

СОДЕРЖАНИЕ ОЛОВА В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Б.К. Калдыбаев, Т.К. Арбаев

Иссык-Кульский государственный университет, Каракол, Кыргызстан

kbaky1387@gmail.com; arbaetologon@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты уровней накопления олова и других микроэлементов в почвенно-растительном покрове природно-техногенных экосистем восточной части Иссык-Кульской области. Проанализировано 36 почвенных и 24 растительных проб, отобранных на участках с различными геоморфологическими и геохимическими характеристиками. Определение содержания микроэлементов осуществлялось методом эмиссионного спектрального анализа. Для оценки степени загрязнения применялись общепринятые геохимические индикаторы: коэффициент загрязнения (CF), индекс геоаккумуляции (I_{geo}), коэффициент обогащения (EF), индекс нагрузки загрязнения (PLI) и показатель потенциального экологического риска (PER). Статистическая обработка данных проведена с использованием программного обеспечения StataMP-64. Результаты исследования показали, что содержание олова в большинстве почвенных образцов варьирует в пределах фоновых значений, а расчётные значения всех индексов свидетельствуют об отсутствии техногенного загрязнения и низком уровне экологического риска. В высокогорной зоне бассейна реки Сары-Джаз выявлено локальное обогащение почв медью, молибденом, цинком и кобальтом, связанное с природными геохимическими особенностями материнских пород. Несмотря на наличие оловорудных месторождений, концентрации олова в почве относительно низкие, его миграционная способность в растения ограничена, что свидетельствует о низкой биоусвояемости и слабой тенденцией к трансформации в доступные для растений формы.

Ключевые слова: олово, микроэлементы, содержание, почва, растение, оловорудные месторождения

ЫСЫК-КӨЛ ОБЛУСУНУН ЧЫГЫШ БӨЛҮГҮНДӨГҮ ТОПУРАК-ӨСҮМДҮК КАПТАМАСЫНДАГЫ КАЛАЙДЫН КУРАМЫ

Б.К. Калдыбаев, Т.К. Арбаев

Ысык-Көл мамлекеттик университети, Каракол, Кыргызстан

Аннотация. Макалада Ысык-Көл облусунун чыгыш бөлүгүндөгү жаратылыш-техногендик экосистемалардын топурак-өсүмдүк жамындында калай жана коштоочу микроэлементтердин топтолуу деңгээлдеринин жыйынтыктары берилген. Ар түрдүү геоморфологиялык жана геохимиялык өзгөчөлүктөргө ээ болгон участоктордон алынган 36 топурак жана 24 өсүмдүк үлгүлөрү талданган. Микроэлементтердин курамын аныктоо эмиссиялык спектралдык анализ ыкмасы аркылуу жүргүзүлгөн. Бузулуу деңгээлин баалоо үчүн жалпы кабыл алынган геохимиялык индикаторлор колдонулган: булгап-таштоо коэффициенти (CF), геоаккумуляция индекси (I_{geo}), байытуу коэффициенти (EF), булгоо жүгүн баалоо индекси (PLI) жана потенциалдуу экологиялык коркунуч көрсөткүч (PER).

Сандык маалыматтар StataMP-64 программалық камсыздоосу аркылуу статистикалык иштетүүдөн өткөрүлгөн. Изилдөөнүн жыйынтыктары көрсөткөндөй, көпчүлүк топурак үлгүлөрүндө калайдын курамы фондук маанилердин чегинде өзгөрөт, ал эми эсептелген индекстер техногендик булгоонун жоктугун жана экологиялык коркунучтун төмөн денгээлин тастыктайт. Сары-Жаз дарыясынын алабынын тоолуу зонасында топурактардын жез, молибден, цинк жана кобальт менен локалдуу байышы аныкталган, бул материндик тоо тектеринин жаратылыш геохимиялык өзгөчөлүктөрү менен байланыштуу. Калай кендеринин болушуна карабастан, топурактагы калайдын концентрациясы салыштырмалуу төмөн болуп, анын өсүмдүктөргө миграциялык жөндөмү чектелүү экендиги аныкталган. Бул болсо анын биожеткиликтүүлүгү төмөн экенин жана өсүмдүктөргө жеткиликтүү формаларга етүү тенденциясы алсыз экенин көрсөтөт.

Негизги сөздөр: калай, микроэлементтер, курамы, топурак, өсүмдүк, калай кендери.

TIN CONTENT IN THE SOIL-VEGETATION COVER OF THE EASTERN PART OF ISSYK-KUL REGION

B.K. Kaldybaev, T.K. Arbaev

Issyk-Kul State University, Karakol, Kyrgyzstan

Abstract. The article presents the results of the accumulation levels of tin and associated trace elements in the soil-vegetation cover of the natural-technogenic ecosystems of the eastern part of the Issyk-Kul Region. A total of 36 soil and 24 plant samples collected from sites with various geomorphological and geochemical characteristics were analyzed. The determination of trace element content was carried out using the method of emission spectral analysis. To assess the degree of contamination, commonly accepted geochemical indicators were applied: contamination factor (CF), geoaccumulation index (I_{geo}), enrichment factor (EF), pollution load index (PLI), and potential ecological risk index (PER). Statistical data processing was performed using StataMP-64 software. The results of the study showed that the tin content in most soil samples varies within background values, and the calculated indices indicate the absence of technogenic pollution and a low level of ecological risk. In the high-mountain zone of the Sary-Jaz River basin, local enrichment of soils with copper, molybdenum, zinc, and cobalt was revealed, which is associated with the natural geochemical features of the parent rocks. Despite the presence of tin ore deposits, the concentrations of tin in the soil are relatively low, its migration into plants is limited, indicating low bioavailability and a weak tendency to transform into forms accessible to plants.

Key words: tin, trace elements, content, soil, plant, tin ore deposits

Загрязнение почв тяжёлыми металлами является одной из наиболее острых экологических проблем современности. Тяжёлые металлы, такие как свинец, кадмий, медь, цинк, ртуть и мышьяк, относятся к устойчивым загрязнителям окружающей среды из-за их неспособности к разложению, длительного воздействия на экосистемы и способности к биоаккумуляции в пищевых цепях изменять химические свойства почвы, снижать урожайность сельскохозяйственных культур и представлять серьёзную угрозу для здоровья человека и биосфера. За последние десятилетия как в мировой, так и в отечественной науке проводятся множество исследований, направленных на изучение распределения, миграции и экологических последствий тяжёлых металлов в окружающей среде [1, 5, 11, 12, 13, 14,

15, 16]. В горных и аграрных регионах, таких как Кыргызстан, проблема накопления тяжёлых металлов в почвах приобретает особую актуальность из-за уязвимости горных экосистем и зависимости населения от земельных ресурсов в вопросах продовольственной безопасности [4, 6, 9]. Исследования проведенные Н.Э. Тотубаевой [10] показали, что содержания тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Cd) в почвах Иссык-Кульской области не превышает установленных предельно допустимых концентраций, однако необходим систематический мониторинг за уровнем их накопления в объектах окружающей среды [10]. Особое внимание в данном контексте заслуживает олово, в условиях активного освоения и эксплуатации оловорудных месторождений, в чувствительных горных и предгорных ландшафтах, изучение биогеохимического поведения олова, уровней его накопления и степени оценки техногенного загрязнения становится актуальным аспектом. Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования является оценка уровней накопления олова и сопутствующих микроэлементов в почвенно-растительном покрове природно-техногенных экосистем восточной части Иссык-Кульской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для исследования содержания микроэлементов были отобраны образцы почвы в восточной части Иссык-Кульской области. Отбор почвенных и растительных проб проведен в соответствии с общими требованиями экологического мониторинга [3]. В общей сложности было проанализировано 36 почвенных и 24 растительных пробы. Содержание микроэлементов в почве и растениях определялось методом эмиссионного спектрального анализа в Центральной лаборатории Министерства природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения StataMP-64. Для оценки уровней накопления микроэлементов в почвенном покрове использовались кларковые значения по А.П. Виноградову [2]. Были рассчитаны следующие показатели: коэффициент загрязнения (Contamination Factor), индекс геоаккумуляции (I_{geo}), коэффициент обогащения (Enrichment Factor), индекс нагрузки загрязнения (Pollution Load Index), а также показатель потенциального экологического риска (PER).

РЕЗУЛЬТАТЫ 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. Кларковое значение олова в почве составляет по Виноградову 2 мг/кг [2]. Результаты исследований показали, что содержание олова в прибрежных почвах восточной части Прииссыккулья варьирует в пределе 1-2 мг/кг. Существенных различий уровней накопления олова по типам почв не установлено (табл. 1). Концентрации других микроэлементов в почве находятся в пределах естественных показателей, незначительные превышения кларковых значений меди, свинца и цинка, по-видимому, обусловлены природными геохимическими особенностями почвообразующих пород исследуемой территории (рис. 1).

Таблица 1 Средние содержания микроэлементов в почвах прибрежной зоны восточного Прииссыккулья

Микроэлемент	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	V, %	Предел колебаний (мг/кг)
Sn	1,52±0,17	0,31	0,56	36,8	1,2-2,0
Mn	460±22,1	4886	69,9	15,2	400-500
Ni	7,4±0,4	1,9	1,4	18,9	6,5-8,5
Co	4,7±0,4	1,9	1,4	29,7	4-6
Ti	4700±221	489160	699	14,8	4000-5000
V	72,0±2,2	48,9	6,9	9,7	65-75
Cr	61,0±2,8	82,6	9,1	14,9	55-68
Zr	81,0±2,2	48,9	6,9	8,6	75-85
Cu	20,4±1,8	31,3	5,6	27,4	18-26
Pb	24,4±1,9	39,6	6,3	25,8	16-25
Zn	69,0±5,5	305,6	17,4	25,3	50-75

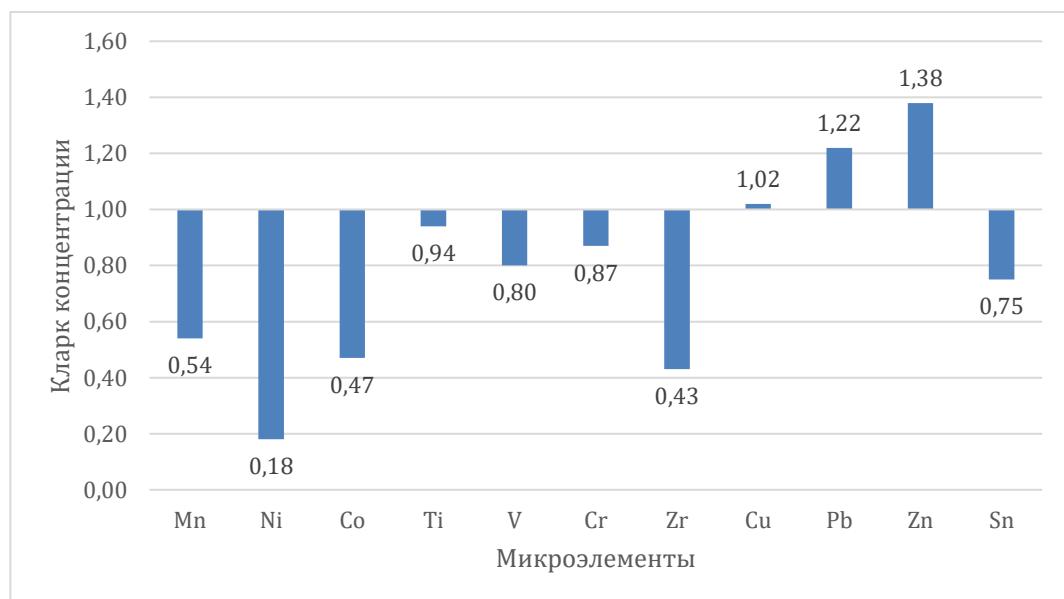


Рис. 1. Кларк концентрации микроэлементов для почв прибрежной зоны восточного Прииссыккулья

На основе результатов, представленных в таблице 1, были рассчитаны показатели экологического состояния почв прибрежной зоны восточного Прииссыккулья. Так, например, при фоновом содержании олова в почве 2 мг/кг, коэффициент загрязнения составил $CF = 0,76$, а индекс геоаккумуляции — $I_{geo} = -0,98$, что указывает на отсутствие загрязнения почв оловом. Значение коэффициента обогащения $EF = 0,97$ свидетельствует об отсутствии техногенного накопления олова в почве. Индекс нагрузки загрязнения $PLI = 0,71$ также указывает на незагрязнённое состояние почвенного покрова. Показатель потенциального экологического риска $PER = 17,5$ характеризует исследуемую территорию как зону с низким экологическим риском. Таким образом, совокупный анализ содержания

микроэлементов позволяет сделать вывод о благоприятном экологическом состоянии почв прибрежной зоны восточного Приисыккулья.

С древних времен высокогорная зона бассейна реки Сары-Джаз Иссык-Кульской области является местом сосредоточения горнодобывающих промыслов, здесь сосредоточены ряд месторождений олова, вольфрама, молибдена, полиметаллов, редких и рассеянных элементов. В экологическом плане данный субрегион биосферы представляет научный интерес в связи с уникальной ассоциацией редких химических элементов в объектах окружающей среды [4]. Высокогорья обуславливают специфические особенности почвы: маломощность (5-10 см), длительность формирования, высокую подверженность к неблагоприятным природным и антропогенным воздействиям. Почвообразование в Сары-Джазском бассейне протекает в условиях засушливого континентального климата при высокой интенсивности солнечной радиации. Здесь нет комплексности почвенного покрова. В Сары-Джазском бассейне встречаются типы почв, начиная от горно-долинных до высокогорных луговых альпийских [7]. Анализ почв и горных пород в отдельных участках бассейна Сары-Джаз выявил локально повышенное содержание цинка, меди, кобальта и молибдена (табл. 2).

Таблица 2. Средние содержания микроэлементов в почвах бассейна реки Сары-Джаз

Микроэлемент	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	V, %	Предел колебаний (мг/кг)
Sn	2,1± 0,05	0,03	0,18	8,6	1,8-2,3
Se	0,44±0,12	0,13	0,36	8,1	0,14-1,15
As	4,2±0,4	4,9	2,2	52,3	0,9-8,0
Fe	5111,3±1133,2	1,16e+07	3399,7	66,5	1972-11908
Zn	102,6 ± 10,9	1064,4	32,6	3,7	52,8-158,4
Cu	32,1 ± 3,4	101,7	10,1	31,4	20,2-39,0
Pb	9,7±0,8	5,4	2,3	23,7	6,5-13,8
Cd	0,25±0,06	0,04	0,19	7,6	0,01-0,67
Mn	284,5± 33,2	9948,9	99,7	35,0	155,3 – 444,7
Co	46,0±7,2	473,0	6,3	21,7	17,6-83,0
Ni	37,1±5,7	291,3	17,1	46,1	26,9-80,5
Mo	5,7±1,6	24,1	4,9	85,9	1,9-16,7
Sr	82,8±11,6	1213,7	34,8	42,0	41,8-126,4

На основе результатов, представленных в таблице 2, были рассчитаны показатели экологического состояния почв бассейна реки Сары-Джаз. Коэффициент загрязнения (CF) составил 1,05, индекс геоаккумуляции (I_{geo}) равен -0,51, а индекс нагрузки загрязнения (PLI) – 0,80, что свидетельствует о естественном уровне содержания олова в почвенном

покрове. Показатель потенциального экологического риска (PER), равный 97,5, указывает на низкий уровень экологического риска исследуемой территории в отношении тяжёлых металлов.

Особый интерес представляет зона оловорудных месторождений, расположенных в бассейне реки Сары-Джаз. Согласно данным геологической службы Кыргызстана, вулканогенно-терригенно-карбонатные породы района прорваны интрузивами гранитов, вмещающих 23 рудные зоны, включающие 191 жильное рудное тело. Основную массу руд составляют кварц-турмалиновые образования, где главными рудными минералами являются кассiterит, шеелит и вольфрамит. Содержание олова варьирует от 0,54 до 0,64 %, триоксида вольфрама – 0,38 % [8]. В районе месторождения горные лугово-степные почвы формируются преимущественно на суглинистом элювии и делювии известняков, что обуславливает повышенное содержание щебня и мелкой гальки в почвенном профиле. Механический состав представлен преимущественно средними лессовидными суглинками. Значительная доля крупнопылеватой фракции (31,3–33,7 %), что свидетельствует о высокой эрозионной уязвимости данных почв. Естественное плодородие низкое, содержание гумуса составляет в среднем 2,5 % [7]. Результаты исследований показали, что содержание олова в верхнем слое почвы (0-10 см) на территории оловорудного месторождения варьирует в пределе от 4 до 13 мг/кг. При закладке почвенного разреза, содержание олова в верхнем горизонте почв А (0-10 см) составило 13 мг/кг, в горизонте В (10-30 см) – 15 мг/кг, в горизонте ВС (30-40 см) – 13 мг/кг, в горизонте С (40-55 см) – 18 мг/кг. С глубиной происходит незначительное увеличение содержания олова, где отмечаются наличие микробломков кассiterита, что типично для почв, формирующихся на вмещающих рудных породах.

Таблица 3. Статистические характеристики содержания олова в почвах и растениях олово-вольфрамового месторождения

Вид образца	$\bar{x} \pm m$ (мг/кг)	D	σ	V, %	Предел колебаний (мг/кг)
Почва	7,6±1,7	14,3	3,8	50	4-13
Растения (укос)	0,9±0,4	0,8	0,5	55,5	0,2-2
Растения (корневая система)	1,6±0,5	1,7	0,7	43,7	0,5-3

На территории оловорудного месторождения были апробированы доминантные виды растений такие как эфедра средняя, полынь поздняя, полынь эстрагон, чий блестящий, карагана гривастая. Содержание олова в растениях, произрастающих на территории оловорудного месторождения, остаётся относительно невысоким. Анализ распределения олова по органам растений показал, что данный микроэлемент преимущественно аккумулируется в корневой системе, тогда как его концентрации в надземной части значительно ниже. Это указывает на ограниченную подвижность олова в растительном организме. Подобное распределение подтверждается рассчитанными коэффициентами биологического накопления (КБП), которые во всех исследованных образцах оказались выше для корней, чем для надземной массы (рис. 2).

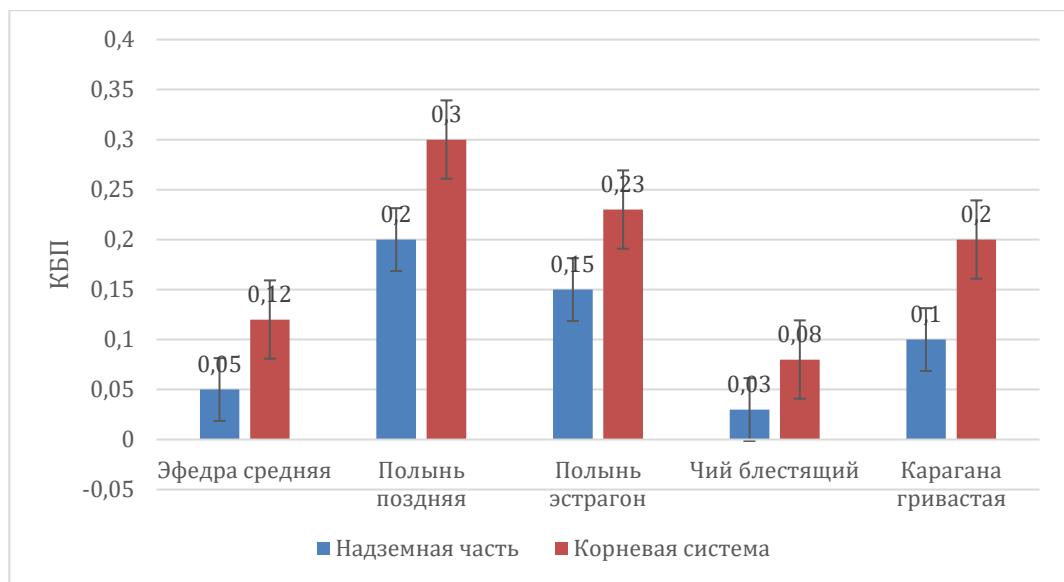


Рис.2. Коэффициенты биологического поглощения (КБП) олова растениями месторождения «Трудовое»

Полученные результаты согласуются с общими биогеохимическими особенностями олова, как элемента с низкой биоусвояемостью и слабой тенденцией к трансформации в доступные для растений формы, что свидетельствуют о преобладании нерастворимых форм олова в почвенной среде и биологической барьевой функции корневой системы по отношению к его биологической миграции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволили установить особенности распределения олова в почвенном покрове восточной части Иссык-Кульской области, в том числе в пределах бассейна реки Сары-Джаз. Установлено, что содержание олова в прибрежных почвах восточного Прииссыккулья соответствует фоновым значениям, что подтверждается низкими значениями коэффициента загрязнения ($CF = 0,76$), индекса геоаккумуляции ($I_{geo} = -0,98$) и других показателей ($EF = 0,97$; $PLI = 0,71$; $PER = 17,5$), указывающих на благоприятное экологическое состояние почв.

В высокогорной зоне Сары-Джазского бассейна выявлено локальное обогащение почв медью, молибденом, цинком и кобальтом, связанное с природными геохимическими особенностями материнских пород, при этом уровень техногенного загрязнения остаётся низким ($CF = 1,05$; $I_{geo} = -0,51$; $PER = 97,5$). На оловорудных участках содержание олова в почве варьирует от 4 до 18 мг/кг, демонстрируя незначительное увеличение с глубиной, что указывает на влияние рудных минералов, таких как касситерит.

Анализ растительных образцов показал, что олово преимущественно накапливается в корневой системе, что обусловлено его низкой подвижностью и слабой биодоступностью. Подобное распределение указывает на наличие биологического барьера и преобладание труднорастворимых форм олова в почвенной среде.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о доминировании природных источников микроэлементного состава почв, отсутствии выраженного техногенного загрязнения, а также подчеркивают необходимость дальнейших экологобиогеохимических исследований в условиях перспективного горнорудного освоения территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. –142 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: АН СССР, 1957. –219 с.
3. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: «Изд-во стандартов», 1985. – 14 с.
4. Дженбаев Б.М., Мурсалиев А.М. Биогеохимия природных и техногенных экосистем Кыргызстана. – Бишкек: Илим, 2012. – 404 с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях . – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. Кенжебаева А.В. Эколо-биогеохимическая оценка почвенно-растительного покрова прибрежной зоны восточного Прииссыккулья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 - экология. – Бишкек, 2022 . – 21 с.
7. Мамытов А.М. Почвы Иссык-Кульской области и пути их рационального использования. – Фрунзе: Илим, 1977 . – 277 с.
8. Никаноров В.В. Рудные месторождения Кыргызстана. – Бишкек, 2009. – 482 с.
9. Токтоева Т.Э. Эколо-радиобиогеохимическая оценка почвенно-растительного комплекса агроэкосистем Прииссыккулья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 - экология. - Бишкек, 2018 . – 25 с.
10. Тотубаева Н.Э. Водные и почвенные факторы устойчивого развития севера Кыргызстана: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.02.08 - экология. – Бишкек, 2025. – 44 с.
11. Ali H., Khan E., Sajad M. A. Phytoremediation of heavy metals - Concepts and applications // Chemosphere. - 2013. - №91(7). – P.869–881.
12. Alloway B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability. - Dordrecht: Springer, 2013. – 614 p.
13. Feng J., Ai H., Chen Q., Li H., Wang W., Xue Z. 2023. Evaluation and Migration Path Analysis of Soil Heavy Metal Pollution in a Metal Mining Area of Qinling Mountain // Rock and Mineral Analysis. – №42(6). – P.1189-1202.
14. 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. – №44(5). – P.1633-1648.
15. Nagajyoti P. C., Lee K. D., Sreekanth T. V. Heavy metals. occurrence and toxicity for plants // Environmental Chemistry Letters. – 2010 - №8(3). – P. 199–216.
16. Wuana R.A., Okieimen F.E. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources. Chemistry. Risks and Best Available Strategies for Remediation // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2011. - №42. – P.111-122.