

## СТАТЬЯ

УДК 631.416.9:631.445.56

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЫШЬЯКА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В СЕРОЗЕМАХ ЮГА ФЕРГАНЫ****Абдухакимова Х.А., Исагалиев М.Т.***Ферганский государственный университет, Фергана, e-mail: murodjon-isa@mail.ru*

В статье определены состав, количество, распределение и другие геохимические свойства мышьяка и тяжелых металлов в староорошаемых типичных сероземах, сероземно-луговых и залежах, сформированных в конусе выноса Шахмардансая. Также доказано накопление мышьяка и сурьмы в верхних пахотных слоях почв и геохимических барьерах, что связано с их транслокационными и водно-миграционными свойствами. Почвообразующие породы изученных почв представляют собой умеренно окультуренные и средне окультуренные на пролювиальных и аллювиально-пролювиальных отложениях и лессовидных суглинках со средним и тяжелым механическим составом. Они по плотному остатку и по ионному составу – незаболоченные типичные сероземы и сероземно-луговые, период их орошаемого земледелия составляет более 50–70 лет, в них в результате многолетнего полива образовались агроирригационные горизонты толщиной 0,7–0,8 м. В профиле залежей встречаются плотные гипсовые пятна, а начиная с поверхности – скелетно-каменистые. Эти почвы до перевода в залежь поливались пресной водой. В залежных почвах района конуса выноса Шахмардансая и орошаемых типичных сероземах Ферганского района имеются значительные запасы мышьяка и тяжелых металлов. Их аккумуляция приходится на пахотные слои. Отмечается, что миграция мышьяка и тяжелых металлов в грунтах и в почвах зависит от свойств почвы и грунта, которые определяют разнообразие геохимических условий. В почвах староорошаемых типичных сероземов педогеохимическая сурьмяная провинция обогащения имеет место, где его кларк концентрация (КК) в почвах и почвообразующих породах колеблется в пределах 5,9–39,0. КК мышьяка варьирует в пределах 1,5–3,8, более высокая концентрация соответствует староорошаемым типичным сероземам и орошаемым сероземно-луговым почвам, что связано с генетическими особенностями типичных сероземов и гидроморфным режимом сероземно-луговых почв. В залежах КК мышьяка выше в 2 раза, чем кларк почв.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, типичный серозем, сероземно-луговая, залежь, миграция, накопление, кларк почв и литосферы, предельно допустимая концентрация

**CHANGE IN THE CONTENT OF ARSENIC AND HEAVY METALS  
IN THE SEROSEMES OF SOUTH FERGANA****Abdukhakimova Kh.A., Isagaliev M.T.***Fergana State University, Fergana, e-mail: murodjon-isa@mail.ru*

In article defines the composition, quantity, distribution and other geochemical properties of arsenic and heavy metals in old-irrigated typical serozem, serozem-meadow and fallow lands formed in the removal cone Shakhimardansay. Also, the accumulation of arsenic and antimony in the upper arable layers of soils and geochemical barriers has been proven, which is associated with their translocation and water-migration properties. The article defines the composition, quantity, distribution and other geochemical properties of arsenic and heavy metals in old-irrigated typical serozem, serozem-meadow and deposits formed in the removal cone Shakhimardansay. Also, the accumulation of arsenic and antimony in the upper arable layers of soils and geochemical barriers has been proven, which is associated with their translocation and water-migration properties. The soil formation rocks of the studied soils are moderately cultivated and medium cultivated on proluvial and alluvial-proluvial sediments and loesslike loams with an average and heavy granulometric composition. They are not saline typical serozem and serozem-meadow soils in terms of dense residue and ionic composition. The period of irrigated agriculture, in which it is more than 50-70 years, where, as a result of long-term irrigation, agro-irrigation horizons 0.7-0.8 m thick were formed. In the profile of the fallow soils there are dense gypsum spots and starting from the surface, skeletal-stony ones. These soils were watered with fresh water before being transferred to the fallow. The fallow soils of the Shakhimardansay fan-out cone region and the irrigated typical serozems of the Fergana region have significant reserves of arsenic and heavy metals. Most of them accumulate in the arable layers. It is noted that the migration of arsenic and heavy metals in soils and in soils depends on the properties of the soil and soil, which determine the variety of geochemical conditions. In soils of old-irrigated typical serozems the pedo-geochemical antimony province of enrichment takes place, where its Clarke concentration (CC) in soils and soil formation rocks ranges from 5.9 to 39.0. The CC of arsenic varies within 1.5–3.8; a higher concentration corresponds to old-irrigated typical serozems and irrigated serozem-meadow soils, which is associated with the genetic characteristics of typical serozem and hydromorphic regime of serozem-meadow soils. In the fallow lands the CC of arsenic is twice as high, as the Clarke of soils.

**Keywords:** heavy metals, typical serozem, serozem-meadow, fallow land, migration, accumulation, clarke of soils and lithosphere, maximum permissible concentration

В результате интенсивного воздействия антропогенного фактора во многих регионах мира, где сильно развиты промышленность и сельское хозяйство, происходят эволюция, изменение морфогенетических

особенностей, экологии почвенного покрова, в частности изменение его химических и физических свойств и минерального состава. Содержание тяжелых металлов (железа, марганца, молибдена, меди, цинка,

кобальта) в почвах свидетельствует о недостаточной их концентрации для растений. Однако было установлено, что увеличение концентрации ртути, свинца, мышьяка, никеля, хрома в почве оказывает токсичное воздействие на микроорганизмы и растения [1, 2]. В частности, накопление тяжелых металлов в плодородном пахотном слое и нижних горизонтах орошаемых земель, на которых интенсивно выращиваются сельскохозяйственные культуры, приводит к снижению количества и качества продукции, а также уровня плодородия почв.

Во многих исследованиях обосновано, что загрязнение почв тяжелыми металлами оказывает разное влияние на качество и количество урожая сельскохозяйственных культур. Исследованиями установлено, что тяжелые металлы поступают из материнской породы, с оросительной водой, техногенными выбросами и минеральными удобрениями. Согласно исследованию, постоянное повреждение посевов растений, выращиваемых для питания, снижает уровень плодородия почвы и приводит к эрозийным процессам [3, 4].

Применение микроудобрений на агрохимическом минеральном фоне может оказать существенное влияние на плодородие почвы и рост, развитие растений. С. Саттаров и иные доказали, что основное внимание уделяется управлению подвижными величинами [5]. В работах Е.К. Кругловой, М.М. Алиевой и других было доказано, что микроэлементы, такие как Co, Zn, Mn, не могут быть заменены другими элементами и занимают особое агрохимическое место в росте и развитии хлопчатника, пшеницы и других культур в условиях Узбекистана [6]. По этой причине одним из основных показателей антропогенного давления в почве считается уровень содержания тяжелых металлов, что ставит задачу оценки их количества. При этом необходимо исследование на примере сравнения орошаемых и залежных сероземов.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны типичные староорошаемые сероземы конуса выноса Шахимарданская, сероземно-луговые и типичные сероземы на землях фермерских хозяйств «Иноятхон Шахноза», «Рахмонали Кенжаев», а также залежь типичных сероземов на территории ОАО «Мастона».

Полученные результаты были обработаны по методике системного подхода А.И. Перельмана и М.А. Глазовской. Элементный анализ почв был проведен в лабо-

ратории активационного анализа института Ядерной физики АН РУз.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Почвообразующие породы исследованной территории представляют собой умеренно окультуренные и средне окультуренные на пролювиальных и аллювиально-пролювиальных отложениях и лессовидных суглинках со средним и тяжелым механическим составом. Почвы по плотному остатку и по ионному составу – незасоленные типичные сероземы и сероземно-луговые, период их орошаемого земледелия составляет более 50–70 лет, в них в результате многолетнего полива образовались агроирригационные горизонты толщиной 0,7–0,8 м.

Гранулометрический состав залежи сероземов визуально соответствует легким и средним суглинкам. В профиле встречаются плотные гипсовые пятна, а начиная с поверхности – скелетно-каменистые. Эти почвы до перевода в залежь поливались пресной водой из вертикальной скважины.

Исследования показали, что в залежных почвах района конуса выноса Шахимарданская и орошаемых типичных сероземах Ферганского района имеются значительные запасы тяжелых металлов (As, Co, Cr, Ni, Zn и др.). Их аккумуляция приходится на пахотные слои. Отмечается, что миграция тяжелых металлов в грунтах и в почвах зависит от свойств почвы и грунта, которые определяют разнообразие геохимических условий. Установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) по тяжелым металлам в почве, но в условиях Узбекистана с учетом типов и подтипов почв требуются уточнение и разработка ПДК.

Концентрации хрома на почвах мира по А.П. Виноградову составляет 200 мг/кг. В природных соединениях хром имеет валентность +3 и +6. В почвах значительная часть хрома находится в виде Cr<sup>+3</sup>. Большая часть Cr<sup>+3</sup> содержится в хромитном минерале FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, где со временем заменяет хром Fe и Al, которые очень близки по геохимическим свойствам и ионным радиусам. По данным Кабата-Пендиас, Пендиас [7], миграция природных соединений хрома в материнских почвообразующих породах по почвенному профилю зависит от особенностей формирования почвы, в частности от гранулометрического состава и геохимического барьера в генетических горизонтах.

Цинк содержится в почве в основном в виде ионных соединений (Zn<sup>2+</sup>). Миграция цинка в почве зависит от содержания фосфора, образуя малорастворимые фосфатные минералы. Накопление цинка в почве

можно объяснить значительным влиянием антропогенного фактора. В качестве биофильного компонента живых клеток цинк необходим всем живым организмам, так как он участвует в биохимических процессах, однако его содержание в организме выше нормы приводит к отравлению. Как известно, не все элементы равномерно распределяются по профилю почвогрунта [8]. Это относится и к тяжелым металлам, которые нами изучены, результаты анализа можно увидеть на приведенных ниже рисунках.

Миграция и аккумуляция мышьяка и тяжелых металлов в почвенно-геохимических профилях могут быть охарактеризованы геохимическими моделями, составленными из коэффициентов, отражающих фоновое геохимическое положение профиля в наиболее простых каскадных системах открытого и закрытого типа. Миграция и концентрация тяжелых металлов зависят от конкретной геохимической обстановки и классов водной миграции ландшафта, системы зон выщелачивания и геохимических барьеров, биогеохимической специализации растений.

В сероземном поясе юга Ферганы большое влияние на геохимические особенности ландшафта оказывает литогеохимическая специализация горных, пролювиальных и аллювиально-пролювиальных почвообразующих пород.

В целом сходные особенности распределения элементов, в том числе мышьяка и тяжелых металлов, присущи разным из-

ученным нами почвам сероземного пояса. Ниже приведен ряд кларков концентрации (КК) элементов в этих почвах.

Можно предполагать, что значительное содержание мышьяка и тяжелых металлов в почвах разных ландшафтов обусловлено не только природным процессом, но и техногенным потоком растворенных и твердых веществ, приносимых с поливными водами и вносимых земледельцами. Эти и другие геохимические аномальные состояния требуют тщательного изучения не только для целей сельского хозяйства, но для прогноза состояния экосистем в условиях техногенеза. Миграция веществ, макро- и микроэлементов в почвенно-геохимических профилях с сопряженными элементарными ландшафтами может быть охарактеризована кларками концентрации. Содержание микроэлементов в кларках концентрации приведено в таблице.

Из приведенных материалов видно, что КК сурьмы в генетических горизонтах изученных почв варьирует в пределах 2,5–39,0, причем более высокая концентрация соответствует староорошаемым типичным сероземам, что связано с влиянием антропогенного фактора. В залежах ее кларк концентрации составляет 2,9–6,6, но от кларка почв выше 2–6 раза.

Мышьяк представляет собой крайне опасный металлоид с переменной валентностью. В гидроморфных почвах повышается его подвижность, что негативно влияет на качество подземных вод [9].

Кларк концентрации мышьяка и тяжелых металлов в сероземах юга Ферганы

Номер разреза	Глубина, см	As	Co	Cr	Mn	Zn	Sb
Староорошаемый типичный серозем							
1/AX	0–27	3,8	0,7	0,2	0,4	1,4	17,0
	27–39	3,8	0,8	0,2	0,4	1,2	33,0
	39–41	3,0	0,5	0,1	0,3	0,7	39,0
	41–48	1,5	1,4	0,3	0,7	1,7	5,9
	48–59	3,4	0,9	0,2	0,6	1,1	35,0
	59–72	3,0	1,2	0,3	0,8	1,5	9,7
Орошаемые сероземно-луговые почвы							
6/AX	0–25	3,2	0,9	0,2	0,4	1,4	6,0
	25–35	3,2	0,9	0,2	0,4	1,5	5,0
	35–66	2,6	1,2	0,2	0,5	1,9	2,5
	66–98	3,8	2,4	0,3	0,8	2,2	3,0
	98–120	3,6	1,6	0,4	0,8	2,0	3,6
Залежь типичных сероземов							
7/AX	0–22	2,6	1,4	0,3	0,6	1,5	6,6
	22–37	2,2	1,2	0,3	0,6	1,6	6,3
	37–50	2,4	1,4	0,3	0,5	1,5	2,9

КК мышьяка в изученных почвах варьирует в пределах 1,5–3,8, более высокая концентрация соответствует староорошаемым типичным сероземам и орошаемым сероземно-луговым почвам, что связано с генетическими особенностями типичных сероземов и гидроморфным режимом сероземно-луговых почв. В залежах кларк концентрации составляет 2,2–2,6, что в 2 раза выше, чем кларк почв.

Как ожидалось, после мышьяка на третьем месте стоит КК цинка в генетических горизонтах староорошаемых типичных сероземов с показателями КК 0,7–2,2. В целом в пахотных слоях типичных сероземов по КК изученные элементы занимают следующий ряд:  $Sb > As > Zn > Co > Mn > Cr$ . В подпахотных горизонтах закономерность сохраняется, но относительно высокое.

В пахотных горизонтах сероземно-луговых почв тяжелые элементы по содержанию КК имеют следующий ряд:  $Sb > As > Zn > Co > Mn > Cr$ , тогда как в типичных залежных сероземах –  $Sb > As > Zn = Co > Mn > Cr$ .

Глеевые барьеры орошаемых сероземно-луговых почв имеют следующие ряды КК:  $Sb > As > Co > Zn > Mn > Cr$ .

Такое расположение этих элементов по содержанию КК в изученных почвах связано с геохимическими свойствами элементов и почв.

Из приведенных данных видно, что в верхних генетических горизонтах почв и в геохимических барьерах наблюдается аккумуляция тяжелых металлов, что связано со способностью металлов образовывать сложные соединения с органическими веществами, содержащимися в почве, поэтому они аккумулируются в слоях, богатых гумусом. В подпахотных горизонтах наблюда-

ется некоторое снижение содержания этих элементов относительно гумусного слоя, а в последующих горизонтах – дальнейшее увеличение в зависимости от геохимических свойств элемента и характера их проявления, типа биогеохимических барьеров.

Результаты исследования показали, что в староорошаемых типичных сероземах конус выноса мышьяк в среднем составляет 19,0 мг/кг, на сероземно-луговых почвах – 16,0 мг/кг, а на залежах – 13,0 мг/кг. Выяснилось, что тяжелых металлов, таких как Co, Cr, Mn, Zn, содержится в относительно большем количестве в залежных почвах. Это связано с биологической активностью и гумидокатными и аридонитными свойствами эфемерных и эфемероидных растений, распространенных в регионе.

Увеличение количества тяжелых металлов в почвенных разрезах наблюдается в верхних гумусных горизонтах и в геохимических барьерах, где мышьяка содержится 13,0–19,0 мг/кг, кобальта – 5,7–11,0 мг/кг, хрома – 34,0–68,0 мг/кг, марганца – 320,0–500,0 мг/кг, цинка – 69,0–77,0 мг/кг. Содержание сурьмы колеблется в пределах 6,0–17,0 мг/кг. Было отмечено резкое снижение содержания тяжелых металлов в нижних горизонтах почв и увеличение в глеевых барьерах, а также в карбонатно-гипсовых в сероземно-луговых почвах.

Также согласно результатам исследования отмечается, что при уменьшении высоты над уровнем моря количество биомикроэлементов в кларковых концентрациях в направлении от темного серозема > типичного серозема > светлых сероземов уменьшилось в виде  $Zn > Mn$  [8, 10]. Гидроморфизм в почвах и состояние залежей привели к сохранению порядка увеличения количества  $Zn \rightarrow Mn$  на изученных почвах.

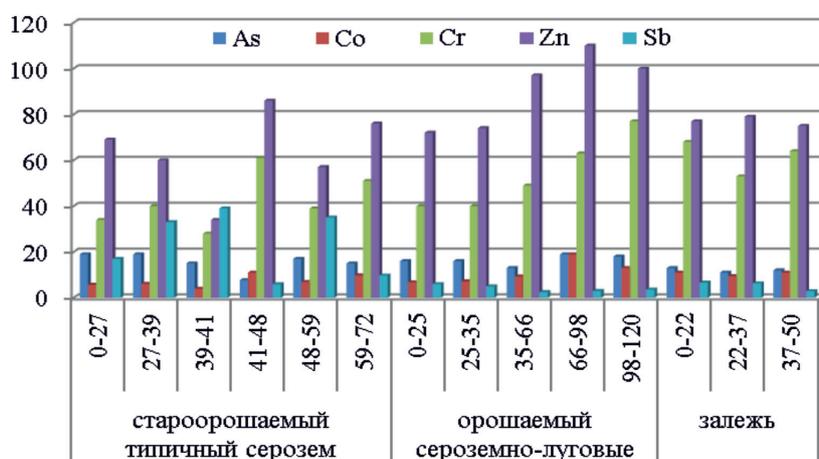


Рис. 1. Изменение содержания As, Co, Cr, Zn, Sb в генетических горизонтах почв, мг/кг

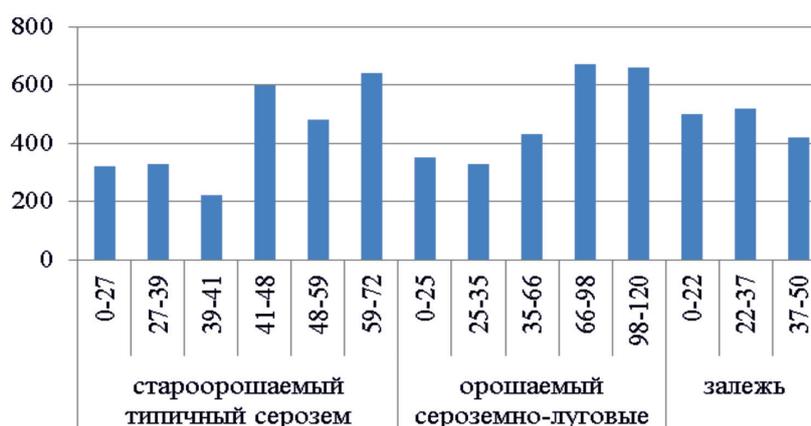


Рис. 2. Изменение содержания Mn в генетических горизонтах почв, мг/кг

В изученных тяжелых металлах наибольшее количество приходится на долю Mn, Zn, Cr, что связано с их кларковыми содержаниями. В типичных сероземных почвах под воздействием орошения наблюдалось увеличение количества мышьяка в 3–3,8 раза по сравнению с почвенным кларком. Это связано с его содержанием в поливных водах и с применяемыми агротехническими мероприятиями, в частности внесением удобрений (рис. 1, 2).

Валовое содержание кобальта близко к почвенному кларку. В орошаемых типичных сероземах и сероземно-луговых почвах уровень Co колеблется в пределах 5,7–6,8 мг/кг в пахотном слое. По сравнению с литосферным кларком обнаружен, что кобальт в 2,6–3,2 раза меньше. В типичных и сероземно-луговых почвах содержание кобальта близко к норме, то есть к ПДК, а в залежах больше в 2 раза (рис. 1).

Содержание валового Cr и Mn в пахотных слоях было меньше, чем в почвенном кларке: в типичных орошаемых и сероземно-луговых почвах Cr 34,0–40,0 мг/кг, в залежах 68,0 мг/кг, а Mn в типичных орошаемых сероземах и сероземно-луговых почвах содержится 320–350 мг/кг, в залежах – 500 мг/кг. Что касается ПДК, его обнаружено в 3 раза меньше (рис. 1, 2).

Содержание цинка колеблется в пределах 69,0–72,0 мг/кг в типичных орошаемых сероземах и сероземно-луговых почвах, что в 2 раза больше, чем почвенного кларка. На залежных сероземах наблюдается почти в 3,4 раза больше, чем ПДК, в 1 раз меньше чем литосферного кларка (таблица, рис. 1).

Литосферный кларк сурьмы равен 0,5 мг/кг, а почвенный кларк – 1,0. Содержание Sb больше, чем в типичных староорошаемых сероземах, сероземно-луговых

и залежных почв по сравнению с почвенным кларком (таблица, рис. 1), но эти показатели показывают, что они близки к допустимой норме в сероземно-луговых и залежах, а в староорошаемых типичных сероземах они выше в 3,8 раза.

### Выводы

В районах, где проводились исследования, наблюдается значительное загрязнение почв отдельными тяжелыми металлами, что связано их с техногенно-транслокационной миграцией и аккумуляцией из оросительных вод конуса выноса Шахимарданская, а также влиянием водно-миграционно-аккумулятивных и антропогенных факторов в ведении сельского хозяйства.

Тяжелые металлы накапливаются больше в верхних горизонтах почвы и дифференцируются вниз по профилю в определенной закономерности. Это состояние зависит от ряда свойств почв и грунта, то есть его обеспеченности гумусом и механического состава, а также от состава наносов оросительной воды и т.д.

Рекомендуется проводить на этих землях агрогеохимические мероприятия, снижающие уровень загрязнения тяжелыми металлами в староорошаемых типичных сероземах и сероземно-луговых почв, а также селективное размещение видов растений.

### Список литературы

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растения. Новосибирск: Изд-во СОРАН, 2012. 219 с.
3. Мотузова Г.В., Карпова Е.А. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия: учебник. М., 2013. 305 с.

4. Болтунова А.Д., Смирнова С.В., Солтис В.В. Накопление тяжелых металлов в почвах под влиянием промышленного производства // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/tu/article/view?id=26637> (дата обращения: 20.11.2020).
5. Агрохимия: учебник / Под ред. Д.С. Сагтаров Т., 2011. 552 с. (на узб.).
6. Круглова Е.К., Алиева М.М., Кобзева Г.И., Попова Т.П. Микроэлементы в орошаемых почвах Узбекской ССР и применение микроудобрений. Т., 1984. 252 с.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 440 с.
8. Исагалиев М.Т. Исследование эколого-генетических особенностей, плодородия горных и предгорных почв (на пр. Ферганской долины): дис. ...докт. биол. наук. Ташкент, 2016. 274 с.
9. Водяницкий Ю.Н. Биологические и химические превращения мышьяка в загрязненных почвах // Современные проблемы загрязнения почв: материалы IV Международной научной конференции (27–31 мая 2013 г.). М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013. С. 195–198.
10. Isagaliev M., Yuldashev G., Abdulkhaimova Kh. Geochemistry of biomicroelements in irrigated serozems of the south of Fergana. European Sciences review. Vienna. 2018. № 11–12. V. 2. P. 25–28.