

Последствия воздействия промышленных предприятий Армении на содержание тяжёлых металлов в почвах

© 2021. А. Р. Сукиасян¹, д. т. н., доцент, С. З. Кроян², к. с.-х. н., доцент, С. Г. Скугорева³, к. б. н., н. с., А. А. Киракосян¹, к. т. н., доцент, У. К. Казарян⁴, д. с.-х. н., доцент,

¹Национальный политехнический университет Армении, 0009, Армения, г. Ереван, ул. Теряна, д. 105,

²Национальный университет архитектуры и строительства Армении, 0009, Армения, г. Ереван, ул. Теряна, д. 109,

³Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

⁴Филиал НАУА “Научный центр почвоведения, агрохимии и мелиорации им. Г. Петросяна”, 0004, Армения, г. Ереван, пр. Адмирала Исакова, д. 24, e-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Проведены исследования по оценке степени загрязнения почв Армении тяжёлыми металлами (ТМ) вблизи действующих (Каджаранский медно-молибденовый комбинат и Разданский цементный завод) и не работающих в настоящее время (Алавердский горно-металлургический комбинат и Ванадзорский химический завод) промышленных предприятий. Отбор образцов почв осуществляли с площадок при удалении на 0,5; 1,5; 2,5; 5; 10; 15 и 25 км от источника загрязнения. Анализ результатов химического анализа почв показал, что на расстоянии до 5 км от техногенных источников почвы сильно загрязнены соединениями меди, цинка и свинца. По мере удаления от источника загрязнения до 25 км происходит достоверное снижение концентраций всех ТМ и сравнительный ряд представлен следующей последовательностью: Zn > Cu > Pb > Co > Mo. При удалении на 25 км отмечается существенное снижение антропогенной нагрузки на почву. Наибольшее 50-кратное снижение суммарного содержания ТМ установлено для почв вблизи с Алавердским горно-металлургическим комбинатом, а наименьшее – с Разданским цементным заводом. Для остальных рассмотренных предприятий снижение значения коэффициента суммарного загрязнения составило в среднем в 25 раз. Полученная информация может быть использована для учёта миграционной и накопительной способностей ТМ в почве при организации природоохранных мероприятий в зависимости от удалённости основного источника загрязнения.

Ключевые слова: почвы, тяжёлые металлы, антропогенное загрязнение, удалённость от источника загрязнения, суммарный коэффициент загрязнения почв.

Consequences of the impact of some industrial plants on the content of heavy metals in soils

© 2021. A. R. Sukiasyan¹ ORCID: 0000-0001-5549-3146, S. Z. Kroyan² ORCID: 0000-0002-6627-7761, S. G. Skugoreva³ ORCID: 0000-0002-5902-5187, A. A. Kirakosyan¹ ORCID: 0000-0003-4447-8383, H. Gh. Ghazaryan⁴ ORCID: 0000-0003-2905-9324

¹National Polytechnic University of Armenia, 105, Teryan St., Yerevan, Republic of Armenia, 0009,

²National University of Architecture and Construction of Armenia, 109, Teryan St., Yerevan, Republic of Armenia, 0009,

³Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

⁴Branch of NAUA “Scientific Centre of Soil Sciences, Agrochemistry and Melioration after H. P. Petrosyan”, 24, Admiral Isakov Ave., Yerevan, Republic of Armenia, 0004, e-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Studies have been carried out to assess the degree of soil pollution in Armenia with heavy metals (HM) near existing (Kajaran Copper-Molybdenum Plant and Hrazdan Cement Plant) and currently not operating (Alaverdi Mining and Metallurgical Plant and Vanadzor Chemical Plant) industrial enterprises. The selection of soil samples was carried out from the plots at a distance of 0.5, 1.5, 2.5, 5, 10, 15 and 25 km from the source of pollution. Analysis of the results of chemical analysis of soils showed that at a distance of up to 5 km from technogenic sources, soils are heavily contaminated with compounds of copper, zinc and lead. As the distance from the pollution source increases to 25 km, a significant decrease in the concentrations of all HMs occurs, and the comparative series is represented by the following sequence: $Zn > Cu > Pb > Co > Mo$. At a distance of 25 km, a significant decrease in anthropogenic load on the soil is noted. The greatest 50 times decrease in the total HM content was found for soils near the Alaverdi Mining and Metallurgical Combine, and the smallest in the case of the Hrazdan Cement Plant. For the rest of the considered enterprises, the decrease in the value of the coefficient of total pollution was 25 times on the average. The information obtained can be used to take into account the migration and storage capacity of HMs in the soil when organizing environmental measures, depending on the remoteness of the main source of pollution.

Keywords: soil, heavy metals, anthropogenic pollution, remoteness from the source of pollution, the total coefficient of soil pollution.

По своему географическому расположению Армения находится в зоне высокого риска стихийных бедствий и подвержена влиянию различных опасных факторов. С одной стороны, особенностью территории Армении является многокомпонентный рельеф, состоящий из совокупности крутых горных зон, плато, а также чрезвычайно фрагментированных возвышений [1]. При этом разница в высотах может достигать до 3,5 км, тем самым предопределяя высокий уровень природных опасностей. С другой стороны, в регионе широко развита сеть горнодобывающих и обрабатывающих промышленных предприятий, быстрое развитие которых, наряду с недостаточностью механизмов контроля за уровнем загрязнения близлежащих территорий, носит необратимый характер [2, 3].

Почва является своеобразной конечной субстанцией оседания и накопления тяжёлых металлов (ТМ), которые попадают в окружающую среду (ОС) в большей степени в результате антропогенной деятельности [4]. Быстро расширяющиеся промышленные зоны, шахты, накопление отходов от сжигания угля, применение удобрений и пестицидов, орошение сточными водами способствуют аккумуляции и последующему загрязнению почв соединениями ТМ [5]. В свою очередь, промышленные выбросы, отходы при добыче, обработке природных ресурсов также содержат в своём составе соединения ТМ [6]. Ситуация усугубляется циркуляцией и миграционными процессами последних в компонентах ОС [7, 8]. Так, дальнейший перенос ТМ в почве существенно зависит от (химической) формы его нахождения, он стимулирует такие процессы, как осаждение и растворение минералов, ионный обмен, адсорбция и десорбция, комплексообразование, биологическая иммобилизация и мобилизация и т. д. [9]. Данные

процессы приводят к эвтрофикации и загрязнению водных объектов токсикантами, а последствия, вызванные неконтролируемыми заброшенными шахтами, сравнимы с эффектом мины замедленного действия [10, 11]. В итоге возрастают потенциальные риски в экосистеме через прямой контакт с загрязнённой почвой по пищевой цепи (вода-почва-растение-человек или вода-почва-растение-животное-человек) [12]. Среди последствий антропогенных нарушений необходимо особо отметить отклонения в естественных геохимических циклах, связанных с высокой способностью ТМ к аккумуляции [13].

В сложившейся экологической ситуации создание систем мониторинга и анализ полученной информации позволит выявить латентный характер пространственно-временных антропогенных нарушений. Исходя из вышесказанного, целью работы было оценить степень загрязнённости почв тяжёлыми металлами на различном удалении от промышленных предприятий Армении как действующих, так и работающих в настоящее время.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований были выбраны коричнево-лесные и чернозёмные типы почв на территории Армении вблизи Алавердского горно-металлургического и Каджаранского медно-молибденового комбинатов, а также Ванадзорского химического и Разданского цементного заводов. Для проведения оценки загрязнения почв ТМ производили отбор образцов почв из верхнего горизонта (с глубины 0–25 см) на площадках мониторинга при удалении на 0,5; 1,5; 2,5; 5; 10; 15; 25 км от источника загрязнения (рис.) методом конверта по ГОСТ 17.4.1.02-83 с учётом преобладающего направления ветров в Армении [14].

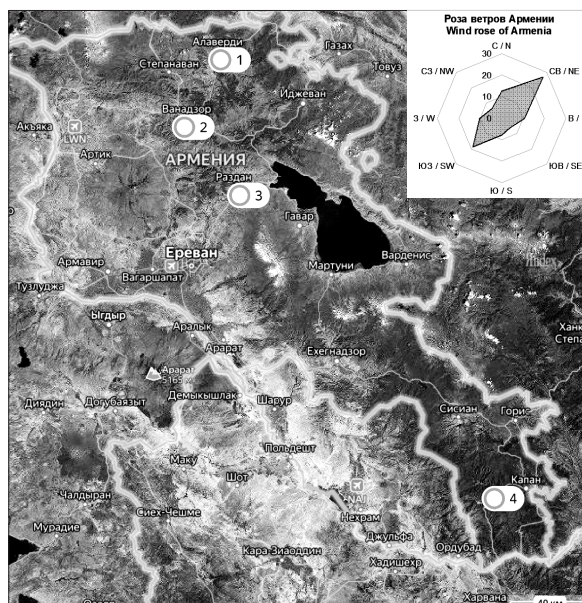


Рис. Схема расположения отбора проб почвы с указанием розы ветров в Армении:
 1 – Алавердский горно-металлургический комбинат, 2 – Ванадзорский химический завод,
 3 – Разданский цементный завод, 4 – Каджаранский медно-молибденовый комбинат
Fig. Scheme of the location of the soil samples with an indication of the wind rose in Armenia:
 1 – Alaverdi Mining and Metallurgical Combine, 2 – Vanadzor Chemical Plant, 3 – Hrazdan Cement Plant, 4 – Kajaran Copper-Molybdenum Combine

Отбор проб осуществляли неметаллическими инструментами. Объединённую пробу составляли путём смешивания пяти точечных проб, взятых с одной пробной площадки. Все проведённые эксперименты имели до 10 технических повторностей анализа одной пробы и статистически обработаны [15]. Образцы помещали в тёмные стеклянные контейнеры и транспортировали при температуре +4 °С для лабораторных (инструментальных) измерений, которые проводили в течение 24 ч. После очистки от остатков корней, насекомых и других твёрдых составляющих, почву растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито. Подготовленные почвы подвергали озолению, последующему растворению золы в 0,5н соляной кислоте по [16]. Содержание валовых форм Cu, Pb, Zn, Mo и Co определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «AAS-1» (Германия) с последующим пересчётом на сухой вес почвы.

Для интерпретации полученных результатов сравнивали некоторые геоэкологические коэффициенты с учётом кларковых и предельно допустимых концентраций (ПДК) химических элементов [17]. Суммарный показатель загрязнения (Z_c) представляет собой сумму коэффициентов концентрации (K_{k_i}) загрязнителей по отношению к фоновым значениям (при их превышении), его рассчитывали по формуле [18]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{k_i} - (n-1), \quad (1)$$

n – число учитываемых ТМ; K_{k_i} – коэффициент концентрации, его определяли по формуле:

$$K_{k_i} = \frac{C_n}{C_{\phi}}, \quad (2)$$

где C_{ϕ} – фоновое содержание ТМ в почве, мг/кг [17]; C_n – содержание ТМ в почве участка мониторинга, мг/кг.

Значения $0 < Z_c < 16$ соответствуют низкому; $16 < Z_c < 32$ – среднему (умеренно опасному); $64 < Z_c < 128$ – высокому (опасному); $Z_c > 128$ – чрезвычайно высокому уровню загрязнения.

Определяли также уровень опасности загрязнения почв (K_o) по содержанию ТМ в почвенных образцах по формуле:

$$K_o = \frac{C_n}{C_{\text{ПДК}}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимая концентрация [19] ТМ в почве, мг/кг.

Результаты и обсуждение

В данной работе были исследованы изменения содержания в почве Zn и Pb, относящихся к классу высокоопасных элементов,

а также Mo, Cu и Co, принадлежащих к классу умеренно опасных металлов [13], по мере удаления от источника загрязнения (промышленного предприятия).

Содержание тяжёлых металлов в почвах.

Алавердский горно-металлургический комбинат существует более 250 лет. Комбинату отводилась ведущая роль в горнодобывающей промышленности Армении. К лету 2018 г. эксплуатация медеплавильного комбината была остановлена по требованию Государственной природоохранной инспекции. Согласно результатам проведённой инспекции, выбросы диоксида серы на предприятии необходимо было сократить на 90%, а при имеющейся технологии это было невозможно. Последствия функционирования предприятия привели к загрязнению ТМ более 10 тыс. га плодородных земель, что обусловлено направлением господствующих ветров [14], особенностями рельефа [3], состоянием растительного покрова [20] и т. д. Наибольшее накопление ТМ наблюдалось в радиусе до 2,5 км, при этом сравнительный ряд исследуемых ТМ имел следующий вид: $Cu > Pb \geq Zn > Co > Mo$ (табл. 1).

Каджаранский медно-молибденовый комбинат является действующим предприятием и эксплуатирует руду, обеспеченность которой составляет более 150 лет. Основными его продуктами являются молибденовый и медный концентраты, с содержанием 50% молибдена и 15% меди. Согласно полученным данным, на расстоянии до 1,5 км от источника загрязнения наибольшее значение по содержанию отмечается для меди, а сравнительный ряд по содержанию ТМ имеет следующий вид: $Cu > Zn > Pb > Co > Mo$.

Следующим источником техногенного загрязнения земель Армении на протяжении многих десятилетий является гигант химической промышленности Ванадзорский химический завод, который в настоящее время не работает. Исходя из географического расположения завода в Ванадзорской котловине, пробоотбор почв был произведён в западном направлении в направлении господствующих ветров [20]. Максимальное накопление ТМ в Ванадзорской техногенной зоне зафиксировано на территории в 0,5–2,5 км от источника, где сравнительный ряд металлов имеет вид: $Pb > Zn > Cu > Co > Mo$.

Армянская икона строительной индустрии – Разданский цементный завод был построен в 1970 г. Шахты завода и производственные линии обеспечивают добычу сырья

высочайшего качества и производство цемента объёмом около 1,2 млн т в год.

Производство цемента оказывает воздействие на ОС на всех этапах производственного процесса, к числу которых относятся выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу в виде пыли и газов при проведении взрывных работ на карьерах [21]. При производстве цемента распространённые в атмосфере и постепенно осаждающиеся на почве ЗВ содержат различные ТМ.

Было показано, что наибольшее процентное снижение содержания ТМ по мере удаления от источника было зафиксировано для Pb, немного меньше – для Zn и Cu, в среднем составляя 52% [22].

В следующем цикле исследований были определены изменения концентрации исследуемых ТМ в юго-западном направлении от источника загрязнения с учётом розы ветров для данного региона [20]. Согласно полученным результатам, наибольшие значения содержания исследуемых ТМ в техногенной зоне Разданского цементного завода зафиксированы в диапазоне 0,5–2,5 км в виде следующего сравнительного ряда: $Zn > Pb > Cu$.

Для всех четырёх рассмотренных промышленных предприятий по мере удаления от источника загрязнения на расстояние до 25 км накопление техногенных выбросов в почве уменьшается и сравнительный ряд для исследуемых ТМ имеет следующую последовательность: $Zn > Cu > Pb > Co > Mo$. В случае с Алавердским горно-металлургическим комбинатом максимальное содержание ТМ в почвенном слое фиксируется в направлении преобладающих ветров [20]: содержание меди на расстоянии 25 км от источника загрязнения превышало принятые нормативы в 1,5 раза, свинца – в 2,8 раза, молибдена в 1,7 раза, цинка – в 1,3 раза, кобальта – в 1,9 раза [19]. При исследовании степени загрязнённости почвы на расстоянии 25 км от Ванадзорского химического завода концентрации Zn, Cu и Pb в образцах уменьшились в среднем на 83%, а Co и Mo – в среднем на 63%. По мере удаления на 25 км от Разданского цементного завода в образцах почвы установлено достоверное снижение концентраций Zn и Pb в среднем на 78%, а Cu – на 53%.

Суммарный показатель загрязнения почв тяжёлыми металлами. На основании полученных данных были рассчитаны ряды геохимических коэффициентов, которые позволяют оценивать степень техногенной нагрузки на ОС региона вне зависимости

Таблица 1 / Table 1

Содержание тяжёлых металлов в почвах на различном удалении от источника загрязнения
The content of heavy metals in soils at various distances from the source of pollution

Удалённость от источника загрязнения, км Distance from the source of pollution, km	Содержание тяжёлых металлов в образцах почвы, мг/кг The content of heavy metals in soil samples, mg/kg				
	Cu	Pb	Zn	Mo	Co
Алавердский горно-металлургический комбинат / Alaverdi Mining and Metallurgical Combine					
0,5	840±40	415±13	416±14	40,0±0,5	71,0±2,2
1,5	788±28	395±16	324±11	38,6±0,5	63,1±2,0
2,5	629±20	241±8	173±6	31,0±0,5	40,0±1,4
5	352±11	113,0±2,4	161,2±2,6	14,00±0,16	31,5±1,1
10	182±4	39,2±0,5	90,0±1,2	7,5±0,09	32,0±1,1
15	84,1±1,0	28,0±0,5	75,8±1,0	6,0±0,07	20,0±0,4
25	54,2±0,9	21,6±0,3	69,8±1,5	2,4±0,03	16,00±0,34
Ванадзорский химический завод / Vanadzor Chemical Plant					
0,5	340,0±11	562±18	491±17	5,60±0,18	38,0±1,7
1,5	256,1±9	426±14	446±15	4,80±0,16	27,1±1,1
2,5	210,9±9	440±15	360±12	4,00±0,14	26,3±1,0
5	180,0±6	210±7	277±9	3,10±0,07	25,2±1,0
10	115,7±4	45,6±0,9	94,2±2,9	3,00±0,08	18,1±0,9
15	98,0±3,0	34,1±1,1	85,2±2,0	2,80±0,08	18,0±0,6
25	66,2±1,8	20,2±0,5	71,3±1,5	2,10±0,09	14,2±0,5
Каджаранский медно-молибденовый комбинат / Kajaran Copper-Molybdenum Combine					
0,5	612±26	323±10	415±16	144±6	190±10
1,5	422±18	213±8	291±11	43,4±1,8	141±7
2,5	165±5	47,4±1,5	249±9	17,8±0,7	86,1±2,9
5	76,1±2,7	30,2±1,0	187±5	8,7±0,4	61,5±3,7
10	78,1±2,0	22,4±0,7	80,4±2,3	7,8±0,3	45,4±1,8
15	73,9±3,1	26,4±0,9	71,1±2,6	6,70±0,24	39,8±1,2
25	69,3±1,5	23,2±0,5	74,0±3,0	5,70±0,29	37,7±1,1
Разданский цементный завод / Hrazdan Cement Plant					
0,5	101,2±1,8	92,4±1,9	229±4	–	–
1,5	75,8±1,4	87,1±1,8	215,6±3,9	–	–
2,5	72,0±1,2	82,7±1,2	189,4±3,6	–	–
5	64,2±1,2	78,4±1,1	163,7±3,1	–	–
10	59,3±0,9	42,4±0,6	95,3±1,3	–	–
15	54,4±0,5	31,6±0,4	53,0±0,9	–	–
25	47,3±0,4	18,1±0,13	55,2±0,8	–	–
Кларк/фон Clark/background	47/55	17/32	83/100	1,56/6	23/8

Примечание: «–» – концентрации Co и Mo не определены.
Note: “–” – the concentration of Co and Mo is not determined.

от того, действуют промышленные предприятия на данный момент времени или их эксплуатация приостановлена. Установлено, что чрезвычайно опасный уровень загрязнения был у образцов почвы, взятых на исследуемых площадках при удалении 0,5 км от источника загрязнения (табл. 2). При последующем трёхкратном удалении от предприятий значение коэффициента Z_c снижалось до умеренно опасного уровня за-

грязнённости. Начиная с 10 км удалённости от Каджаранского медно-молибденового комбината, загрязнение почвы является безопасным для человека. Вблизи Разданского цементного завода отмечали низкий уровень загрязнения по значениям Z_c в пределах до 5 км. При дальнейшем удалении от источника загрязнения в пределах до 25 км изменения коэффициента составило около 90%. Анализ почв двух недействующих предприятий по-

Таблица 2 / Table 2

Значения суммарного показателя загрязнения (Z_c) почв тяжёлыми металлами (Cu, Pb, Zn, Mo, Co) на разном удалении от источника загрязнения
The values of the total index number of contamination (Z_c) of soils with heavy metals (Cu, Pb, Zn, Mo, Co) at a distance from the source

Источник загрязнения Source of pollution	Удалённость от источника загрязнения, км Distance from the source of pollution, km						
	0,5	1,5	2,5	5	10	15	25
Алавердский горно-металлургический комбинат Alaverdi Mining and Metallurgical Combine	72,04	67,39	47,25	22,42	9,46	5,07	1,49
Ванадзорский химический завод Vanadzor Chemical Plant	47,49	36,15	34,42	18,61	4,99	3,69	2,02
Каджаранский медно-молибденовый комбинат Kajaran Copper-Molybdenum Combine	133,74	54,99	20,46	9,90	6,92	6,01	5,02
Разданский цементный завод* Hrazdan Cement Plant*	8,35	7,33	6,68	5,95	2,90	1,65	0,74

Примечание: * – значения суммарного показателя загрязнённости (Z_c) рассчитаны для Cu, Pb, Zn.
Note: * – the values of the total pollution index (Z_c) are calculated for Cu, Pb, Zn.

Таблица 3 / Table 3

Уровень опасности загрязнения почв по содержанию тяжёлых металлов
Soil pollution hazard level based on the content of heavy metals in soil samples

Удалённость от источника загрязнения, км Distance from the source of pollution, km	Коэффициент опасности загрязнения почв (K_o) Danger coefficient of soil contamination (K_o)				
	Cu	Pb	Zn	Mo	Co
Алавердский горно-металлургический комбинат / Alaverdi Mining and Metallurgical Combine					
0,5	15,3	13,1	4,2	6,7	8,9
1,5	14,3	12,3	3,2	6,4	7,9
2,5	11,4	7,5	1,7	5,2	5,1
5	6,4	3,5	1,6	2,3	3,9
10	3,3	1,2	0,9	1,3	4,1
15	1,5	0,9	0,8	1,1	2,5
25	1,2	0,7	0,7	0,4	2,1
Ванадзорский химический завод / Vanadzor Chemical Plant					
0,5	6,2	17,6	4,9	0,9	4,8
1,5	4,7	13,3	4,5	0,8	3,4
2,5	3,8	13,8	3,6	0,7	3,3
5	3,3	6,6	2,8	0,5	3,2
10	2,1	1,4	0,9	0,5	2,3
15	1,8	1,1	0,9	0,5	2,3
25	1,2	0,6	0,7	0,4	1,8
Каджаранский медно-молибденовый комбинат / Kajaran Copper-Molybdenum Combine					
0,5	11,1	10,1	4,2	24	17,6
1,5	7,7	6,7	2,9	7,2	10,8
2,5	3,2	1,5	2,5	3,1	7,7
5	1,4	0,9	1,9	1,5	5,7
10	1,4	0,7	0,8	1,3	5,2
15	1,3	0,8	0,7	1,1	4,7
25	1,3	0,7	0,7	1,1	2,1
Разданский цементный завод / Hrazdan Cement Plant					
0,5	1,8	2,9	2,3	–	–
1,5	1,4	2,7	2,2	–	–
2,5	1,3	2,6	1,9	–	–
5	1,2	2,5	1,6	–	–
10	1,1	1,3	1,1	–	–
15	1,0	1,0	0,5	–	–
25	0,9	0,6	0,6	–	–

Примечание: «–» – концентрации Co и Mo не определены.
Note: “–” – the concentration of Co and Mo is not determined.

казал, что значение суммарного показателя загрязнения по содержанию ТМ колеблется от умеренно опасного до опасного уровня в зависимости от удалённости от источника загрязнения (табл. 2).

Уровень опасности загрязнения почв тяжёлыми металлами. По установленным критериям, опасность загрязнения растёт прямо пропорционально содержанию ТМ в исследуемых образцах с учётом их ПДК [9, 13, 17]. При значении коэффициента $K_0 > 1$ опасность загрязнения высокая, особенно вблизи источника загрязнения, где она порой имеет запредельные значения.

На расстоянии 0,5 км от Алавердского горно-металлургического комбината значения K_0 были высокими для Cu, Pb и почти в два раза меньшими для Zn, Co и Mo. Для данных металлов на удалении 25 км от комбината значение коэффициента K_0 меньше 1 (табл. 3).

Максимально высокий уровень опасности загрязнения почв на расстоянии 0,5 км от Ванадзорского химического завода был по свинцу ($K_0 = 17,59$), а минимальный – для молибдена ($K_0 = 0,9$). По мере удаления от источника отмечается снижение загрязнения почвы, что выражается в значениях коэффициента опасности загрязнения почв. Так, на 25 км удалении от источника загрязнения для меди и кобальта K_0 в среднем равен 0,9, а для свинца, цинка и молибдена – 0,6.

При исследовании загрязнённости почвы вблизи Каджаранского медно-молибденового комбината, установлено, что загрязнение почвы вблизи предприятия имеет наибольшее значение по молибдену ($K_0 = 24$) и кобальту ($K_0 = 17,6$), а наименьшее – по цинку ($K_0 = 4,2$). На самом удалённом участке пробоотбора высокий уровень опасности загрязнения почв был по меди ($K_0 = 1,3$) и кобальту ($K_0 = 2,1$), а по свинцу, цинку и молибдену отмечали низкий уровень опасности ($K_0 = 0,81$).

Наибольший уровень опасности загрязнения почв вблизи Разданского цементного завода был по свинцу ($K_0 = 2,9$). Данная степень загрязнения сохранялась до 5 км от источника, далее наблюдалось её резкое снижение. Аналогичная ситуация наблюдалась по концентрации цинка ($K_0 = 2,3$). Загрязнение соединениями меди было стабильно высоким (табл. 3).

Заключение

Армения является регионом, где одной из причин нестабильности экологической

ситуации является бурное развитие горно-добывающей и обрабатывающей отраслей промышленности. Последнее неизбежно сопровождается широкомасштабным загрязнением ОС выбросами ЗВ и отходами промышленности, содержащими соединения ТМ. Анализ полученных результатов по всем четырём промышленным предприятиям показал, что верхний слой почв участков, находящихся на расстоянии до 5 км от источников, сильно загрязнён соединениями меди, цинка и свинца. По мере удаления от источников до 25 км происходит достоверное снижение концентраций ТМ в почве для всех элементов, а сравнительный ряд в целом представляется в следующей последовательности: $Zn > Cu > Pb > Co > Mo$.

Оценка степени загрязнения ОС близлежащих к предприятиям территорий по изменениям концентраций ТМ является информативным параметром. Так, в ходе проведённых исследований по оценке степени загрязнения почв выявлена интенсивная аккумуляция ТМ в почвах в непосредственной близости (в радиусе до 5 км) как действующих, так и не работающих на данный момент времени предприятий. По всей вероятности, процессы миграции ТМ на антропогенно загрязнённых территориях могут быть обусловлены рельефом местности и направлением ветра. Так, при удалении на 25 км от источника загрязнения с учётом доминирующих направлений ветра происходит существенное снижение антропогенной нагрузки на почву. Установлено наибольшее снижение суммарного содержания ТМ в 50 раз в случае с Алавердским горно-металлургическим комбинатом, а наименьшее – в 13 раз, при рассмотрении участков вблизи с Разданским цементным заводом. На территориях остальных предприятий (Каджаранский медно-молибденовый комбинат и Ванадзорский химический завод) установлено снижение значения коэффициента Z_c в среднем в 25 раз. Полученная информация может быть использована для учёта миграционной и аккумулирующей способности ТМ в почвах при организации природоохранных мероприятий в зависимости удалённости от источника загрязнения.

References

1. Resources of mediterranean and caucasus Countries / Eds. Y. Yigini, P. Panagos, L. Montanarella. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2013. 243 p. doi: 10.2788/91322

2. Rahman S.H., Khanam D., Tanveer M.A., Islam M.Sh., Ahsan M.A., Akbor M.A. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka export processing zone (DEPZ), Bangladesh: Implication of seasonal variation and indices // *Applied Sciences*. 2012. V. 2. P. 584–601. doi: 10.3390/app20305854
3. Dzhugaryan O.A. *Ecotoxicology of technogenic pollution*. Smolensk: Oikumena, 2000. 280 p. (in Russian).
4. Levshakov L.V. Rationing of the content of heavy metals in the soil // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2011. No. 3. P. 51–53 (in Russian).
5. Khan S., Cao Q., Zheng Y.M., Huang Y.Z., Zhu Y.G. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China // *Environmental Pollution*. 2008. V. 152. P. 686–692.
6. Olkova A.S., Mahanova E.V. Comparative analysis of the ecological state of soils near waste landfills of different periods of operation // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 4. P. 35–42 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-035-042
7. Ji K., Kim J.K., Lee M.J., Park S., Kwon H.J., Cheong H.K., Jang J.Y., Kim D.S., Yu S., Kim Y.W., Lee K.Y., Yang S.O., Jhung I.J., Yang W.H., Paek D.H., Hong Y.Ch., Choi K. Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near abandoned metal mines in Goseong, Korea // *Environmental Pollution*. 2013. V. 178. P. 322–328. doi: 10.1016/j.envpol.2013.03.031
8. Tkachenko T.E. Monitoring of industrial facilities as the basis for preventing technogenic emergencies // *Scientific and educational problems of civil protection*. 2013. No. 6. P. 62–65 (in Russian).
9. Vodyanitskiy Yu.N., Ladonin D.V., Savichev A.T. *Soil contamination with heavy metals*. Moskva: Soil Institute after. V.V. Dokuchaeva RAAS, 2012. 306 p. (in Russian).
10. Sukiasyan A.R. Influence of heavy metals content in water of small rivers used for irrigation of maize of Armenian population // *Theoretical and Applied Ecology*. 2018. No. 4. P. 40–45 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-040-045
11. Sukiasyan A.R., Kirakosyan A.A. Heavy metal pollution of river waters and coastal soils adjacent to the tailing storage facility territory // *Water and Ecology*. 2021. No. 3 (83). P. 79–84 (in Russian). doi: 10.23968/2305-3488.2020.25.3.79-84
12. Skugoreva S.G., Ashihmina T.Ya., Fokina A.I., Lyalina E.I. Chemical grounds of toxic effect of heavy metals (review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2016. No. 1. P. 4–13 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-014-019
13. Sukiasyan A.R. New approach to determining the environmental risk factor by the biogeochemical coefficients of heavy metals // *South of Russia: ecology, development*. 2018. V. 13. No. 4. P. 108–118 (in Russian). doi: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118
14. General information about the weather in Armenia (climate in Armenia) [Internet resource] <http://weather-archive.ru/Pogoda/Armenia> (Accessed: 16.03.2019).
15. Kirakosyan A.A., Sukiasyan A.R. Using MATLAB as an Express Method for Evaluating Experimental Results // *International Youth Conference: Information Technologies*. Yerevan, 2005. P. 34–37 (in Russian).
16. Tadevosyan A.V., Ambartsumyan A.F., Sukiasyan A.R., Kirakosyan A.A., Shamiyan A.G. Express-method for diagnostics of heavy metals // *Bulletin of the National Academy of Sciences of Armenia and SEUA, Series of Technical Sciences*. 2008. No. 61 (3). P. 402–406 (in Russian).
17. Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarkes of chemical elements as reference standards in ecogeochemistry // *Bulletin of the Moscow University. Ser. 5. Geography*. 2015. No. 2. P. 7–17 (in Russian).
18. Müller G. Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse Eine Bestandsaufnahme // *Chemical Zeitung*. 1981. V. 105. P. 157–164.
19. The decision of the RA Government “On approval of the procedure for assessing the influence of economic activities on land resources” [Internet resource] <https://www.arlis.am/DocumentView.aspx?DocID=13401> (Accessed: 03/16/2019).
20. Thematic maps of Armenia. Part A. P. 65 [Internet resource] <https://www.cadaastre.am/news/atlasA> (Accessed: 16.03.2019).
21. Kumar S.S., Singh N.A., Kumar V., Sunisha B., Preeti Sh., Deepali S., Nath Sh.R. Impact of dust emission on plant vegetation in the vicinity of cement plant // *Environ Eng Manag J*. 2008. V. 7. P. 31–35. doi: 10.1145/1346256.1346261
22. Rühling A., Tyler G. Changes in atmospheric deposition rates of heavy metals in sweden a summary of Nationwide Swedish Surveys in 1968/70–1995 // *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*. 2001. V. 1. P. 311–323. doi: 10.1023/A:1017584928458