

СТАТЬЯ

УДК 550.47(575.2)

СВИНЕЦ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Ибраева К.Б., Арбаев Т.К., Калдыбаев Б.К., Аканов Д.К.

Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Каракол,

e-mail: kymbat-i@rambler.ru, arbaetologon@mail.ru,

kbakyt387@gmail.com, akanov.doolot@iksu.kg

Целью настоящего исследования являлось изучение уровня накопления свинца и ряда микроэлементов (Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Zr, Cu, Sn, Zn) в почвенном покрове и растительности восточной части Иссык-Кульской области. Отбор проб осуществлялся в различных природных зонах – от долин до предгорий и высокогорий. В ходе работы было проанализировано 30 образцов почвы и 20 образцов растительных материалов. Элементный состав определялся методом эмиссионного спектрального анализа. Результаты исследований показали, что концентрация свинца в почвах и растениях, как правило, находится в пределах фоновых значений. Среди антропогенных факторов, способствующих поступлению свинца в экосистему, выделяются выбросы автомобильного транспорта. Согласно статистике, около 66% автомобилей в стране имеют возраст более 15 лет и приближаются к предельному сроку эксплуатации. Проведённый мониторинг выявил, что уровень свинца в почвах города Каракол не превышает допустимых норм, однако на участках дорог с интенсивным транспортным потоком зафиксировано локальное повышение его содержания. В связи с этим развитие экологически чистого общественного транспорта в регионе приобретает особую важность для снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова: содержание, свинец, микроэлементы, тяжелые металлы, почва, растение

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

Ibraeva K.B., Arbaev T.K., Kaldybaev B.K., Akanov D.K.

K. Tynystanov Issyk-Kul State University, Karakol,

e-mail: kymbat-i@rambler.ru, arbaetologon@mail.ru,

kbakyt387@gmail.com, akanov.doolot@iksu.kg

The aim of this study was to investigate the accumulation level of lead and a number of microelements (Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Zr, Cu, Sn, Zn) in the soil cover and vegetation of the eastern part of the Issyk-Kul region. Sampling was carried out in various natural zones – from valleys to foothills and highlands. In the course of the work, 30 soil samples and 20 samples of plant materials were analyzed. The elemental composition was determined by the method of emission spectral analysis. The results of the studies showed that the concentration of lead in soils and plants, as a rule, is within the background values. Among the anthropogenic factors contributing to the entry of lead into the ecosystem, emissions from motor vehicles stand out. According to statistics, about 66% of cars in the country are over 15 years old and are approaching the maximum service life. The monitoring revealed that the lead level in the soils of the city of Karakol does not exceed the permissible norms, however, on sections of roads with intensive traffic flow, a local increase in its content was recorded. In this regard, the development of environmentally friendly public transport in the region is of particular importance for reducing the man-made load on the environment.

Keywords: content, lead, trace elements, heavy metals, soil, plant

Введение

Тяжёлые металлы являются одной из приоритетных групп элементов, так как, несмотря на их важность для жизнедеятельности организмов в качестве микроэлементов, их избыточное накопление в компонентах окружающей среды способно вызвать негативные последствия для экосистем [1, с. 12]. В последние годы было проведено множество исследований, посвящённых распространению, миграции, накоплению и влиянию тяжёлых металлов на живые организмы. Особое внимание уделяется свинцу, поскольку его активное использование в промышленности способствует постоянному увеличению объёмов добычи,

что в свою очередь приводит к загрязнению окружающей среды. Несмотря на значительное сокращение использования свинца в ряде отраслей, включая отказ от свинцового бензина в большинстве стран, его накопленный экологический след и продолжающееся применение в некоторых регионах мира сохраняют проблему актуальной [2; 3]. Иссык-Кульская область Киргизии, находясь в пределах своих административных границ, считается биосферной зоной. Её ключевая задача – обеспечить гармоничное социально-экономическое развитие, при этом строго соблюдать экологические стандарты для сохранения биоразнообразия, природных ландшафтов и экосистем

[4]. В связи с высокой чувствительностью экосистем восточной части Иссык-Кульского региона к воздействию антропогенных факторов особое значение приобретает осуществление экологического мониторинга, направленного на исследование уровня содержания, процессов накопления и перемещения тяжёлых металлов в различных природных компонентах.

Целью исследования явилось изучение степени накопления свинца и других микроэлементов (Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Zr, Cu, Sn, Zn) в почвенно-растительном покрове восточной части Иссык-Кульского региона.

Материал и методы исследования

Для изучения уровней накопления свинца и других микроэлементов был проведен отбор проб почвы и растений в долиненной, предгорной и высокогорной зонах региона. Почвенные образцы отбирались в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02-2017 [5]. Для определения содержания ТМ в растениях был произведен отбор средних проб (уко́с) из местной флоры. Подготовка проб осуществлялась на основе методических рекомендаций, применяемых в практике экологического мониторинга. Определение концентрации микроэлементов проводилось с использованием метода эмиссионного спектрального анализа в центральной лаборатории Министерства природных ресурсов, экологии и технического надзора Киргизской Республики. В рамках исследования было проанализировано 30 почвенных проб и 20 образцов растительности. Анализ полученных данных проводился с использованием общепринятых методов вариационной статистики, включая обработку абсолютных и относительных значений. Для количественной оценки содержания микроэлементов в почвенном материале применялся коэффициент концентрации Кк, рассчитываемый как соотношение фактического содержания элемента в почве к его среднему содержанию, установленному по данным А.П. Виноградова [6, с. 217]. Кроме того, степень загрязнённости почвы определялась с помощью коэффициента загрязнения (Contamination Factor – CF), который определяется по формуле:

$$CF = C_{mSample} / C_{mBackground},$$

где $C_{mSample}$ – это содержание металла в почвенном образце, а $C_{mBackground}$ – его фоновая концентрация. В зависимости от полученных значений коэффициента CF выделяются следующие категории:

$CF < 1$ – низкий уровень загрязнения,
 $1 \leq CF < 3$ – умеренный уровень загрязнения,

$3 \leq CF < 6$ – высокий уровень загрязнения,
 $CF > 6$ – крайне высокий уровень загрязнения.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение распределения свинца в земной коре показывает, что его концентрации наиболее высоки в глинистых породах, где они могут достигать от 10 до 40 мг/кг. В то же время в ультраосновных и известковых породах уровень содержания значительно ниже – в пределах 0,1–10 мг/кг. Естественное присутствие свинца в почвенном слое напрямую связано с минеральным составом материнских пород. Однако в условиях растущей техногенной нагрузки, особенно в верхних горизонтах почвы, наблюдается увеличение его концентрации, вызванное антропогенными источниками загрязнения. Несмотря на обилие научных данных о распределении свинца в почвах, всё ещё остаётся сложной задачей чётко разграничить природный фон и антропогенное загрязнение. По информации, приведённой в работах А.П. Виноградова, средняя концентрация свинца в поверхностных почвах на планетарном уровне составляет около 25 мг/кг, при этом кларковское значение – 10 мг/кг. В растительных тканях, как правило, содержание свинца варьирует в пределах 1–10 мг/кг в пересчёте на зольную массу [7, с. 229]. В Киргизской Республике санитарные нормы устанавливают предельно допустимую концентрацию (ПДК) свинца в почве на уровне 32 мг/кг [8]. Согласно почвенно-географической классификации Киргизии, восточная часть Иссык-Кульского региона входит в состав Иссык-Кульской подпровинции и относится к Восточно-Прииссыккульскому почвенному округу. Здесь распространены такие типы почв, как каштановые, черноземные, а также полугидроморфные и гидроморфные. На исследуемой территории преобладают темно- и светло-каштановые горно-долинные почвы, а также песчаные аллювиальные отложения.

Результаты исследования показали, что уровень свинца в прибрежных почвах восточной части Иссык-Куля находится в диапазоне 12–30 мг/кг, что укладывается в рамки нормативных требований. В зависимости от почвенного типа были зафиксированы следующие значения: в темно-каштановых горно-долинных почвах – 30 мг/кг, в светло-каштановых – 23 мг/кг, а в аллювиальных песчаных почвах – минимальные значения на уровне 12 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1

Статистические характеристики содержания свинца в почвах и растениях прибрежной зоны восточного Прииссыккуля (составлено автором)

Вид образца	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	$V, \%$	Предел колебаний (мг/кг)
Почва	24,4±10,3	69,6	8,3	34,2	12-30
Растения (надземная часть)	3,4±1,8	2,3	1,5	44,7	1-5
Растения (корневая система)	6±3,3	10	3,1	32,7	2-10

В растительных образцах надземной части зафиксированы лишь небольшие концентрации свинца (1–10 мг/кг), поскольку основной его запас сосредоточен в корневой системе. Например, у тьянь-шаньской полыни (*Artemisia tianshanica*) содержание элемента варьировало в зависимости от типа почвы. У полыни эстрагон (*Artemisia dracunculus*), произрастающей на светло-каштановых горно-долинных почвах, обнаружено 8 мг/кг, тогда как на тёмно-каштановых – 12 мг/кг. В зерне озимой пшеницы (*Triticum aestivum*), собранной на светло-каштановых почвах, концентрация свинца составила 0,32 мг/кг в расчёте на сухую массу. Уровень других микроэлементов, таких как марганец, никель, кобальт, ванадий, хром, цирконий, титан, медь и цинк, соответствует природным показателям. Вероятно, незначительные колебания содержания микроэлементов в почвенно-растительном покрове обусловлены геохимическими особенностями почвообразующих пород, а также влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

Индекс загрязнения почвы свинцом (CF) равен 2, что указывает на умеренный уровень загрязнения этим микроэлементом. Поскольку свинец и другие тяжелые металлы имеют способность накапливаться в почве и сохраняться там на протяжении длительного времени, такие изменения могут существенно повлиять на качество почвы, биологические процессы, протекающие в ней, а также в перспективе отразиться на экологическом состоянии региона. В связи с этим возникает необходимость в регулярном проведении экологического мониторинга для оценки текущей ситуации и предотвращения негативных последствий.

В последние годы было проведено множество научных работ, посвящённых исследованию процессов накопления микроэлементов в почвах и растительном покрове исследуемого региона. Так, в работе Токтовой Т.Э. было установлено, что уровень тяжёлых металлов (таких, как свинец, кадмий, медь и цинк) в почвах агроэкосистем Прииссыккульского региона соответствует фоновым значениям, характерным для дан-

ной местности [9, с. 14]. Согласно результатам, полученным Кенжебаевой А.В., почвы восточной части Прииссыккуля демонстрируют различную степень устойчивости к загрязнению тяжёлыми металлами, в частности медью, свинцом и кадмием. При этом установлено, что их концентрации не превышают допустимые уровни и не оказывают негативного влияния на качество сельскохозяйственной продукции [10, с. 8]. Исследование Тотубаевой Н.Э. показало, что содержание свинца в почвах различных природных зон Иссык-Кульской области варьируется в пределах 21,7–32,0 мг/кг. Наивысшие показатели зарегистрированы вблизи промышленных объектов и в районах, подвергшихся воздействию автотранспорта и активной аграрной деятельности [11, с. 14].

Горные районы Иссык-Кульской области представляют значительный научный интерес в связи с выявлением полиметаллических залежей, где основная форма свинца представлена минералом галенитом (PbS). Установлено, что уровень содержания свинца в почвах тесно связан с минеральным составом материнских пород. Исследования показали, что горнолесные почвы, расположенные вблизи свинцово-полиметаллических рудников в бассейне реки Джергалан, способны накапливать свинец в гумусовом горизонте в количествах, превышающих кларковские значения в 7–15 раз. Кроме того, в ряде почвенных проб были выявлены повышенные уровни меди и цинка по сравнению с природным фоном. Что касается растительности, произрастающей на территории месторождения, то в большинстве случаев содержание свинца в её тканях остаётся в пределах фоновых показателей. Однако определённые виды растений, такие как аконит джунгарский (*Aconitum soongaricum*), манжетка низкостебельная (*Alchemilla humilicaulis*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*) и чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum*), проявляют способность к аккумуляции свинца в корневой системе, при этом его концентрация может превышать кларковское значение (10 мг/кг).

Согласно литературным источникам, одним из основных техногенных факторов загрязнения окружающей среды свинцом являются выхлопные газы автотранспорта, где этот металл содержится в виде галогенидных солей, таких как $PbBr_2$, $PbBrCl$, $Pb(OH)Br$, $(PbO_2)PbBr_2$ [7, с. 230]. По экспертным оценкам, около 70% всех загрязняющих веществ в атмосферу Киргизии поступает именно от передвижных источников, и эта тенденция продолжает расти. Следует отметить, что уровень выбросов напрямую связан с техническим состоянием транспортных средств и их возрастом. Статистические данные показывают, что около 66% автомобилей в республике исчерпали свой ресурс, так как эксплуатируются более 15 лет, а значительная часть автотранспорта была ввезена с пробегом свыше 10 лет [12].

Результаты исследований свидетельствуют, что содержание свинца в почвах Каракола не превышает предельно допустимую концентрацию (32 мг/кг), однако на участках с интенсивным движением автотранспорта в поверхностном слое почвы фиксируется его увеличение до 0,94 ПДК. Также установлено превышение кларка по Виноградову А.П. в 3 раза, а коэффициент загрязнения (CF) достиг 2,2, что соответствует умеренному уровню загрязнения. Анализ элементного состава растений Каракола показал, что содержание таких микроэлементов, как Pb, Cu, Co, Mo, Zn, Ni, находится в пределах естественных показателей. При этом установлено, что зола хвои и листья деревьев аккумулирует больше микроэлементов по сравнению с травянистыми растениями. В условиях интенсивного трафика в коре, хвое и листьях деревьев фиксируется незначительное накопление свинца.

Вероятно, с ростом численности населения и увеличением автопарка техногенная нагрузка на окружающую среду будет возрастать. В этом контексте развитие концепции зелёного транспорта в рамках цели устойчивого развития № 11 «Устойчивые города и населённые пункты» приобретает особое значение.

Заключение

Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о том, что концентрации свинца и ряда других микроэлементов в почвах и растительности на территории города Каракол соответствуют фоновым значениям, характерным для природной среды. Однако в районах, расположенных вблизи перекрёстков центральных улиц с интенсивным движением транспорта, за-

фиксирован локальный рост концентрации свинца в почве. С увеличением числа автомобилей в регионе техногенная нагрузка на окружающую среду, очевидно, будет возрастать. Поэтому внедрение доступного, комфортного и экологически чистого общественного транспорта в Караколе необходимо для повышения качества жизни горожан и охраны окружающей среды. Рост численности населения и количества автомобилей провоцирует пробки, загрязнение воздуха и увеличение транспортных расходов. Использование электрического и альтернативного транспорта, оптимизация маршрутов и внедрение современных систем оплаты проезда позволят снизить нагрузку на дороги, сократить выбросы вредных веществ и сделать передвижение по городу более удобным и доступным. Это станет важным шагом на пути к устойчивому развитию города Каракол.

Список литературы

1. Черных Н.А. Тяжелые металлы в экосистемах различных регионов мира. М.: МГИМО, 2024. 225 с.
2. 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 Yankuang Ceshi // *Rock and Mineral Analysis*. 2023. Vol. 42. № 6. P. 1189-1202. DOI: 10.15898/j.ykcs.202302170021.
3. 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. № 5. P. 1633-1648. DOI: 10.1007/s10653-021-00918-x. EDN SOPGXC.
4. Калдыбаев Б.К., Ибраева К.Б., Бекишова А.Н., Кочорова Н.К. Эколого-биогеохимические исследования почв города Каракол // *Известия ВУЗов Кыргызстана*. 2023. № 1. С. 79-82.
5. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. 2018, 10 с.
6. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 219 с.
7. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
8. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации и ориентировочно допустимые количества химических веществ в почве». 2016, 13 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. Тотубаева Н.Э. Водные и почвенные факторы устойчивого развития севера Кыргызстана: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Бишкек, 2025. 44 с.
12. Аканов Д.К., Жакыпов Н.Ж. Зеленый транспорт как один из путей достижения устойчивого развития городов // *Известия НАН КР*. 2022. № 5. С. 28-32.