвы (0–10 см) на территории олово-вольфрамового месторождения «Трудовое» колеблется от 4 до 13 мг/кг, а на некоторых участках, где складываются горные породы, концентрация олова в почве достигает 200 мг/кг [12]. Предполагается, что в результате эрозионных процессов происходит частичное перемещение мелкообломочного материала горных пород с территории месторождения на более низкие участки рельефа, где в отдельных пробах почвы наблюдается увеличение содержания олова, а также других микроэлементов: никеля, кобальта, меди, свинца и висмута. Важно отметить, что содержание олова и свинца в почве тесно коррелирует ($r=0,96$), что указывает на взаимосвязь концентраций данных элементов. В растениях, произрастающих на территории месторождения, концентрация олова в наземной части варьирует в пределах 3–8 мг/кг, а в корневой системе – от 5 до 20 мг/кг (табл. 3).

Таблица 3

Статистические характеристики содержания олова
в почвах и растениях олово-вольфрамового месторождения «Трудовое»

Вид образца	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	$V, \%$	Предел колебаний (мг/кг)
Почва	7,6±4,6	14,3	3,7	48,6	4–13
Растения (укос)	4,6±2,8	5,3	2,3	50	3–8
Растения (корневая система)	10,8±8,8	50,7	7,1	65,7	5–20

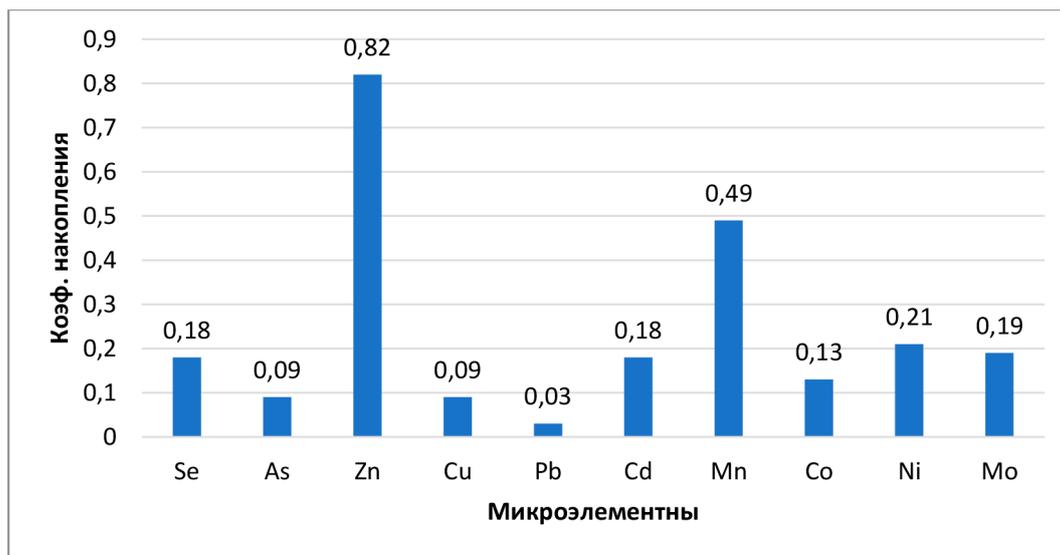


Рис. 2. Коэффициенты накопления микроэлементов
в укосах растений бассейна реки Сары-Джаз

Результаты исследований показали, что апробированные виды растений накапливают микроэлементы в различных концентрациях. Необходимо отметить, что олово накапливается в основном в корневой системе растений относительно их надземной части. Согласно рассчитанному критерию Стьюдента (t), среднее содержание олова в растениях, произрастающих на территории месторождения, статистически достоверно превышает содержание олова в растениях прибрежной зоны восточного Прииссыккуля: для корневой системы $t=3,64$ ($p<0,05$), для надземной части $t=4,3$ ($p<0,05$). В растительных образцах, помимо олова, присутствуют такие микроэлементы, как Be, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Pb. Уровни накопления данных элементов в растениях соответствуют установленным биогеохимическим критериям. По данным исследований Б.М. Дженбаева (2019), докембрийские углистые сланцы в бассейне реки Сары-Джаз имеют высокую концентрацию селена (10–30 мг/кг), в отдельных случаях

в почвах также фиксируются повышенные концентрации мышьяка, свинца и никеля. Для сланцев и лиддитов характерно обогащение селеном, медью и молибденом. Однако, несмотря на высокое содержание данных микроэлементов в сланцах, их участие в биогеохимическом цикле ограничено, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты накопления микроэлементов растениями, значения которых не превышают 1 (рис. 2). По результатам нейтронно-активационного анализа, почвы данного региона обогащены цирконием, сурьмой, ураном, лантаном, неодимом и рядом других редких и рассеянных элементов [13].

Специалисты лаборатории биогеохимии Института биологии НАН КР провели исследование по изучению микроэлементного состава разных видов растений, собранных на Сары-Джазских сыртах. Результаты исследования показали, что уровень накопления микроэлементов в доминантных видах растений региона изменяется в зависимости от условий их произрастания. В горно-

луговых условиях все изученные растения отличались повышенным содержанием меди (Cu) и низким содержанием кобальта (Co) и молибдена (Mo). Уровни содержания микроэлементов (Cu, Co, Mo, Ni, Pb, Zn) также различаются в экологически разнородных группах растений. Микроэлементный состав растений и почв горных склонов различается в зависимости от абсолютной высоты и экспозиции [14, с. 246].

Заключение

Результаты исследований показали, что уровень накопления олова и других микроэлементов в почвах и растительности восточной части Иссык-Кульской области соответствует естественным показателям. Особое внимание привлекает высокогорная зона данного региона, где находятся ряд месторождений олова, триоксида вольфрама, полиметаллов. Оловянные жилы мощностью до несколько десятков сантиметров и раздувы здесь редки, а содержание в почвах олова относительно невысокое. В условиях олово-вольфрамового месторождения «Трудовое» не установлено ярко выраженной биогенной миграции олова в почвенно-растительном покрове. С экологической точки зрения данный высокогорный регион представляет интерес в связи с уникальной ассоциацией редких химических элементов в природных объектах.

Список литературы

1. Абрамов Б.Н. Закономерности распределения токсичных элементов в почвах населенных пунктов горнорудных территорий Восточного Забайкалья // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геохронология. 2022. № 5. С. 39-48. DOI: 10.31857/S0869780922050022.
2. Qin M., Jin Y., Peng T., Zhao B., Hou D. Heavy metal pollution in Mongolian-Manchurian grassland soil and effect of long-range dust transport by wind. *Environment International*. 2023. Vol. 177. No. 108019. DOI: 10.1016/j.envint.2023.108019.
3. Feng J., Ai H., Chen Q., Li H., Wang W., Xue Z. Evaluation and Migration Path Analysis of Soil Heavy Metal Pollution in a Metal Mining Area of Qinling Mountain // *Rock and Mineral Analysis*. 2023. Vol. 42. No. 6. P. 1189-1202. DOI: 10.15898/j.ykcs.202302170021.
4. Manyiwa T., Ultra V.U., Rantong G. Heavy metals in soil, plants, and associated risk on grazing ruminants in the vicinity of Cu-Ni mine in Selebi-Phikwe, Botswana // *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. Vol. 44. No. 5. P. 1633-1648. DOI: 10.1007/s10653-021-00918-x.
5. Ивашов П. В. Биогеохимическая провинция олова в южной части Дальнего Востока России // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2021. № 2(216). С. 55-62. DOI: 10.37102/0869-7698_2021_216_02_06.
6. Арбаев Т.К., Калдыбаев Б.К., Арбаев К.А., Касымбеков Р.К. Содержание олова в горных экосистемах Иссык-Кульской области // *Вестник Международного университета Кыргызстана*. 2021. № 2(43). С. 40-44.
7. ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. 2018, 10 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://fsvps.gov.ru/files/gost-17-4-4-02-2017-mezhgosudarstvennyj-standart/> (дата обращения: 08.08.2024).
8. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 219 с.
9. Токтоева Т.Э. Эколого-радиобиогеохимическая оценка почвенно-растительного комплекса агроэкосистем Прииссыккуля: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Бишкек, 2018. 25 с.
10. Кенжебаева А.В. Эколого-биогеохимическая оценка почвенно-растительного покрова прибрежной зоны восточного Прииссыккуля: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Бишкек, 2022. 21 с.
11. Никаноров В.В. Рудные месторождения Кыргызстана. Бишкек, 2009. 482 с.
12. Арбаев Т.К., Калдыбаев Б.К. Биогенная миграция микроэлементов в почвенно-растительном покрове г. Каракол // *Исследование живой природы Кыргызстана*. 2021. № 1. С. 49-52.
13. Дженбаев Б.М., Ермаков В.В., Дыйканов К., Иманталы к.К. Биогеохимические особенности селена в природно-техногенных ландшафтах (Кыргызстан) // *Доклады Национальной академии наук Кыргызской Республики*. 2019. № 1. С. 45-49.
14. Дженбаев Б.М. Биогеохимия горных экосистем Кыргызстана // *Современные тенденции развития биогеохимии. Труды Биогеохимической лаборатории*. Т. 25. М.: ГЕОХИ РАН, 2016. С. 237-250.