



Геоэкология / Geoeology
Оригинальная статья / Original article
УДК 504.064.2.001.18
DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118

НОВЫЙ ПОДХОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПО БИОГЕОХИМИЧЕСКИМ КОЭФФИЦИЕНТАМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Астгик Р. Сукиасян

*Национальный политехнический университет Армении,
Ереван, Армения, sukiasyan.astghik@gmail.com*

Резюме. *Цель* – исследование и оценка фактора экологического риска по биогеохимическим коэффициентам ряда тяжелых металлов в прибрежных территориях ряда рек Дебет, Шнох и Аракс в различных почвенно-климатических регионах. *Методы.* Использован комбинированный метод оценки фактора экологического риска в системе почва-растение, основанный на значениях ряда биогеохимических коэффициентов. В качестве модельного растения использовалась сахарная кукуруза. *Результаты.* Согласно расчету суммарного показателя загрязненности тяжелых металлов при группировке по классам опасности согласно российскому ГОСТу наиболее загрязненной оказалась почва из населенного пункта Ушакерт, а наименее – Техут. Необходимость в использовании европейском подходе классификации тяжелых металлов по классам опасности состояла в учете предельно допустимых добавок последних. *Выводы.* Выяснено, что определение класса опасности, позволяющее группировать тяжелые металлы, в первую очередь обусловлено синергизмом ответной реакции биоты на степень загрязненности. Использование однолетнего растения позволяет в полной мере оценить миграционные особенности тяжелых металлов в системе почва-растение. Благодаря этому возможно использование кукурузы как в качестве растения-индикатора, так и в качестве природного фильтра прибрежных территорий на пути миграции тяжелых металлов. **Ключевые слова:** однолетнее растение, тяжелые металлы, почва, класс опасности, фактор экологического риска.

Формат цитирования: Сукиасян А.Р. Новый подход определения фактора экологического риска по биогеохимическим коэффициентам тяжелых металлов // Юг России: экология, развитие. 2018. Т.13, N4. С.108-118. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118

NEW APPROACH TO DETERMINING THE ENVIRONMENTAL RISK FACTOR BY THE BIOGEOCHEMICAL COEFFICIENTS OF HEAVY METALS

Astghik R. Sukiasyan

*National Polytechnic University of Armenia,
Yerevan, Armenia, sukiasyan.astghik@gmail.com*

Abstract. *Aim.* The aim is to study and assess the environmental risk factor according to the biogeochemical coefficients of a number of heavy metals in the coastal areas of the Debet, Shnokh and Aras rivers, in various soil and climatic regions. *Methods.* A combined method for assessing the environmental risk factor in the soil-plant system was applied, based on the values of a number of biogeochemical coefficients. Sweet corn was used as a model plant. *Results.* According to the total values of the contamination indices by heavy metals when grouped according to the Russian GOST hazard classes, the soils in Hushakert were the most polluted, while the least in Tekhut. The need to use the European approach to classify heavy metals by hazard class was to take into account the maximum allowable additives of the latter. *Conclusions.* It was found that the definition of the hazard class, which allows grouping heavy metals, is



primarily due to the synergy of the biota response to the degree of contamination. The use of an annual plant allows to fully appreciate the migration characteristics of heavy metals in the soil-plant system. Due to this, it is possible to use corn both as an indicator plant and as a natural filter for the coastal areas where there is migration of the heavy metals.

Keywords: annual plant, heavy metals, soil, hazard class, environmental risk factor.

For citation: Sukiasyan A.R. New approach to determining the environmental risk factor by the biogeochemical coefficients of heavy metals. *South of Russia: ecology, development*. 2018, vol. 13, no. 4, pp. 108-118. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-108-118

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата в последнее время стало самой горячей темой в геологии и природопользовании. Глобальное потепление влияет на бесчисленные процессы, которые с угрожающей скоростью изменяются на поверхности Земли и в ее водных ресурсах. В частности, интенсивное истощение рек является частью этой постоянно меняющейся системы. Изменение климатических условий приводит к драматическому развитию процессов, которые доминируют в эрозии и выветривании, приводя к композиционным и количественным изменениям в биохимии почвы. Поэтому актуальны сами по себе не только исследования по изменению климата, но и его причины, а также последствия данных необратимых процессов.

С другой стороны, развитие промышленности неизбежно сопровождается широкомасштабным загрязнением окружающей среды. В большинстве своем загрязнители поступают в окружающую среду в виде отходов конкретного источника загрязнения. Тяжелые металлы (ТМ) являются основной частью этих загрязнителей, хотя в большинстве случаев эти химически токсические элементы присутствуют в следовых концентрациях [1; 2]. Конечно же, сами по себе ТМ являются природными компонентами земной коры, определяя естественный фон их содержания в окружающей среде. Осаждение ионов ТМ в почве определенным образом «управляет» ее физико-химические

свойства, изменяя такие основные характеристики почвенного покрова как мобилизация, сорбция и адсорбция [3]. Очевидно, что антропогенные концентрационные изменения ТМ способствуют их неконтролируемому распределению в окружающей среде. В дальнейшем, вызванные необратимые концентрационные и химические модификации приводят к формированию комплексов, токсичность которых пагубно для среды обитания живых организмов [4].

В данном контексте состояние биоты ухудшается, так как сама почва является естественным поглотителем ТМ, что и приводит к загрязнению грунтовых вод [5; 6]. Растущая на загрязненных участках, растительность уже представляет собой прямую угрозу для человека. Однако из сложившейся ситуации возможно извлечь и положительные эффекты. Именно ввиду своей аккумулялирующей и концентрирующей способностей различных химических элементов, растительные организмы можно использовать при геоэкологическом исследовании загрязненности определенной территории на основе биомониторинга.

Целью представленной статьи является исследование и оценка фактора экологического риска по биогеохимическим коэффициентам ТМ в прибрежных территориях ряда рек Армении в различных почвенно-климатических регионах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования был выбран сорт ползубовидной сахарной кукурузы армянской популяции (*Maize Zea L.*), распространенной в Лорийском районе Армении вдоль реки Дебет (Одзун – 41°03'06" с. ш., 44°36'55" в. д.) и ее притока реки Шнох (Шнох – 41°08'52" с. ш.

44°50'16" в. д., Техут – 41°07'05" с. ш., 44°50'45" в. д.), а также в Армавирском районе вдоль реки Аракс (Ушакерт – 40°04'52" с. ш., 43°55'35" в. д.).

Подготовка образцов почвы. Образцы почвы при сухих погодных условиях отбирались методом конвертирования с глу-



бины произрастания корневой системы исследуемого растения, которая составляла в среднем до 120 см. Отбор точечных проб осуществлялся с помощью металл не содержащих инструментов. Объединенная проба составлялась путем смешивания точечных проб – не менее пяти точечных проб, взятых из одной пробной площадки. После образцы помещались в темные стеклянные контейнеры и транспортировались при температуре +4°C для лабораторных (инструментальных) измерений в течение 24 ч. После очистки от остатков корневой системы, насекомых и других твердых составляющих почва растиралась в ступне с пестиком и просеивалась через сито с диаметром отверстий не более 1 мм.

Подготовка образцов растения (зерна кукурузы). Созревшие зерна кукурузы сушились методом воздушно-сухой сушки в вытяжном шкафу до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Для озоления растительный материал помещали в муфельную печь с использованием предварительно прокаленных фарфоровых чашек при температуре +400°C до 1 ч. После образцы сухого остатка (зола) помещали в эксикатор для дальнейших инструментальных измерений.

Измерение концентрации химических элементов. Подготовленные образцы (зола зерен кукурузы и почва) помещались в специальные пластмассовые трубки «XRF Sample Cups» с диаметром 32 мм, на дно которых заранее вставлялась специальная полипропиленовая пленка. В верхнюю часть образца вставляли специальные уплотнители, после чего его закрывали крышкой, спрессовав образец до нужного состояния. Исследование осуществлялось направлением X-лучей непосредственно на образец в общей сложности до 210 сек. с помощью портативного анализатора «Thermo Scientific™ Niton™ XRF Portable Analyser».

Расчет биогеохимических коэффициентов. С целью характеристики процессов поглощения и накопления ТМ растением были рассчитаны:

а. потенциальная биохимическая подвижность ТМ из почвы в растение (K_n):

$$K_n = C_p / C_n,$$

где C_p – содержание ТМ в золе зерна кукурузы из определенного региона произрастания, мг/кг; C_n – содержание ТМ в соответствующей почве произрастания, мг/кг [7];

б. коэффициент концентраций (K_k):

$$K_k = C_n / C_\phi,$$

где C_ϕ – фоновое содержание ТМ в почве произрастания, мг/кг [8];

в. суммарный показатель загрязненности (Z_c):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ki} - (n - 1);$$

при этом, когда $Z_c < 16$, то значение соответствует уровню опасности, допустимого для человека, $16 < Z_c < 32$ – умеренный уровень опасности, $32 < Z_c < 128$ – опасный уровень, $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасный уровень, n – число ТМ;

г. индекс загрязнения ($I_{загр.}$):

$$I_{загр.} = (K_{n1} \times K_{n2} \times \dots \times K_{np})^{1/n},$$

а значение интервалов загрязнения определяется как отношение $K_n / I_{загр.}$. Так $K_n / I_{загр.} < 0.1$ соответствует незначительному загрязнению, $0.11 < K_n / I_{загр.} < 0.2$ – диапазон слабого загрязнения, $0.21 < K_n / I_{загр.} < 4$ – диапазон умеренного загрязнения, $4.1 < K_n / I_{загр.} < 8$ – диапазон сильного загрязнения, $K_n / I_{загр.} > 8.1$ – диапазон чрезмерное загрязнения; n – число ТМ;

д. количественное выражение фактора экологического риска (ФЭК):

$$\text{ФЭК} = K_n / K_t,$$

где K_t – коэффициент токсичности для данного загрязняющего химического элемента [9], а категории, используемые для описания фактора экологического риска (ФЭК) следующие: ФЭК < 40 (низкий экологический риск), $40 < \text{ФЭК} < 80$ (умеренный экологический риск), $80 < \text{ФЭК} < 160$ (значительный экологический риск), $160 < \text{ФЭК} < 320$ (высокий экологический риск), ФЭК > 320 (очень высокий экологический риск) [10].

Статистическая обработка. Все проведенные эксперименты имели 10 биологических и до 5 технических повторностей. Результаты были обработаны с помощью программы MatLab с учетом t-критерия Стьюдента. Наблюдаемые различия статистически значимы, так как при уровне значимости $p < 0,05$ рассчитанные значения критерия были больше критического [11; 12].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важных свойств почвы является ее буферность, чем обусловлена ее

устойчивость к антропогенным воздействиям. Загрязнение почвы при повышении со-



держании ТМ способствует поэтапной деградации среды, а процесс ее восстановления зависит от динамики миграции ТМ, исследования механизмов их сорбции и аккумуляции в растениях. Предрасположенность одного вида растения к отдельно взятому химическому элементу весьма индивидуальна, и в большей степени зависит от интенсивности метаболических процессов, где он задействован. Но при геохимической оценке состояния окружающей среды целесообразно учитывать ассоциативность в распределении химических элементов. Такой подход позволяет сгруппировать ТМ по степени опасности воздействия на окружающую среду с целью комплексного решения проблемы.

Еще в 1973 г. в принятой в ООН Программе глобального мониторинга, были указаны в качестве ТМ только Pb, Cd и Hg [13]. Позже согласно Программе ООН по окружающей среде список был расширен и состоял как из ТМ (Cu, Sn, V, Cr, Mo, Co, Ni), так и из металлоидов (Sb, As и Se) [14]. Почти в то же время был принят Российский санитарно-гигиенический ГОСТ 17.4.102-83, по которому к высокоопасным ТМ относятся As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, к умеренноопасным – Ni, Mo, Cu, Sb, а к малоопасным – Ba, V, W, Mn, Sr [15].

В целом, само антропогенное загрязнение по своей сути является полиэлементным. Поэтому содержание ТМ в почвах по данным изучения статистических параметров их распределения может служить региональной характеристикой загрязненности почв. Исходя из этого, рассчитывались значения коэффициента концентраций (K_k) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) в виде аддитивной суммы превышений значений K_k над фоновыми показателями [8], с последующей группировкой ТМ по классам опасности по [15].

Согласно полученным результатам (табл.1) среди ТМ из класса слабоопасных отмечен допустимый уровень опасности в Техуте и Одзуне, и небольшое увеличение на 6% в Шнохе. В населенном пункте Ушакерт уровень класса слабоопасных ТМ находится в пределах опасного. При анализе класса умеренноопасных ТМ наблюдается аналогичная картина с равномерным превышением уровня опасности для Техута и Одзуна до умеренного, а в Шнохе и Уша-

кертe – до опасного. В случае же рассмотрения класса сильноопасных ТМ все четыре региона находятся в пределах опасного уровня.

Гибкий поход к нормированию ТМ по классам опасности был развит в Нидерландах, за основу которого брался принцип опосредованного использования человеком почвенных ресурсов. На первом месте формирования такого подхода находится агропромышленный комплекс, в частности, посев сельскохозяйственных продуктов [9; 16].

Доминирование горного рельефа в Армении вынуждает приспособлять для использования в сельскохозяйственных целях большинство прибрежных речных территорий. Исходя из этого, возникает необходимость в оценке уровня опасного содержания ТМ в почве на основе экологотоксического принципа, путем сравнения действия разных химических элементов на почвенную биоту и растения. В этом контексте уместно использование для количественной оценки эффектов токсического действия ТМ на почвенную биоту и растения такую величину, как предельно допустимые добавки (ПДД) химических элементов, группируя их в классы по опасности воздействия (табл. 2). В этом случае ПДД рассчитаны на основе разнообразных экологотоксических многочисленных исследований только лишь для некоторых элементов [17].

Конечно, суммарный показатель загрязненности является количественной мерой для ТМ в виде аддитивной суммы превышений коэффициентов рассеяния последних, при их определенном геохимическом уровне. Но для оценки интенсивности миграции ТМ в системе почва-растение разработаны различные критерии, среди которых мерой общей загрязненности для отдельно взятой группы по опасности ТМ является индекс загрязненности.

Придерживаясь вышесказанного подхода, была определена потенциальная биохимическая подвижность ТМ из почвы в растение (K_n), на основании которого рассчитывался индекс загрязненности ($I_{загр}$) (табл. 3). Согласно представленным значениям по классу высокоопасных ТМ в населенном пункте Шнох отмечается умеренная загрязненность, в Техуте и Одзуне отмечается загрязненность в пределах значительного, а уже в Ушакерте согласно значению $I_{загр}$ загрязненность очень высокая. Численное значение величины $I_{загр}$ является низкой в группе умеренноопасных во всех исследу-



емых территориях. В классе малоопасных ТМ значительным загрязненным считается Техут, в остальных исследуемых территориях, судя по значению $I_{загр.}$, наблюдается умеренная загрязненность.

Далее, для оценки состояния окружающей среды рассмотрено отношение $K_{п}/I_{загр.}$ (табл. 4).

Таблица 1

Значения коэффициентов концентраций (K_k) и суммарного показателя загрязненности (Z_c) по классам опасности тяжелых металлов по [15]

Table 1

The coefficient values of concentration (K_k) and the total indicator of contamination (Z_c) by hazard classes of heavy metals according to [15]

Вариант Variant	Техут Tekhut	Шнох Shnokh	Одзун Odzun	Ушакерт Hushakert	
Слабоопасные Slightly hazardous	Ba	0.499	1.214	0.421	0.183
	Sr	0.490	0.550	0.577	0.689
	W	9.652	19.254	14.095	41.056
	Mn	0.594	0.872	0.551	1.299
	V	0.907	0.964	1.0140	1.930
	Z_c	8.143	18.855	12.658	41.158
Умеренноопасные Moderately hazardous	Sb	18.349	25.831	9.382	31.177
	Mo	1.232	2.639	1.759	2.136
	Cu	1.241	16.138	2.664	1.641
	Ni	1.1954	1.269	0.877	1.106
	Co	7.080	14.583	12.745	14.244
	Cr	0.780	0.762	1.069	4.017
	Z_c	24.877	56.221	23.496	49.320
Сильноопасные Highly hazardous	Cd	9.567	25.054	9.879	26.290
	As	1.701	8.389	1.958	3.144
	Pb	0.680	4.341	1.037	0.799
	Zn	0.724	3.398	0.866	1.315
	Hg	69.260	75.761	100.894	81.972
	Z_c	77.932	112.944	110.634	109.520

Таблица 2

Опасность тяжелых металлов в почвах по данным [9]

Table 2

The danger of heavy metals in soils according to [9]

Класс опасности Hazard class	Значения предельно допустимой добавки для нормативов (мг/кг) The values of the maximum permissible additive for the standards (mg/kg)
Высокоопасные (<1) Highly hazardous(<1)	Se (0.11), Tl (0.25), Sb (0.53), Cd (0.76)
Умеренноопасные (1-10) Moderately hazardous(1-10)	V(1.1), Hg (1.9), Ni (2.6), Cu (3.5), Cr (3.8), As (4.5), Ba (9.0)
Малоопасные (>10) Slightly hazardous(>10)	Zn (16), Co (24), Sn (34), Ce (44), Pb (55), Mo (253)



Таблица 3

Индекс загрязнения тяжелыми металлами по классам опасности по [9]

Table 3

The pollution index of heavy metals by hazard class according to [9]

Класс опасности Hazard class	Техут Tekhut	Шнох Shnokh	Одзун Odzun	Ушакерт Hushakert
$I_{\text{загр.}}$ – высокоопасные $I_{\text{пол.}}$ – highly hazardous	3.893	2.803	3.830	6.843
$I_{\text{загр.}}$ – умеренноопасные $I_{\text{пол.}}$ – moderately hazardous	0.533	0.469	0.683	0.655
$I_{\text{загр.}}$ – малоопасные $I_{\text{пол.}}$ – slightly hazardous	3.098	1.312	2.571	2.210

Таблица 4

Значения биохимической подвижности тяжелых металлов из почвы в растение ($K_{\text{п}}$) и интервалов загрязнения ($K_{\text{п}}/I_{\text{загр.}}$) по классам опасности по [9]

Table 4

The values of the biochemical mobility of heavy metals from soil to plant (K_{p}) and intervals of contamination ($K_{\text{п}}/I_{\text{пол.}}$) by hazard class according to [9]

Тяжелые металлы по классам опасности Heavy metals by hazard classes	Техут Tekhut		Шнох Shnokh		Одзун Odzun		Ушакерт Hushakert		
	$K_{\text{п}}$ $K_{\text{р}}$	$K_{\text{п}}/I_{\text{загр.}}$ $K_{\text{р}}/I_{\text{пол.}}$	$K_{\text{п}}$ $K_{\text{р}}$	$K_{\text{п}}/I_{\text{загр.}}$ $K_{\text{р}}/I_{\text{пол.}}$	$K_{\text{п}}$ $K_{\text{р}}$	$K_{\text{п}}/I_{\text{загр.}}$ $K_{\text{р}}/I_{\text{пол.}}$	$K_{\text{п}}$ $K_{\text{р}}$	$K_{\text{п}}/I_{\text{загр.}}$ $K_{\text{р}}/I_{\text{пол.}}$	
Высокоопасные Highly hazardous	Se	1.395	0.358	2.445	0.872	1.263	0.330	2.708	0.330
	Sb	0.54	0.139	0.678	0.242	1.131	0.296	0.721	0.296
	Cd	78.416	20.142	13.285	4.739	39.352	10.274	164.130	10.274
Умеренноопасные Moderately hazardous	V	0.169	0.318	0.313	0.669	0.176	0.258	0.085	0.129
	Hg	1.734	3.253	2.859	6.101	4.495	6.585	3.029	4.623
	Ni	0.280	0.526	0.491	1.049	1.150	1.684	2.010	3.066
	Cu	4.893	9.181	0.580	1.239	2.911	4.264	3.782	5.771
	Cr	1.236	2.319	2.596	5.539	0.796	1.166	0.235	0.358
	As	0.311	0.583	0.107	0.228	0.294	0.431	0.427	0.652
Малоопасные Slightly hazardous	Ba	0.079	0.148	0.070	0.149	0.112	0.163	0.265	0.404
	Mo	18.801	6.824	17.344	6.636	15.718	3.837	7.082	2.694
	Pb	0.926	0.299	0.086	0.066	0.402	0.156	1.117	0.506
	Zn	23.939	8.690	10.315	3.947	43.330	10.578	21.722	8.264
	Co	0.221	0.080	0.192	0.074	0.160	0.039	0.139	0.053



Среди элементов из группы высокоопасных ТМ Se и Sb отличаются широким значением K_n , диапазон значения которого колеблется от 13 (Шнох) до 164 (Ушакерт). По содержанию Se и Sb система почва-растение находится в состоянии умеренного заражения. В случае же кадмия можно констатировать, что во всех регионах исследований система почва-растение находится в чрезмерно загрязненном состоянии. Во второй группе умеренноопасных ТМ по показателям K_n кукуруза интенсивно поглощает и накапливает Hg и Cr в Шнохе. Аналогичная ситуация наблюдается в Техуте наряду с сильным поглощением Cu растением. В Одзуне и Ушакерте схожая картина по миграции химических элементов Hg, Cu и Ni из почвы в растение.

Для получения достоверной картины степени загрязненности сравнивались показания отношения $K_n/I_{загр.}$, согласно которому в Техуте по Hg и Cr, в Шнохе по Cu и Ni, а также в Одзуне и Ушакерте только по Ni наблюдается умеренное загрязнение. При этом чрезмерное загрязнение исследуемых территорий отмечено в Техуте по Cu. В населенном пункте Шнохе отдельно по Hg и Cr, в Одзуне и Ушакерте по Hg и Cu зафиксировано сильное загрязнение.

Из элементов второй группы особенно выделяются Ba, As и V, у которых диапазон значения коэффициента K_n не превышает единицы и, соответственно, численный эквивалент отношения $K_n/I_{загр.}$ колеблется в пределах от слабо до умеренно загрязненного в отдельных случаях.

В группе малоопасных ТМ в системе почва-растение отмечается слабая подвижность таких химических элементов, как кобальт и свинец, а диапазон значений отношения $K_n/I_{загр.}$ ограничен пределами от среднего до умеренного. Иначе обстоит дело с молибденом и цинком. Ориентируясь по значениям коэффициента K_n , кукуруза предрасположена к поглощению и накоплению данных ТМ, достигая своего наибольшего значения по Mo в Техуте (18.801) и Zn в Одзуне (43.330), а наименьшего значения по Mo в Ушакерте (7.082) и по Zn в Шнохе (3.947). Загрязненность по цинку является чрезмерным во всех исследуемых территориях, кроме Шноха. Здесь, как и по молибдену в Техуте, загрязненность сильная.

Очевидно, что только оценка диапазона загрязненности системы почва-растение не достаточна для создания полноценной картины экологической загрязненности прибрежных территорий. Поэтому далее была дана количественная оценка фактору экологического риска для каждого элемента, распределенная по классу опасности.

Согласно полученным результатам в классе высокоопасных ТМ Se и Sb отмечается низкий уровень экологического риска ($ФЭК < 40$) для всех исследуемых территорий (табл. 5). Неординарностью выделяется кадмий. Так, в Шнохе и Одзуне отмечается его низкий экологический риск ($ФЭК < 80$), а уже в Ушакерте – он достигает значительного уровня ($ФЭК < 160$). В классе умеренноопасных ТМ ФЭК по всем элементам был низкий во всех исследуемых территориях.

Таблица 5

Количественная оценка фактора экологического риска по классам опасности тяжелых металлов по [9]

Table 5

Quantitative assessment of the environmental risk by hazard class of the heavy metals according to [9]

Тяжелые металлы по классам опасности Heavy metals by hazard classes		Техут Tekhut	Шнох Shnokh	Одзун Odzun	Ушакерт Hushakert
Высокоопасные Highly hazardous	Se	0.153	0.269	0.139	0.298
	Sb	0.286	0.359	0.599	0.382
	Cd	59.596	10.097	29.908	124.739



Умеренноопасные Moderately hazardous	V	0.186	0.345	0.193	0.093
	Hg	3.295	5.432	8.541	5.756
	Ni	0.729	1.278	2.989	5.225
	Cu	17.125	2.031	10.189	13.237
	Cr	4.697	9.863	3.025	0.892
	As	1.399	0.481	1.323	1.923
	Ba	0.710	0.630	1.004	2.384
Малоопасные Slightly hazardous	Mo	4756.577	4388.057	3976.705	1791.847
	Pb	50.947	4.736	22.083	61.441
	Zn	383.029	165.043	693.282	347.547
	Co	5.302	4.615	3.838	3.329

Среди слабоопасных ТМ ситуация отличалась координально. Только по концентрации кобальта система почва-растение отличалась низким значением ФЭЖ, а по свинцу он колебался от умеренного (Техут,

Шнох) до значительного (Одзун, Ушакерт). Здесь особо следует отметить очень высокое значение ФЭЖ по цинку и молибдену, вне зависимости от исследуемых территорий заражения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды ТМ является одним из важнейших экологических проблем. Ситуация усугубляется при концентрационных изменениях в природных ресурсах, которые в первую очередь носят антропогенный характер [18]. Поэтому при установлении концентрационного уровня опасности ТМ определенным образом необходимо учитывать изменения структуры почвы, вызванные сельскохозяйственными работами. Здесь, наряду с установленными нормативными значениями предельно допустимых концентраций, необходимо зафиксировать и предельно допустимые добавки ТМ.

Сахарная кукуруза является распространенным приусадебным растением почти во всех регионах Армении, в особенности, он интенсивно культивируется в прибрежных территориях рек Дебет, Шнох и Аракс. Хотя рост кукурузы взаимосвязано с почвенно-климатическими условиями, но требования самого растения к почвенным условиям невысоки. Поэтому с учетом того, что

продолжительность вегетативного периода кукурузы колеблется от 110 до 140 дней, она может быть использована в качестве модельного растения при исследовании миграционных процессов ТМ в системе почва-растение.

Обобщая полученные результаты, можно констатировать, что вне зависимости от выбранного подхода для классификации опасности ТМ, у кукурузы отмечается определенная предрасположенность к поглощению и накоплению таких ТМ, как Cd, Mo, Zn и Hg. С учетом коэффициента концентраций, отражающего загрязненность данного исследуемого участка в целом, ТМ, классифицированные как мало- и умеренноопасные слабо аккумулируются в кукурузе. Очевидно, что при использовании кукурузы в качестве модельного растения, можно осуществить мониторинг степени загрязнения в системе почва-растение, тем самым выявляя миграционные направления в почвенном покрове по таким ТМ как Cd, Mo, Zn, Hg, Cr и Cu.



В свою очередь, количественная оценка загрязненности исследуемых территорий на основе фактора экологического риска для каждого ТМ выявила причину однозначно высоких содержаний. При этом суммарный показатель загрязненности имеет повышенные значения за счет включения в него ТМ, которые активны при миграции в системе вода-почва-растение [19]. Следовательно, миграция ТМ в системе почва-

растение с последующим накоплением в растительном организме может привести к таким метаболическим изменениям, которые в первую очередь влияют на рост сельскохозяйственных растений и их продуктивность [20]. Поэтому важно исследование посевных территорий на предмет миграционных изменений ТМ в структуре почвы, вызванных различными антропогенными воздействиями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wong S.C., Li X.D., Zhang G., Qi S.H., Min Y.S. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China // *Environmental Pollution*. 2002. V. 119. Iss. 1. P. 33-44. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00325-6
2. Seaward M.R.D. The use of lichens for environmental impact assessment // *Symbiosis*. 2004. V. 37. Iss. 1. P. 293-305.
3. Chukwu U.J., Anuchi S.O. Impact of abattoir wastes on the physicochemical properties of soils within Port Harcourt Metropolis // *International Journal of Engineering Science*. 2016. V. 5. Iss. 6. P. 17-21.
4. Mihaly-Cozmuta A., Mihaly Cozmuta L., Viman V., Vatca Gh., Varga C. Spectrometric methods used to determine heavy metals and total cyanides in accidental polluted soils // *American Journal of Applied Sciences*. 2005. V. 2. Iss. 1. P. 358-362. DOI: 10.3844/ajassp.2005.358.362
5. Bhattacharya D., Sarma P.M., Krishnan S., Mishra S., Lal B. Evaluation of genetic diversity among *Pseudomonas citronellolis* strains isolated from oily sludge-contaminated sites // *Applied and Environmental Microbiology*. 2003. V. 69. Iss. 3. P. 1435-1441. DOI: 10.1128/AEM.69.3.1435-1441.2003
6. Ediene V.F., Iren O.B., Idiong M.M. Effects of abattoir effluent on the physicochemical properties of surrounding soils in Calabar metropolis // *International Journal of Advanced Research*. 2016. V. 4. Iss. 8. P. 37-41. DOI: 10.21474/IJAR01/1183
7. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 1999. 768 с.
8. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2015. N 2. С. 7-17.
9. Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E.J. Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, considering background concentrations // RIVM. Report 601501001. Bilthoven. Netherlands. 1997. 260 p.
10. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // *Water Research*. 1980. Vol. 14. P. 975-1001.
11. Киракосян А.А., Сукиасян А.Р. Использование языка MATLAB в качестве экспресс-метода оценки экспериментальных результатов // *Международная молодежная конференция «Информационные технологии»*, Ереван, 23-25 июня, 2005. С. 34-37.
12. Коросов А.В., Горбач В.В. Компьютерная обработка биологических данных. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2017. 97 с.
13. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 271 с.
14. Состояние окружающей среды. Программа ООН по окружающей среде. М.: Изд-во ВИНТИ. 1980. 162 с.
15. ГОСТ 17.4.1.02-1983. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с.
16. Van de Plassche E.J., De Bruijn J.H.M. Towards integrated environmental quality objectives for surface water, sediments and soil for nine metals // RIVM. Report 679101005. Netherlands. Bilthoven. 1992. 130 p.
17. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // *Почвоведение*. 2012. N 3. С. 368-375.
18. Кроик А.А., Готвянская В.А., Диденкул М.Г. Закономерности накопления и распределения тяжелых металлов в системе «Почва растения» // *Журнал по геологии, географии и экологии*. 2012. Т. 20. N 3/2. С. 90-93. DOI: 10.15421/111218.
19. Сукиасян А.Р., Тадевосян А.В., Пирумян Г.П. Реакция на засуху различных линий армянской кукурузы в зависимости от почвенно-климатических условий // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*. 2018. N 2. С. 96-102. ULR: http://www.vestnik.vsu.ru/content/geograph/2018/02/to_s_en.asp (дата обращения: 01.06.2018)
20. Сукиасян А.Р., Пирумян Г.П. Влияние содержания тяжелых металлов в воде и почве на экологический стресс растения в различных климатических зонах Республики Армения // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2018. N 2. С. 87-94. DOI: 10.23968/2305 3488.2018.20.2.87-94



REFERENCES

1. Wong S.C., Li X.D., Zhang G., Qi S.H., Min Y.S. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution*, 2002, vol. 119, iss. 1, pp. 33-44. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00325-6
2. Seaward M.R.D. The use of lichens for environmental impact assessment. *Symbiosis*. 2004, vol. 37, iss. 1, pp. 293-305.
3. Chukwu U.J., Anuchi S.O. Impact of abattoir wastes on the physicochemical properties of soils within Port Harcourt Metropolis. *International Journal of Engineering Science*. 2016, vol. 5, iss. 6, pp. 17-21.
4. Mihaly-Cozmuta A., Mihaly Cozmuta L., Viman V., Vatca Gh., Varga C. Spectrometric methods used to determine heavy metals and total cyanides in accidental polluted soils. *American Journal of Applied Sciences*, 2005, vol. 2, iss. 1, pp. 358-362. DOI: 10.3844/ajassp.2005.358.362
5. Bhattacharya D., Sarma P.M., Krishnan S., Mishra S., Lal B. Evaluation of genetic diversity among *Pseudomonas citronellolis* strains isolated from oily sludge-contaminated sites. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, vol. 69, iss. 3, pp. 1435-1441. DOI: 10.1128/AEM.69.3.1435-1441.2003
6. Eדינה V.F., Iren O.B., Idiong M.M. Effects of abattoir effluent on the physicochemical properties of surrounding soils in Calabar metropolis. *International Journal of Advanced Research*, 2016, vol. 4, iss. 8, pp. 37-41. DOI: 10.21474/IJAR01/1183
7. Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow, Astreya Publ., 1999, 768 p. (In Russian)
8. Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography]. 2015, no. 2, pp. 7-17. (In Russian)
9. Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E. J. Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, considering background concentrations. RIVM. Report 601501001. Bilthoven, Netherlands, 1997, 260 p.
10. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 1980, vol. 14, pp. 975-1001.
11. Kirakosyan A.A., Sukiasyan A.R. Ispol'zovaniye yazyka MATLAB v kachestve ekspress-metoda otsenki eksperimental'nykh rezul'tatov [Using MATLAB as an express method for evaluating experimental results]. *Materialy mezhdunarodnaya molodezhnaya konferentsiya «Informatsionnyye tekhnologii»*, Yerevan, 23-25 iyunya, 2005 [Proceeding of International Conference "Information technology", Yerevan, 23-25 June 2005]. Yerevan, 2005, pp. 34-37. (In Russian)
12. Korosov A.V., Gorbach V.V. *Komp'yuternaya obrabotka biologicheskikh dannyykh* [Computer processing of biological data]. Petrozavodsk, Petr SU Publ., 2017, 97 p. (In Russian)
13. Dobrovolskiy V.V. *Geografiya mikroelementov. Global'noye rasseyaniye* [Geography of microelements. Global scattering]. Moscow, Mysl' Publ., 1983, 271 p. (In Russian)
14. *Sostoyaniye okruzhayushchey sredy. Programma OON po okruzhayushchey srede* [State of the environment. United Nations Environment Program] Moscow, VINITI Publ., 1980, 162 p. (In Russian)
15. GOST 17.4.1.02-1983. Nature protection. Soils. Classification of chemicals for pollution control. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 8 p. (In Russian)
16. Van de Plassche E.J., De Bruijn J.H.M. Towards integrated environmental quality objectives for surface water, sediments and soil for nine metals. RIVM. Report 679101005. Netherlands, Bilthoven, 1992, 130 p.
17. Vodyanitskii Y.N. Standards for the contents of heavy metals and metalloids in soils. *Eurasian Soil Science*. 2012, vol. 45, no. 3, pp. 321-328.
18. Kroik H.A., Hotvyanskaya V.A., Dydenkul M.G. Regularities of accumulation and distribution of heavy metals in the system "soil – plant". *Dnipropetrovsk University bulletin. Geology, geography*, 2012, vol. 20, no. 3/2, pp. 90-93. DOI: 10.15421/111218
19. Sukiasyan A.R., Tadevosyan A.V., Pirumyan G. P. The reaction to the drought of various lines of armenian maize depending on the soil-climatic conditions. *Vestnik VGU, Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2018, no 2, pp. 96-102. (In Russian) Available at: http://www.vestnik.vsu.ru/content/geograph/2018/02/to_c_en.asp. (accessed 01.06.2018)
20. Sukiasyan A.R., Pirumyan G.P. Impact of heavy metals content in water and soil on the ecological stress of plants in different climatic zones of the Republic of Armenia. *Water and ecology: problems and solutions*, 2018, no. 2, pp. 87-94. (In Russian) DOI: 10.23968/2305 3488.2018.20.2.87-94

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Астгик Р. Сукиасян – кандидат биологических наук, доцент факультета химических технологий и природоохранной инженерии Национального политехнического университета Армении, ул. Терьяна, 105, г. Ереван,

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Astghik R. Sukiasyan – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Faculty of Chemical Technologies and Environmental Engineering of the National Polytechnic University of Armenia, 0009,



0009, Республика Армения,
sukiasyan.astghik@gmail.com; тел.+37494568740

e-mail: Yerevan, 105 Teryana st., Republic of Armenia.
e-mail:sukiasyan.astghik@gmail.com;
tel.+37494568740

Критерии авторства

Астгик Р. Сукиасян собрала фактический материал, проанализировала данные, написала рукопись и корректировала ее до подачи в редакцию. Она несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Astghik R. Sukiasyan collected factual materials, analyzed the data, wrote and corrected the manuscript prior to submission to the editor. The author is responsible for avoiding the plagiarism, self-plagiarism or any other unethical issues.

Conflict of interest

The author declares that there are no conflicts of interest.

Поступила в редакцию 29.08.2018

Принята в печать 15.10.2018

Received 29.08.2018

Accepted for publication 15.10.2018