

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ И ПОЧВЕ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТРЕСС РАСТЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

Сукиасян А. Р., Пирумян Г. П.

IMPACT OF HEAVY METALS CONTENT IN WATER AND SOIL ON THE ECOLOGICAL STRESS OF PLANTS IN DIFFERENT CLIMATIC ZONES OF THE REPUBLIC OF ARMENIA

Sukiasyan A. R., Pirumyan G. P.

Аннотация

Введение: изучены особенности миграции ряда тяжелых металлов в триаде вода–почва–растение на примере бассейна рр. Дебет и Аракс. Выполнен анализ речной воды, прибрежной почвы и однолетнего растения (Maize Zea). **Методы и материалы:** в экспериментах образцы кукурузы отличались по основному ареалу произрастания, в отличных по геохимическим показателям регионах Армении, в качестве контрольного растения использовалась кукуруза инбредной линии В73. Моделирование засухи осуществлялось путем изменения относительной влажности почвы режимом полива. В случае умеренной засухи она составляла 43 %, при этом визуально не наблюдалось увядания листьев растения, во время моделирования сильной засухи — 34 %, в течение дня наблюдалось увядание листьев. Содержание тяжелых металлов осуществлялось с помощью портативного анализатора «Thermo Scientific™ Niton™ XRF Portable Analyser». **Результаты:** выявлена определенная пространственная динамика распределения химических элементов. Показано, что прибрежная почва выполняет роль природного фильтра при использовании антропогенно загрязненной речной воды, которая является практически активным источником распространения опасных микроэлементов в рассмотренных регионах. Так как основным переносчиком данных элементов в растениях является вода, рассмотрена физиологическая реакция отличных по региону произрастания растений на различные степени засухи. В большинстве пунктов (р. Дебет — Одзун, Шнох и Техут) наблюдений уровень содержания тяжелых металлов в условиях засухи находится в определенной корреляционной зависимости. Под действием усиленной засухи (р. Аракс — Ушакерт) наблюдается торможение роста растений на фоне повышенного содержания исследуемых микроэлементов. **Заключение:** полученные результаты позволяют осуществлять комплекс мероприятий по мониторингу степени загрязненности речной воды, которую используют в оросительных целях.

Ключевые слова: речная вода, загрязнение, тяжелые металлы, качество воды, экология.

Введение

В условиях возрастающего антропогенного давления техногенные потоки загрязняют окружающую среду тяжелыми металлами (ТМ), тем

Abstract

Introduction: the migration features of a number of heavy metals in the water-soil-plant triad are studied using the example of the Debit and Araks River Basin. Analysis of river water, coastal soil and an annual plant (Maize Zea) was performed. **Methods and materials:** in the experiments, the maize samples differed in the main distribution area, in the different geochemical distinct regions of Armenia, and as a control plant — the inbred maize line B73. The modeling of drought was carried out by changing the relative humidity of the soil by the irrigation regime. In the case of a moderate drought, it was 43%, with no visible wilting of the leaves of the plant, during severe drought modeling — 34%, wilting was observed during the day. The content of heavy metals was carried out using a portable analyzer Thermo Scientific™ Niton™ XRF Portable Analyzer. **Results:** a certain spatial dynamics of the distribution of chemical elements has been revealed. It is shown that coastal soil acts as a natural filter when using anthropogenically polluted river water, which is an almost active source of distribution of hazardous microelements in the regions examined. Since the basic carrier of those elements in plants is water, the physiological response of plants differing in the region of plant growth which various degrees to drought stress was considered. In most points of observations (The River Debet — Odzun, Shnokh and Teghut) the level of heavy metals in drought conditions was in certain correlation dependence. Under the influence of the intensified drought (The River Araks — Hushakert), the growth of plants was inhibited against the background of an increased content of trace elements. **Conclusion:** the obtained results allow to accomplish a complex of measures for monitoring the level of pollution of river water, which is used for irrigation purposes.

Keywords: river water, pollution, heavy metal, water quality, ecology.

самым изменяя геохимический цикл и вызывая процессы, передающиеся по трофическим цепям. При этом их отягощающее влияние наблюдается в самых малых дозах, а опасность заклю-

чается в том, что они способны накапливаться в растениях, активируясь при различных метаболических процессах роста и развития [12, 7]. Тем не менее, превышение их концентрации может привести к торможению процессов нормального функционирования растений, замедляя основные метаболические процессы [26, 27].

Особого внимания заслуживает вопрос неравномерного распределения ТМ в природных средах при сравнительно невысоком естественном их содержании в окружающей среде. Абиотическая стресс-засуха, усиленная антропогенным загрязнением речной воды, способна ограничивать рост растения, что является одной из причин отличия среднего уровня продуктивности растений в странах с сухим континентальным климатом. Отмечено, что в районах рудных месторождений концентрации некоторых из ТМ (Cu, Pb, Zn, Mo, Ni и др.) могут в сотни раз превышать фоновые значения [5, 6].

Исходя из вышесказанного, анализ сложившейся экологической ситуации, основанный на осуществлении биоиндикационного экологического мониторинга и выявлении пространственно-временных изменений в среде, является актуальной задачей.

Методы и материалы

Территория Армении отличается большим разнообразием геоэкологических зон с широко развитой сетью горных рек, воды которых интенсивно используются в оросительных целях. В экспериментах образцы кукурузы отличались по основному ареалу произрастания в Лорийском марзе РА вдоль р. Дебет (Одзун — 41° 03' 06" с. ш. 44° 36' 55" в. д., Шнох — 41° 08' 52" с. ш. 44° 50' 16" в. д., Техут — 41° 07' 05" с. ш., 44° 50' 45" в. д.) и Армавирском марзе вблизи р. Аракс (Ушакерт — 40° 04' 52" с. ш., 43° 55' 35" в. д.).

На территории Армении сахарная кукуруза является характерным приусадебным культурным растением. Она обладает определенной физиологической реакцией на стресс-засуху, проявляющуюся в различной степени в зависимости от места произрастания. В большей степени она культивируется в северных регионах вблизи береговых линий рек. В экспериментах были использованы ползубовидная сахарная кукуруза армянской популяции (*Maize Zea*), выращенная

в четырех отличных по геохимическим показателям регионах Армении, и в качестве контрольного растения — кукуруза инбредной линии В73 (Iowa Stiff Stalk Synthetic) [10].

Моделирование абиотической стресс-засухи осуществлялось в специально оборудованной системой кондиционирования климатической комнате: 16 ч день и 8 ч ночь, соответственно 25 и 18 °С, влажность 20 %, фотосинтетическая активная радиация 300 $\mu\text{Em}^{-2}\text{C}^{-1}$, которая обеспечивалась натриево-газоразрядными лампами высокого давления. Вазоны с семенами кукурузы поливались ежедневно в одно и то же время. В экспериментах использовалась почва фирмы Jiffy (Нидерланды).

В контрольных вазонах оптимальная относительная влажность почвы (ОВП) составляла 54 %. Моделирование засухи осуществлялось путем изменения ОВП режимом полива. В случае умеренной засухи ОВП составляла 43 %, при этом визуально не наблюдалось увядания листьев растения. Во время моделирования сильной засухи ОВП составляла 34 %, и в течение дня наблюдалось увядание листьев.

С целью определения физиологического показателя роста кукурузы в условиях стресс-засухи измерялась длина пятого листа кукурузы (длина от уровня земли до конца листа) в течение первых трех дней произрастания (скорость удлинения листа — СУЛ) во всех трех условиях полива. Были рассчитаны некоторые кинетические параметры роста кукурузы в данных экспериментальных условиях по изменению длины пятого листа до его статистически достоверного замедления роста.

Подготовка образцов растения (зерна кукурузы). Созревшие зерна кукурузы сушились 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 °С на 0,5...1 ч. Затем образцы сухого остатка (зола) помещали в эксикатор для дальнейших измерений.

Подготовка образцов воды. Отборы проб воды осуществляли при сухих природных условиях в одно и то же время суток. Отобранные в специальные контейнеры образцы воды транспортировали в холодных условиях (+4 °С) для

лабораторных инструментальных измерений в течение 24 ч. В лаборатории сначала взвешивали чистую пустую стеклянную чашку, затем ее заполняли исследуемым образцом воды, помещали в вытяжной шкаф (до 14 ч при комнатной температуре), доводя до стабильного сухого состояния методом воздушной сушки с последующим образованием сухого остатка в чашке. После чашки вместе с осадком опять взвешивали и определяли весовую разницу между пустой и полной чашками как вес сухого остатка. В инструментальном измерении использовали полученный сухой остаток.

Подготовка образцов почвы. Образцы почвы при сухих погодных условиях отбирали методом конверта с глубины произрастания корневой системы исследуемого растения (в среднем 100...120 см). Отбор точечных проб осуществляли неметаллическими инструментами. Объединенную пробу составляли путем смешивания точечных проб, не менее пяти точек, взятых из одной пробной площадки. После образцы помещали в темные стеклянные контейнеры и транспортировали при температуре +4 °С для лабораторных (инструментальных) измерений в течение 24 ч. После очистки от остатков корневой системы, насекомых и других твердых составляющих почву растирали в ступне с пестиком и просеивали через сито с диаметром отверстий не более 1 мм.

Измерение концентрации химических элементов. Подготовленные образцы (кукурузы, воды и почвы) помещали в специальные пластмассовые трубки «XRF Sample Cups» диаметром 32 мм, на дно которых заранее вставлялась специальная полипропиленовая пленка. Сверху образца вставляли специальный уплотнитель и крышкой прессовали образец до нужного состояния.

Исследование образца осуществлялось направлением X-лучей непосредственно на образец в общей сложности до 210 с с помощью портативного анализатора «Thermo Scientific™ Niton™ XRF Portable Analyser».

Полученные результаты сравнивали с принятыми нормативами. Все проведенные эксперименты имели 10 биологических и до 5 технических повторностей и статистически обработаны [29].

Результаты и обсуждение

По своей природе ТМ загрязняют все составляющие части биосферы [4]. Вне зависимости от источника их поступления (природный или антропогенный) любые изменения содержания ТМ в окружающей среде чреваты глобальными последствиями [15]. Наряду с этими ожидаемыми изменениями, не редки ситуации со значительным повышенным содержанием самого природного фона, например, таких ТМ, как Zn, Cd, Pb [31]. В этом случае к числу абиотических источников поступления ТМ в окружающую среду относятся горные породы, из продуктов выветривания которых сформировался почвенный покров [17]. В указанных обстоятельствах ТМ образуют большое количество природных химических соединений — сульфатов, сульфидов, фосфатов, карбонатов и др. Многие из них встречаются совместно в залежах полиметаллических руд. Например, в число рудных компонентов месторождений свинца входят Zn, Cu, Ag, Cd, Se, Hg, Bi, Au и ряд других элементов [25]. Дальнейшее развитие сценария с выветриванием горных пород сопровождается уже проникновением простых и комплексных ионов ТМ в глинистые минералы, что чревато последующим связыванием с органическим веществом почвы. А такое распространение ТМ приводит уже к их концентрационным изменениям в воздухе, поверхностных и грунтовых водах.

Вода является основным провайдером для большинства химических элементов по корневой системе растений, основная функция которой состоит в поглощении воды и неорганических питательных веществ, обеспечивающих рост и развитие самого растения. Через корневую систему растений осуществляется основной контакт ионов ТМ, значительная концентрация которых накапливается именно здесь, а не в надземных частях растений [3]. Избыток ионов ТМ в тканях растений может повлиять на абсорбцию воды из почвы и снизить содержание воды в корнях. В [16] показано, что дефицит воды в корнях возникает в результате повышения концентрации Cd, Ni и Zn. В этом случае следует различать действие ТМ на перенос воды в растении от их влияния на доступность воды в почве, на рост растений, ограниченное поглощение воды. В почвах с высоким содержанием растворимых

солей ТМ осмотический потенциал в почвенном растворе может быть ниже, чем потенциал внутри клетки. В этих условиях резко ограничивается скорость поглощения воды растениями, что приводит к осмотическому стрессу [18]. Установлено, что осмотический стресс возможен, если пороговая концентрация солей ТМ составляет 10^{-3} М [8]. В этом случае ионы ТМ редко достигают концентрации раствора, достаточной для того, чтобы вызвать осмотические нарушения в растениях, приводящие к летальной токсичности. Поглощение воды в растениях косвенно регулируется также морфологическими изменениями в самой корневой системе [24]. Почва обладает избирательной накопительной способностью к определенным химическим элементам, тем самым провоцируя изменение скорости их поступления в произрастающей на ней растительности [28]. Способность растения проявлять биоиндикационную активность в первую очередь будет определяться состоянием почвы произрастания, ее увлажненности [23]. Фактически сахарную кукурузу можно использовать в качестве растения-биоиндикатора при исследовании загрязненности ТМ речной воды, используемой в оросительных целях.

Известно, что ТМ влияют на ряд морфологических и анатомических особенностей, что в свою очередь влияет на потерю воды через листья [1]. Ранее в наших работах было показано влияние водного дефицита на тургор листьев кукурузы [30, 21]. В процессе адаптации растения не последнюю роль играют концентрационные изменения ТМ в среде, особенно в условиях ограниченного поступления воды [11]. Данные химические элементы и их соединения, попадая в почву, претерпевают ряд изменений, рассеиваются или накапливаются в зависимости от характера геохимических барьеров, свойственных данной территории и определяют их миграцию по основным составляющим биоты с дальнейшим попаданием в организм человека [19].

В первой серии экспериментов определялось значение концентрации некоторых опасных микроэлементов в триаде вода–почва–растение в период созревания растений, которые были выращены на отличных почвах и орошались водами бассейна рр. Дебет и Аракс (табл. 1).

Содержание цинка в образцах воды, используемой в оросительных целях для растений, произрастающих в прибрежной зоне бассейна рр. Дебет и Аракс, оказалось наиболее высоким по сравнению с другими микроэлементами во всех регионах. На фоне невысоких концентрационных значений Cd, As и Pb из всех исследуемых регионов только в образцах воды из Техута отмечена сравнительно высокая концентрация Pb. Наименее активными в этом контексте оказались Hg и Se во всех образцах. Вероятно, осаждение взвешенных частиц, обладающих способностью адсорбировать ионы меди, переходящие в донные отложения, приводит к наблюдаемому эффекту.

Далее в экспериментах определяли содержание исследуемых ТМ в пробах береговых почв произрастания кукурузы. При сравнении образцов почвенного материала, взятых из всех пунктов выращивания растений, несмотря на различие почвенной текстуры, отмечено наибольшее содержание Zn и наименьшее содержание Hg и Se. В данной серии экспериментов в образцах почв из Шноха концентрации всех исследуемых ТМ были завышены.

В следующей экспериментальной серии измерялись концентрации исследуемых микроэлементов в спелых зернах кукурузы. В этом случае для сравнительного анализа в качестве биологического контроля использовалась кукуруза инбредной линии В73. В процессе исследований было установлено, что сахарная кукуруза обладает избирательной накопительной активностью данных ТМ. Концентрации Pb, Se, As и Hg в образцах растений из всех четырех регионов были зафиксированы на уровне их содержания в контрольном экземпляре. Иначе обстоит дело с цинком и кадмием. Содержание Zn было выше по сравнению с В73 в образцах растений из Ушакерта на 10 % и Одзуна на 22 % и, соответственно, ниже в растительных образцах из Техута на 34 % и Шноха на 74 %. Концентрация кадмия была выше по сравнению с В73 только в образцах зерен кукурузы из Ушакерта на 44 %. В остальных рассматриваемых случаях уровень Cd был ниже в растительных образцах, выращенных в Одзуне и Техуте, в среднем на 81 % и почти не содержался в зернах кукурузы из Шноха.

Содержание некоторых тяжелых металлов в триаде вода–почва–растение

Пункт сбора образцов (с указанием почвы произрастания)	Zn	Cd	Hg	As	Se	Pb
Шнох (Коричневая лесная)	Содержание тяжелого металла в оросительной воде, мг/л					
	0,83655	0,03487	–	0,01942	0,015881	0,03019
Техут (Коричневая лесная)	0,38364	0,08406	–	0,17462	0,092105	0,40286
Одзун (Горный чернозем)	0,37729	0,0391	–	0,03702	0,020085	0,03386
Ушакерт (Полупустынная каштановая)	0,59987	0,10623	–	0,26372	0,046495	0,07552
Содержание тяжелого металла в почве, мг/г						
Шнох (Коричневая лесная)	0,25488	0,01603	0,00492	0,04698	0,00205	0,0738
Техут (Коричневая лесная)	0,05433	0,00612	0,0045	0,00952	0,00185	0,01156
Одзун (Горный чернозем)	0,06492	0,00632	0,00656	0,01096	0,00258	0,01763
Ушакерт (Полупустынная каштановая)	0,09863	0,01683	–	0,01761	0,00298	0,01358
Содержание тяжелого металла в зернах кукурузы, мг/г						
Шнох (Коричневая лесная)	0,518208	0,041987	0,014079	0,005024	0,005001	0,001252
Техут (Коричневая лесная)	1,30057	0,48014	0,007807	0,00296	0,00258	0,0107
Одзун (Горный чернозем)	2,81315	0,2488	0,02948	0,00323	0,00325	0,00708
Ушакерт (Полупустынная каштановая)	2,1425	2,76159	0,03577	0,00752	0,00806	0,01517
Контроль – В73 (почва фирмы Jiffy)	1,97957	4,30264	0,17967	0,00265	0,08037	0,18035

В дальнейших исследованиях встал вопрос адаптации растительных организмов, которым присущи различные способы защиты при столкновении со стрессовыми состояниями, вызванными повышенными концентрациями ТМ: толерантность или детоксикация. Установлено, что при интоксикации отмечается предотвращение возникновения стресса с помощью ограничения поглощения элемента из почвы корневой системы растения [14]. Работа таких адаптационных механизмов достигается с помощью процессов иммобилизации металлов в комплексообразовании с помощью органических соединений [9]. Далее, в случае драматического развития данного сценария, если ТМ удастся проникать в растительные ткани, то растение активирует механизмы детоксикации, сущность которых заключается в обособлении ТМ в различных внутриклеточных отсеках (например, вакуоль) [2, 25]. С другой стороны, как только ТМ удастся преодолеть биофизический барьер и ионы металлов входят в ткани и клетки, растение начинает активировать другие механизмы клеточной защиты, чтобы свести на нет и уменьшить неблагоприятные последствия ТМ. Очевидно, что включение любых из этих механизмов и биомолекул предопределяется видом растения и степенью его толерантности к ТМ [20].

В наших экспериментах моделирование засухи для растения-биоиндикатора на стадии дифференциации зачаточного стебля осуществлялось путем ограничения полива [22]. Известно, что относительное содержание воды является одним из основных показателей, характеризующих водный статус растений в условиях водного стресса. Отражая баланс между поступлением и испарением воды, он показывает насколько условие сильного водного дефицита влияет на растение в данном состоянии по сравнению с условием полного водонасыщения его тканей. Под действием засухи происходит снижение относительного содержания воды, которое тем сильнее, чем интенсивнее и продолжительнее засуха [13]. При умеренной и сильной стресс-засухах определяли СУЛ пятого листа кукурузы и его длину до фазы метелкования (табл. 2).

По показаниям СУЛ умеренный стресс вызывал торможение роста растения, при этом в условиях полупустынной земли с меньшей степенью (возможна территориальная адаптация). Результаты по сильной стресс-засухе показали наименьшую степень ингибирования СУЛ в Ушакерте. Остальные образцы имеют схожую с генетическим контролем ответную реакцию на стресс-засуху. По истечении времени физиологическое замедление роста позволило определить толерантность образцов растений к стресс-за-

Сравнение величины скорости удлинения листа и толерантности в различных условиях моделируемой засухи

Пункт сбора образцов (с указанием почвы произрастания)	Умеренный стресс		Сильный стресс	
	скорость удлинения листа, %	толерантность, %	скорость удлинения листа, %	толерантность, %
Шнох (Коричневая лесная)	27	17,8	68	44,5
Техут (Коричневая лесная)	19	14,7	71	49,3
Одзун (Горный чернозем)	31	21,0	74	40,3
Ушакерт (Полупустынная каштановая)	14	14,3	46	38,7
Контроль-V73 (почва фирмы Jiffy)	22	7,3	73	34,9

сухе. В среднем толерантность кукурузы к умеренному стрессу составила 16,95 %, при этом контрольный образец V73 отвечал низкой степенью толерантности — 7,3 %. Определенные изменения вызвала сильная стресс-засуха. В среднем все образцы обладали повышенной (почти в три раза) толерантностью засухе, что составило 43,2 %. Эта величина приближалась к значению толерантности для контрольного образца (34,9 %).

Заключение

Полученный экспериментальный материал по миграции тяжелых металлов в триаде вода-почва-растение позволяет осуществить комплекс мероприятий по мониторингу степени загрязненности речной воды, которую используют в оросительных целях. Химический состав рр. Дебет и Аракс, образующийся на основе ландшафтно-климатических условий, претерпевает большие изменения в зависимости от антропогенного фактора стресса для окружающей среды. Состояние качества речной воды остается напряженным, но эффект слабеет, так как сама прибрежная почва выступает в качестве «природного фильтра» для растений, произрастающих на данных территориях. Распределение ТМ в растениях в большей степени определяется также их генотипом, но избыток токсичных элементов влияет на абсорбцию воды из почвы, уменьшая содержание воды в корневой системе.

Использование в проведенных исследованиях однолетнего растения в качестве биоиндикатора было продиктовано необходимостью избежать действия «экологической» памяти растений. Установлено, что пространственная изменчивость содержания опасных микроэлементов в триаде вода-почва-растение напрямую зависит от уров-

ня антропогенной нагрузки на конкретном участке по удаленности от реки. В зависимости от содержания влаги в почве именно количество поступившей в клетку воды отражается на физиологическом уровне, регулируя рост и развитие растения при стресс-засухе. При этом в зависимости от поступления воды в почву на произрастание кукурузы определенную избирательность проявляет химический состав речной воды на предмет содержания некоторых ТМ.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета по науке Министерства образования и науки Республики Армения (проект № 15Т-2Н409).

Литература

1. Barceló, J., Poschenrieder, Ch. (1990). Plant water relations as affected by heavy metal stress. A review. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 13, № 1, pp. 1–37.
2. Dalvi, A., Bhalerao, S. A. (2013). Response of plants towards heavy metal toxicity: an overview of avoidance, tolerance and uptake mechanism. *Annals of Plant Sciences*, vol. 2, № 9, pp. 362–368.
3. Feleafel, M. N., Mirdad, Z. M., Hassan, A. Sh. (2014). Effecte of NPK Fertigation Rate and Starter Fertilizer on the Growth and Yield of Cucumber Grown in Greenhouse. *Journal of Agricultural Science*, vol. 6, № 9, pp. 81–92.
4. Flora, S. J. S., Mittal, M., Mehta, A. (2008). Heavy metal induced oxidative stress & its possible reversal by chelation therapy. *Indian Journal of Medical Research*, vol. 128, № 4, pp. 501–523.
5. Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, vol. 53, № 366, pp. 1–11.
6. Hossain, M. A., Piyatida, P., da Silva, J. A. T., Fujita, M. (2012). Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. *Journal of Botany*, vol. 2012, pp.1–37.

7. Khan, H., Ali, E., Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals — concepts and applications. *Chemosphere*, vol. 91, № 7, pp. 869–881.
8. Levitt, J. (1972). *Responses of Plants to Environmental Stresses*. New York: Academic Press, 698 p.
9. Furini, A. (ed.) (2012). *Plants and Heavy Metals*. Dordrecht: Springer, 86 p.
10. McMullen, M. D. (2009). Genetic Properties of the Maize Nested Association Mapping Population. *Science*, vol. 325 (737), pp. 737–740.
11. Moussa, H. R., Abdel-Aziz, S. M. (2008). Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotype to water stress. *Australian Journal of Crop Science*, vol. 1, pp. 31–36.
12. Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, vol. 8, № 3, pp. 199–216.
13. Omae, N., Kumar, A., Egawa, Y. (2005). Midday Drop of Leaf Water Content Related to Drought Tolerance in Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Production Science*, vol. 8, № 4, pp. 465–467.
14. Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 52, № 3, pp. 199–223.
15. Rascio, N., Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyper accumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, vol. 180, № 2, pp. 169–181.
16. Rucinska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiol Plant*, vol. 38, pp. 257–269.
17. Schutzendube, L. A., Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *The Journal of Experimental Botany*, vol. 53, № 372, pp. 1351–1365.
18. Seregin, I. V., Ivanov, V. B. (2001). Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 48, № 4, pp. 523–544.
19. Sharp, R. E., Poroyko, V., Hejlek, L. G., Spollen, W. G. (2004). Root growth maintenance during water deficits: physiology to function algorithms. *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, pp. 2343–2351.
20. Solanki, R., Dhankhar, R. (2011). Biochemical changes and adaptive strategies of plants under heavy metal stress. *Biologia*, vol. 66, № 2, pp. 195–204.
21. Sukiasyan, A., Kirakosyan, A., Tadevosyan, A., Aslikyan, M., Gharajyan, K. (2017). Peculiarities of accumulation of some heavy metals on the chain of water-soil-plant. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, vol. 2, № 5, pp. 1534–1541.
22. Sukiasyan, A. R. (2016). Regulation of Water Balance of the Plant from the Different Geo-Environmental Locations. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, vol. 8, № 3, pp. 846–849.
23. Tangahu, B. V., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2011, pp. 1–32.
24. Vaculík, M., Landberg, T., Greger, M., Luxová, M., Stolaríková, M., Lux, A. (2012). Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, vol. 110, № 2, pp. 433–443.
25. Viehweger, K. (2014). How plants cope with heavy metals. *Botanical Studies*, vol. 55, № 35, pp. 1–12.
26. Wuana, R. A., Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, vol. 2011, pp. 1–21.
27. Zengin, F. K., Munzuroglu, O. (2005). Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, vol. 47, № 2, pp. 157–164.
28. Кабата-Пендиас, А., Пендиас, Х. (1989). Микроэлементы в почвах и растениях. М.: «Мир», 440 с.
29. Киракосян, А. А., Сукиасян, А. Р. (2005). Использование языка MATLAB в качестве экспресс-метода оценки экспериментальных результатов. В: Информационные технологии, Ереван, сс. 34–37.
30. Сукиасян, А. Р., Тадевосян, А. В., Пирумян, Г. П. (2016). Миграция ряда тяжелых металлов в системе почва–растение на фоне процессов водопоглощения в растении. *Естественные и технические науки*, № 3, сс. 32–34.
31. Титов, А. Ф., Таланова, В. В., Казнина, Н. М., Лайдинен, Г. Ф. (2007). Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 172 с.

References

1. Barceló, J., Poschenrieder, Ch. (1990). Plant water relations as affected by heavy metal stress. A review. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 13, № 1, pp.1–37.
2. Dalvi, A., Bhalerao, S. A. (2013). Response of plants towards heavy metal toxicity: an overview of avoidance, tolerance and uptake mechanism. *Annals of Plant Sciences*, vol. 2, № 9, pp. 362–368.
3. Felefele, M. N., Mirdad, Z. M., Hassan, A. Sh. (2014). Effecte of NPK Fertigation Rate and Starter Fertilizer on the Growth and Yield of Cucumber Grown in Greenhouse. *Journal of Agricultural Science*, vol. 6, № 9, pp. 81–92.
4. Flora, S. J. S., Mittal, M., Mehta, A. (2008). Heavy metal induced oxidative stress & its possible reversal by chelation therapy. *Indian Journal of Medical Research*, vol. 128, № 4, pp. 501–523.
5. Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, vol. 53, № 366, pp. 1–11.
6. Hossain, M. A., Piyatida, P., da Silva, J. A. T., Fujita, M. (2012). Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. *Journal of Botany*, vol. 2012, pp.1–37.
7. Khan, H., Ali, E., Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere*, vol. 91, № 7, pp. 869–881.
8. Levitt, J. (1972). *Responses of Plants to Environmental Stresses*. New York: Academic Press, 698 p.
9. Furini, A. (ed.) (2012). *Plants and Heavy Metals*. Dordrecht: Springer, 86 p.

10. McMullen, M. D. (2009). Genetic Properties of the Maize Nested Association Mapping Population. *Science*, vol. 325 (737), pp. 737–740.
11. Moussa, H. R., Abdel-Aziz, S. M. (2008). Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotype to water stress. *Australian Journal of Crop Science*, vol. 1, pp. 31–36.
12. Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, vol. 8, № 3, pp. 199–216.
13. Omac, N., Kumar, A., Egawa, Y. (2005). Midday Drop of Leaf Water Content Related to Drought Tolerance in Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Production Science*, vol. 8, № 4, pp. 465–467.
14. Patra, M., Bhowmik, N., Bandyopadhyay, B., Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 52, № 3, pp. 199–223.
15. Rascio, N., Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyper accumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, vol. 180, № 2, pp. 169–181.
16. Rucinska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiol Plant*, vol. 38, pp. 257–269.
17. Schutzendube, L. A., Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *The Journal of Experimental Botany*, vol. 53, № 1, pp. 1351–1365.
18. Seregin, I. V., Ivanov, V. B. (2001). Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 48, № 4, pp. 523–544.
19. Sharp, R. E., Poroyko, V., Hejlek, L. G., Spollen, W. G. (2004). Root growth maintenance during water deficits: physiology to function to genomics. *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, pp. 2343–2351.
20. Solanki, R., Dhankhar, R. (2011). Biochemical changes and adaptive strategies of plants under heavy metal stress. *Biologia*, vol. 66, № 2, pp. 195–204.
21. Sukiasyan, A., Kirakosyan, A., Tadevosyan, A., Aslikyan, M., Gharajyan, K. (2017). Peculiarities of accumulation of some heavy metals on the chain of water-soil-plant. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, vol. 2, № 5, pp. 1534–1541.
22. Sukiasyan, A. R. (2016). Regulation of Water Balance of the Plant from the Different Geo-Environmental Locations. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, vol. 8, № 3, pp. 846–849.
23. Tangahu, B. V., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2011, pp. 1–32.
24. Vaculík, M., Landberg, T., Greger, M., Luxová, M., Stolaríková, M., Lux, A. (2012). Silicon modifies root anatomy, and uptake and subcellular distribution of cadmium in young maize plants. *Annals of Botany*, vol. 110, № 2, pp. 433–443.
25. Viehweger, K. (2014). How plants cope with heavy metals. *Botanical Studies*, vol. 55, № 35, pp. 1–12.
26. Wuana, R. A., Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, vol. 2011, pp. 1–21.
27. Zengin, F. K., Munzuroglu, O. (2005). Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, vol. 47, № 2, pp. 157–164.
28. Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1989). *Микроэлементы в почвах и растениях* [Microelements in soils and plants]. М.: «Мир», 440 p. (in Russian).
29. Kirakosyan, A. A., Sukiasyan, A. R. (2005). Ispol'zovanie yazyka MATLAB v kachestve ekspress-metoda ocenki eksperimental'nyh rezul'tatov [Using the MATLAB language as an express method for evaluating experimental results]. In: *Informacionnye tekhnologii*. Erevan, pp. 34–37. (in Russian).
30. Sukiasyan, A. R., Tadevosyan, A. V., Pirumyan, G. P. (2016). Migratsiya ryada tyazhelykh metallov v sisteme pochva-rastenie na fone processov vodopogloshcheniya v rastenii [Migration of a number of heavy metals in the soil-plant system against the background of water absorption processes in the plant]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, № 3, pp. 32–34. (in Russian).
31. Titov, A. F., Talanova, V. V., Kaznina, N. M., Lajdinen, G. F. (2007). Ustojchivost' rastenij k tyazhelym metallam [Plant resistance to heavy metals]. *Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN*, 172 p. (in Russian).

Авторы

Сукиасян Астгик Рафиковна, канд. биол. наук

Национальный политехнический университета Армении

E-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Пирумян Геворг Петросович, д-р техн. наук, профессор

Ереванский государственный университет

E-mail: gevorg_pirumyan@mail.ru

Authors

Sukiasyan Astghik Rafikovna, PhD in Biological Science

National Polytechnic University of Armenia

E-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Pirumyan Gevorg Petrosovich, Dr. of Engineering, Professor

Yerevan State University

E-mail: gevorg_pirumyan@mail.ru