

На правах рукописи
Сукиасян Астгик Рафиковна



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
АРМЕНИИ**

АСТГИК РАФИКОВНА СУКИАСЯН

**ОСНОВНЫЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЕ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 24.04.01 - "Геоэкология"

ЕРЕВАН 2020

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԴՈՒԽՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԱՍՏԴԻԿ ՌԱՖԻԿԻ ԱՍԻՔԻԱՍՅԱՆ

**ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱԿԱՅՐՈՒՄ ԾԱՆՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾՄԱՆ
ԵՐԿՐԱԲՆԱԴՊԱՅՊԱՆԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ԼՈՒԾՄԱՆ
ՈՒՂԻՆԵՐԸ**

**ԻԴ.04.01 – «Երկրաբնապահպանություն» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության**

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ 2020

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении.

Научный консультант: док. тех. наук, профессор Пирумян Г. П

Официальные оппоненты: док. тех. наук, профессор Алавердян Г. Ш.
док. тех. наук, доцент Йулдошова О. М.
док. хим. наук, Айрапетян С. С.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», Экологический факультет

Защита диссертации состоится 29-ого декабря, 2020 г. в 12:00, на заседании Специализированного совета 054 “Геология” при Институте геологических наук НАН РА.

Адрес: Ереван 0019, пр. Маршала Баграмяна, 24а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат диссертации разослан 19.11.2020 г.

Ученый секретарь Специализированного совета 054

канд. геол. наук

Саакян Л.Г.

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում:

Գիտական խորհրդատու՝ տեխն. գիտ. դոկ., պրոֆեսոր Փիրումյան Գ.Պ.

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տեխն. գիտ. դոկ., պրոֆեսոր Ալավերդյան Գ.Շ.
տեխն. գիտ. դոկ., դոցենտ Իսկուրյան Օ.Մ.
քիմ. գիտ. դոկ., Հայրապետյան Ս. Ս.

Առաջատար կազմակերպություն՝ Բարձրագույն կրթության դաշնային պետական ինքնավար ուսումնական հաստատություն «Ռուսաստանի ժողովուրդների բարեկամության համալսարան», Էկոլոգիայի ֆակուլտետ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2020թ. դեկտեմբերի 29-ին, ժամը 12:00-ին, ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում գործող թ.054 «Երկրաբանություն» մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցեն՝ Երևան 0019, Մարշալ Բաղրամյան պող., 24ա

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ գրադարանում

Սեղմագիրն առաքված է 19.11.2020թ.:

Թիվ 054 մասնագիտական խորհրդի գիտքարտուղար,

երկրաբ. գիտ. թեկնածու

Սահակյան Լ.Յ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Охрана окружающей среды от загрязнений является важнейшей задачей в сфере обеспечения безопасности жизнедеятельности и развития общества. Создавшаяся экологическая напряженность в Республике Армения выносит на первый план задачу оценки распространенности и накопления тяжелых металлов (ТМ), как наиболее опасных для природной среды химических загрязняющих веществ. При этом анализ сложившейся экологической ситуации, с выявлением пространственно-временных изменений в ней, является на сегодняшний день актуальной задачей.

Естественные природные процессы приводят к определенным изменениям окружающей среды, которые, регулярно сочетаясь с антропогенными воздействиями, способны изменять природные геохимические циклы и вызывать процессы, передающиеся по трофическим цепям. Потребительское отношение к окружающей среде провоцирует нерегулируемое поступление ТМ через систему вода-почва-растение. Загрязнение трофических цепей ТМ стало актуальной проблемой из-за потенциального накопления последних в биосистемах через загрязненную воду, почву и воздух.

В данном контексте одной из важнейших задач биотестирования загрязненности окружающей среды является изучение ответной реакции растений на концентрационные изменения ТМ, вызывающие необратимые воздействия на различные физиологические процессы роста и развития растений. Принято качество окружающей среды оценивать путем сравнения имеющихся изменений с уровнем допустимого содержания загрязняющих веществ. Ряд ТМ являются биологически необходимыми для живых организмов, но, накапливаясь в растительном организме и активируясь в дальнейшем в ходе различных метаболических процессах, становятся токсичными с увеличением концентраций их в окружающей среде.

Процессы поглощения, накопления и распределения ТМ в растении, прежде всего, связаны с определенным количеством воды, так как именно она является проводником ТМ в клетках разных тканей и органов растительного организма. Исследования данных процессов имеют не только практическое значение, позволяющее осуществлять мониторинг загрязненности окружающей среды, в том числе биоты, но и важное фундаментальное значение, связанное с выявлением механизмов адаптации и устойчивости растений при активации систем их антиоксидантной активности.

В связи с вышесказанным возникает необходимость проведения комплексных исследований по изучению механизмов поглощения, накопления и миграции ТМ не в отдельно взятой системе, а в биогеохимическом комплексе, каковым является триада вода-почва-растение. Особый интерес вызывает вопрос использования растений в качестве природных барьеров на пути миграции ТМ, на основании чего можно разработать качественно новый подход в геоэкологических исследованиях для качественного и количественного прогнозирования содержания ТМ в триаде вода-почва-растение. При этом полученная информация позволит разработать ряд

мероприятий, направленных на ограничение поступления и распространения ТМ по трофическим цепям.

Цель и задачи работы. Цель работы состоит *в геоэкологической оценке* состояния окружающей среды некоторых регионов Республики Армения, *с выявлением* миграционных распределений ряда ТМ в системе вода-почва-растение; *в определении* особенностей поглощения и накопления ТМ растениями на фоне изменения интенсивности их водопоглощения и водоиспарения; *в изучении* механизмов адаптации растений по их антиоксидантной активности в условиях засухи и загрязненности исследуемых территорий ТМ; *в разработке* научнообоснованных рекомендаций по безопасному использованию территорий загрязненных ТМ в условиях засухи.

В задачи исследований входило:

- Изучить миграционные особенности распределения тяжелых металлов в системе вода-почва-растение в различных почвенно-климатических регионах Армении.
- Выявить новый подход определения фактора экологического риска в системе вода-почва-растение по биогеохимическим коэффициентам.
- Оценить влияние засухи на физиологические процессы роста и развития растений из различных почвенно-климатических регионов Армении.
- Исследовать изменения клеточного гомеостаза для выявления взаимосвязи между содержанием ТМ и величиной тургора при различных условиях абиотического стресса (тяжелые металлы и засуха) в образцах растений из различных почвенно-климатических регионов Армении.
- Выявить особенности адаптационных механизмов антиоксидантной регуляции роста растений при засухе, отличающихся по почвенно-климатическим регионам произрастания.
- Обосновать фундаментальные подходы к биогеохимическому контролю территорий и на основании этого разработать экспресс-методы оценки и мониторинга загрязненности биоты в целом.

Научная новизна. В работе впервые дана комплексная характеристика состояния загрязненности системы вода-почва-растение различных по степени изменения содержания ТМ в рассматриваемой системе; определен новый подход оценки фактора экологического риска по биогеохимическим коэффициентам ряда ТМ в системе вода-почва-растение в прибрежных территориях ряда рек Армении в различных почвенно-климатических условиях; выявлены распределения и связи ТМ в растительном организме на основании осмотического давления и водного потенциала, вызывающих тургор растительной клетки.

Впервые степень загрязненности почвенного покрова оценивается с учетом коэффициента кларковых концентраций ряда химических элементов, позволяющих выявить реальную степень антропогенной загрязненности окружающей среды.

Изучен антиоксидантный статус растений, выявляющий адаптационные механизмы (процессы) при концентрационных изменениях ТМ в системе вода-

почва-растение с учетом засухи. Впервые выявлена функциональная связь между интенсивностью спонтанной хемилюминесценции и концентрациями ТМ в растениях-индикаторах, что позволяет осуществлять эффективный мониторинг степени загрязненности биоты в целом.

Практическое значение и применение результатов исследований. Полученные результаты, теоретические положения, разработанные научно-обоснованные методические подходы могут применяться при оценке техногенной загрязненности биоты с учетом миграционных процессов ТМ.

Проведенные исследования по определению абиотического стресса на рост и развитие растений в различных почвенно-климатических условиях имеют практическое значение при выявлении принципов и закономерностей миграции, поглощения и накопления ТМ в триаде вода-почва-растение. Разработана методика определения расчетной загрязненности ТМ триады вода-почва-растение, учитывающая их значения кларков верхней континентальной части земной коры, позволяющая рассчитывать нормативы допустимых загрязнений.

Выявленная концепция оценки фактора экологического риска при антропогенном загрязнении является важным подходом, позволяющим учитывать неконтролируемые концентрационные изменения ТМ в окружающей среде. На основе оценочных расчетов ряда биогеохимических коэффициентов могут быть разработаны принципы классификации загрязненности почв.

Разработка ряда научных задач, связанных с изучением миграции, концентрации и перераспределением ТМ в триаде вода-почва-растения, имеет практическое значение при разработке стратегии рационального природопользования для совершенствования организации устойчивой экосистемы с учетом изменений физико-географических и геохимических особенностей территорий из-за глобального и регионального антропогенного воздействия. Результаты могут быть использованы министерством окружающей среды и управления сельского хозяйства Армении при комплексной оценке экологической безопасности использования речной воды и прибрежных территорий с целью повышения продуктивности произрастающих на них растений.

Положения, выносимые на защиту.

1. Обоснование миграционных особенностей ТМ в системе вода-почва-растение в различных почвенно-климатических регионах Армении.
2. Оценка роли воды в процессах поглощения и накопления ТМ в клеточном гомеостазе растительного организма на основании изменений осмотического давления и водного потенциала, которые регулируют тургор клетки.
3. Аккумулирующая способность растительных организмов в отношении ТМ определяет подход в расчете биогеохимических коэффициентов.
4. Специфика антиоксидантного статуса растений в качестве ответной реакции на засуху и миграцию ТМ для выработки адаптационной модели.
5. Изучение растений-индикаторов в качестве естественного природного барьера при миграции ТМ в прибрежных территориях некоторых рек Армении, при этом

выбор растений обусловлен их предрасположенностью к аккумуляции определенных ТМ.

Апробация работы. Основные результаты диссертации в виде годовых отчетов обсуждались на ежегодных конференциях Национального политехнического университета Армении (НПУА) в рамках исследований при финансовой поддержке ГКН МОН РА (N 0417, 2005-2007 гг.; N 0252, 2008-2010 гг.; N 15Т-2Н409, 2016-2017 гг.) и были одобрены Ученым советом факультета химических технологий и инженерной экологии НПУА для публикации в соответствующих рецензируемых журналах.

Результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на XIX международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (26-28 сент., 2018 г., Москва, Россия); на международной встрече Horizon 2020 Societal Challenge 2 «Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research and the bioeconomy» (14-19 нояб., 2017 г., Брюссель, Бельгия); на международной конференции «The 4th Conference on Frontiers in Water Biophysics» (23 – 27 мая, 2017 г., Эриче, Италия); на международной встрече EU FP7 SUAFRI-EPC «Technology transfer skills training course & site visit programme» (3-7 окт., 2016 г., Ренн, Франция); на международной конференции «The ICEBESE 2016: 18th International Conference on Environmental, Biological, Ecological Sciences and Engineering» (04-05 авг., 2016 г., Амстердам, Нидерланды); на международной конференции «The ICEEE 2016: 18th International Conference on Ecological and Environmental Engineering» (11-12 авг., 2016 г., Барселона, Испания); на семинарах кафедры комплексных молекулярных исследований по физиологии растений университета Антверпена (2014 – 2015 гг., Антверпен, Бельгия); на международной конференции «The 17th EPSO conference: Plants for a Greening Economy» (1-4 сен., 2013 г., Порто Хели, Греция); на международной конференции «XIII Congresso Luso-Espanhol de Fisiologia Vegetal» (24-27 июля, 2013 г., Лиссабон, Португалия).

Публикации результатов исследований. По материалам исследований опубликовано 40 научных работ, из которых 9 в международной базе данных Web of Science и Scopus, в том числе 11 публикаций без соавторов. На основании полученных результатов зарегистрировано пять патентов в Агентстве интеллектуальной собственности Министерства экономики Республики Армения.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 224 страницах, состоит из введения, списка сокращений, 6 глав, заключения, выводов, практических предложений, включая 25 таблиц, 31 рисунка, списка литературы и приложений.

Во *введении* дано теоретическое обоснование и сформулирована актуальность темы, определены цель и задачи, показана научная новизна, практическая значимость работы, с указанием предложений и рекомендаций по применению выявленных основных результатов и закономерностей исследований, а также основные положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* представлен анализ распространения тяжелых металлов в природной среде на основе анализа научной литературы. Рассмотрены основные почвенно-климатические характеристики исследуемых регионов Армении, которые определяются морфогенетическими, химическими, биологическими и другими характеристиками. Приведены данные по основным токсическим элементам в воде рек Армении с разделением на три географические зоны.

Во *второй главе* приведены результаты по комплексному определению содержания ряда химических элементов в триаде вода-почва-растение. С учетом значения концентраций кларков верхней части континентальной земной коры дана оценка антропогенной нагрузки ТМ в распространенности геохимических аномалий для исследуемых территорий, как одной из причин неоднозначности при оценке экологического состояния среды. Дается методическое описание объектов и методов исследования.

В *третьей главе* проведен сравнительный анализ результатов по миграции ряда ТМ в триаде вода-почва-растение на основе расчета развернутого комплекса биогеохимических коэффициентов. Обсуждены различные подходы по выявлению классов опасности ТМ.

В *четвертой главе* приведены результаты по изучению индикационных особенностей как однолетних, так и многолетних растений с учетом трансфер-фактора ТМ для них при начальных быстрых, а затем и медленных реакций адсорбции ТМ; по генотоксическому исследованию исследуемого материала для рациональной фиторемедиации загрязненности почвы. Также представлены данные по пространственно-временной миграции ряда ТМ в триаде вода-почва-растение. Дается методическое описание объектов и методов исследования.

В *пятой главе* проведена комплексная оценка влияния дефицита воды на физиологические процессы роста, развития и толерантности исследуемых растений в различных почвенно-климатических условиях их произрастания с учетом изменений параметров тургора, гидратации, транспирации, кинетики влагоудаления при стресс-факторах засухи и ТМ.

В *шестую главу* включены результаты по определению свободно-радикальных и антиоксидантных показателей исследования биологического материала в качестве ответной реакции последнего при активации адаптационных процессов при стресс-факторах засухи и ТМ. Также представлен сравнительный анализ зависимости индексов загрязненности ТМ по классам их опасности в зависимости от биохимических показателей антиоксидантной активности. Дается методическое описание объектов и методов исследования.

В *приложении* представлены результаты по оценке антропогенной нагрузке, вызванной работой медно-молибденового предприятия в период его работы и остановки; схема-карты по содержанию ряда ТМ в образцах растения в зависимости от расположения места их сбора.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась ползубовидная сахарная кукуруза армянской популяции (*Zea mays* L.), которая была выращена в четырех отличных по экогеохимическим показателям территориях Армении: Лорийский марз вдоль реки 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.), Армавирский марз вблизи реки Аракс (Ушакерт – 40°04'52" с.ш., 43°55'35" в.д.), и его генетический прототип – кукуруза инбредной линии (*Zea mays* ssp. *mays* var. B73). Детально представлены методические описания сбора и подготовки образцов биологического материала, проб воды и почвы. Исследование химического состава образцов осуществлялось с помощью портативного анализатора «Thermo Scientific™ Niton™ XRF Portable Analyser» (США).

Сбор многолетних растений осуществлялся согласно ранее разработанной и апробированной модели по заданным критериям (г. Севан (40°37'20.8" с.ш., 44°57'33.5" в.д.), г. Раздан, село Фантан (40°24'02.9" с.ш., 44°41'34.4" в.д.); г. Степанакерт, северо-восточная пригородная часть (39°50'14.2" с.ш., 46°46'37.0" в.д.); г. Ереван, Ботанический сад (40°12'41.9" с.ш., 44°33'31.6" в.д.)). Отбор образцов почв и надземных частей растений осуществлялся с учетом среднего значения измеряемых величин на единицу площади сбора. Концентрация ТМ исследуемых образцов определялась в растворе соляной кислоты на атомно-абсорбционном спектрофотометре «AAAnalyst 800» (США) с графитовым атомизатором и печью GFA-EX71, с последующим пересчетом на сухой вес материала.

Для воспроизведения экспериментов с различной степенью моделируемой засухи, растения кукурузы были выращены в камере с контролируемыми климатическими условиями (16ч день/ 8 ч ночь, соответственно 25°C/18°C, влажность 20%, ФАР (фотосинтетически активная радиация) 300 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\text{c}^{-1}$). Для контрольных образцов вазоны с семенами поливали каждодневно, поддерживая влагу в почве с относительной влажностью почвы (ОВП) в почве 54%. С целью моделирования умеренного водного стресса ОВП составляло 43% (не наблюдалось увядания листьев), а для жесткого стресса ОВП в почве было 34% (листья увядали в течение дня) соответственно. Для кинематического анализа каждый день измеряли длину пятого листа.

Измерение осмотического потенциала воды осуществлялось потенциометрическим методом с помощью восьмиканального автоматизированного прибора PSYPRO (WESCOR Inc., USA) с использованием камеры WESCORC-52, предназначенного для измерения потенциала воды растительной ткани. Величина тургора вычислялась как разница между значениями водного потенциала и осмотического потенциала растительной ткани.

С целью количественного определения показателей антиоксидантной системы срезывался пятый лист кукурузы на третий день его роста, который разделялся по 1 см от основания листа до 10 см, формируя зоны роста (меристема, удлинение, созревание). Далее в каждой из зон были определены концентрация малонового диальдегида (МДА) проб в присутствии 2-тиобарбирутовой кислоты (Hodges, et. al,

1999); концентрация железовосстановительной активности плазмы (FRAP) проб по железовосстановительной активности плазмы (Benzie, et. al, 1996); концентрация полифенолов (Gálvez M. et. al, 2005); концентрация флавоноидов (Chang, et. al, 2002). Концентрации всех биохимических показателей представлены в соответствующих единицах и приведены к грамму свежего веса биологического материала.

Все проведенные эксперименты имели 10 биологических и до 5 технических повторностей и статистически обработаны. 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. Полученные результаты сравнивались с принятыми нормативными документами [8].

2. Тяжелые металлы в системе вода-почва-растение [33, 34,35; П5]

Для оценки степени загрязненности в наших исследованиях были использованы значения концентраций кларков верхней части континентальной земной коры рассмотренных экспериментальных участков. На основе определенных значений концентраций химических элементов в образцах почвы произрастания растений-индикаторов были рассчитаны кларки их концентраций, которые можно разделить на три основные группы (табл. 1):

1. $KK > 10$ – *высокое содержание концентраций элементов*, среди которых **Sb** (Ушакерт, Шнох, Техут), **Cd** (Ушакерт, Шнох), **Ag** (Ушакерт, Шнох, Техут), **W** (Ушакерт, Одзун, Шнох), **Co** (Ушакерт, Одзун, Шнох), **Hg** (Одзун, Шнох, Техут).

2. $KK = 1,6 \div 10$ – *среднее содержание концентраций элементов*. В данную группу входят **Sb** (Одзун), **Sn** (Ушакерт, Техут, Шнох), **Cd** (Одзун, Техут), **Mo** (Ушакерт, Одзун, Шнох), **Rb** (Техут, Одзун, Шнох), **As** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Pb** (Шнох), **W** (Техут), **Zn** (Шнох), **Cu** (Ушакерт, Одзун), **Co** (Техут), **Cr** (Ушакерт), **V** (Ушакерт).

3. $KK = 1,0 \div 1,5$ – *слабое содержание концентраций элементов*, которое близко к кларкам литосферы. В эту группу входят **Ba** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Sr** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Rb** (Ушакерт), **Pb** (Ушакерт, Одзун, Техут), **Zn** (Ушакерт, Одзун, Техут), **Cu** (Техут), **Ni** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Fe** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Mn** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Cr** (Ушакерт, Одзун), **V** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Ti** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Ca** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **K** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох), **Se** (Ушакерт, Одзун, Техут, Шнох).

В образцах почвы из региона Одзуна высокое значение КК таких химических элементов, как Co, W, Hg; Sb, Ag, Hg – из Техута; Cd, Sb, Ag, W, Co, Hg – из Шноха; Sb, Cd, Ag, W – из Ушакерта. Значение КК для таких химических элементов, как Sb, Cd, Mo, Rb, As, Cu были в пределах среднего показателя в образцах из Одзуна; Sn, Cd, Rb, As, W, Co – из Техута; Sn, Mo, Rb, As, Pb, Zn – из Шноха; Sn, Mo, As, Cu, Cr – из Ушакерта. В остальных случаях значения КК в исследуемых регионах являются слабо выраженными.

Таблица 1

Значения кларка концентраций (КК) для ряда химических элементов в некоторых почвенно-климатических регионах Республики Армения

Химический элемент	Ушакерт	Одзун	Шнох	Техут
Ba	0,183±0,006	0,421±0,008	1,214±0,011	0,499±0,003
Sb	31,177±1,559	9,382±0,047	25,830±2,325	18,349±0,110
Sn	6,654±0,133	1,358±0,011	4,098±0,037	3,063±0,018
Cd	25,340±1,267	9,522±0,076	24,149±2,173	9,221±0,055
Pd*	-	-	-	-
Ag	105,115±5,256	н/о	39,613±3,565	36,835±2,210
Mo	2,136±0,043	1,759±0,014	2,630±0,021	1,232±0,007
Zr*	-	-	-	-
Sr	0,689±0,001	0,577±0,005	0,550±0,004	0,490±0,003
Rb	1,202±0,011	2,796±0,025	2,288±0,018	2,609±0,016
As	3,144±0,006	1,958±0,018	8,389±0,067	1,701±0,010
Se*	-	-	-	-
Au	2775,926±35,518	745,051±6,705	589,412±4,715	531,047±3,182
Pb	0,799±0,016	1,037±0,003	4,341±0,035	0,680±0,004
W	41,056±1,232	14,095±0,127	19,254±0,154	9,652±0,058
Zn	1,315±0,066	0,866±0,008	3,398±0,027	0,724±0,004
Cu	1,641±0,082	2,664±0,024	16,138±0,129	1,241±0,007
Ni	1,106±0,044	0,877±0,008	1,269±0,010	1,195±0,008
Co	14,244±0,985	12,745±0,715	14,583±0,911	7,080±0,042
Fe	1,084±0,033	0,539±0,005	0,657±0,005	0,518±0,003
Mn	1,299±0,004	0,551±0,005	0,872±0,007	0,594±0,003
Cr	4,017±0,161	1,069±0,010	0,762±0,006	0,780±0,005
V	1,930±0,058	1,014±0,009	0,964±0,008	0,907±0,006
Ti	0,783±0,031	0,719±0,006	0,775±0,006	0,809±0,005
Ca	1,227±0,037	1,202±0,011	0,662±0,005	0,928±0,008
K	0,289±0,014	0,506±0,005	0,546±0,004	0,616±0,004
S	н/о	0,408±0,004	0,526±0,004	0,310±0,002
U*	-	-	-	-
Th*	-	-	-	-
Hg	н/о	100,894±1,091	75,761±0,606	69,260±0,415
Sc*	-	-	-	-

Примечание. Знаком отмеченные химические элементы не имеют значений кларка по (Григорьев Н.А., 2009), н/о – не определено значение химического элемента.*

Полученные результаты по значениям КК в поверхностном горизонте почв опытных площадок выявили отличия в распространенности геохимических

аномалий для исследуемых химических элементов, что может быть проявлением неоднозначности при оценке экологического состояния среды. Беря за основу данный подход геоэкологических оценок антропогенной загрязненности педосферы ТМ, предлагаем использовать значение кларков химических элементов в качестве своеобразных постоянных величин для конкретных территорий при организации мониторинга состояния окружающей среды.

Среди эффективных подходов восстановления почвенной структуры при загрязнении ТМ является фиторемедиация, идея использования которой состоит в использовании металлаккумулирующих растений. На основе определения концентрационных значений ряда химических элементов в зерне кукурузы нами был рассчитан удельный коэффициент биологического накопления ряда химических элементов (табл. 2). Согласно полученным расчетным величинам удельный коэффициент биологического накопления имел значение близкое к единице для элементов Sb, Pb, Ag, Se, Ni, Co, Th, Sc вне зависимости от региона произрастания образцов кукурузы, которая тем самым проявляет свойства растения-гипераккумулятора для данных химических элементов.

С другой стороны, значение $K_{\text{уд}}$ в пределах от 0,3 до 0,7 указывает на пассивное накопление для элементов Ba, Cu, Fe, Cr, V, S. В растениях реакция на стресс, вызванный концентрационными изменениями ТМ в среде произрастания, в первую очередь выражается определенными нарушениями в водном балансе.

Таблица 2

Удельный коэффициент биологического накопления ряда химических элементов в зерне кукурузы из различных почвенно-климатических регионов Республики Армения

Химический элемент	Техут	Одзун	Шнох	Ушакерт
Ba	0,776	0,517	0,732	0,724
Sb	0,972	0,950	0,970	0,936
Sn	0,909	0,801	0,890	0,879
Cd	0,888	0,950	0,942	0,358
Pd	0,984	0,966	0,981	0,971
Ag	0,992	0,985	0,991	0,985
Mo	0,295	-0,392	0,159	0,540
Zr	0,899	0,7841	0,843	0,890
Sr	0,830	0,720	0,655	0,708
Rb	0,903	0,802	0,540	0,829
As	0,888	0,810	0,878	0,716
Se	0,968	0,938	0,960	0,899
Au	0,975	0,950	0,929	0,897
Pb	0,941	0,965	0,961	0,919
W	0,815	0,795	0,842	0,759
Zn	0,343	-0,328	-0,421	-0,082

Продолжение таблицы 2

Cu	0,571	0,338	0,452	0,561
Ni	0,993	0,987	0,979	0,953
Co	0,966	0,938	0,955	0,956
Fe	0,655	0,502	0,474	0,681
Mn	0,850	0,679	0,755	0,665
Cr	0,486	-0,054	0,546	0,497
V	0,698	0,408	0,650	0,679
K	0,674	0,234	0,463	0,659
S	0,769	0,580	0,313	0,733
U	0,948	0,914	0,958	0,903
Th	0,984	0,966	0,978	0,947
Hg	0,957	0,922	0,836	0,801
Sc	0,985	0,967	0,981	0,989

Примечание. Знак "-" показывает численное превышение концентрации химического элемента для данного образца кукурузы по сравнению с В73.

Способность растения проявлять биоиндикационную активность, в первую очередь, будет определяться состоянием почвы произрастания и степени ее увлажненности. Нами определены значения концентраций ряда химических элементов в поливочной воде из рек Дебет, Шнох и Аракс. Так, для исследуемых образцов из региона Техут установлено высокое содержание (≥ 1) таких элементов, как Mo, Sr, W, Ni, Co, Fe, Mn и Ti; для Шноха – Sr, Fe и Ti; для Одзуна – Sr, Fe и Ti; для Ушакерта – Sr, Co, Fe, Mn, Cr, V и Ti. В остальных случаях по содержанию в образцах воды химические элементы определяются как умереннослабые. Исходя из этого предлагается использовать сахарную кукурузу при фиторемедиации загрязненных почв, загрязненных определенными ТМ (*патент РА № 3246 А*).

3. Сравнительное изучение миграции тяжелых металлов в системе вода-почва-растение по биогеохимическим коэффициентам [2, 20, 25, 31, 37, 38]

Для детальной оценки фактора экологического риска по биогеохимическим коэффициентам ряда ТМ в прибрежных территориях ряда рек Армении в различных почвенно-климатических регионах использовался комбинированный метод характеристики процессов поглощения, накопления и оценки фактора экологического риска ТМ в системе вода-почва-растение прибрежных территорий рек Дебет, Шнох и Аракс. Были рассчитаны потенциальная биохимическая подвижность ТМ из почвы в растение (K_n), коэффициент концентраций (K_c), водно-растительный корневой коэффициент (K_a), относительное содержание ТМ в видах растений, растущих в сопоставимых условиях (K_p), суммарный показатель загрязненности (Z_c), индекс загрязнения ($I_{загр.}$), количественное выражение фактора экологического риска (ФЭК), индекс геоаккумуляции для классификации исследуемых образцов почвы по степени загрязненности ТМ (I_{geo}) и т.д. Предрасположенность одного вида растения к отдельно взятому химическому элементу весьма индивидуальна, и в большей степени зависит от интенсивности метаболических процессов, где он задействован.

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 (Касимов и др. 2015), с последующей группировкой ТМ по классам опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83). Согласно полученным результатам (табл. 3) среди ТМ из класса слабоопасных отмечен допустимый уровень опасности по показателю Z_c в Техуте и Одзуне, и небольшое увеличение на 6% в Шнохе. превышением уровня опасности по показателю Z_c для Техута и Одзуна до умеренного, а в Шнохе и Ушакерте – до опасного.

Таблица 3

Значения коэффициентов концентраций (K_k) и суммарного показателя загрязненности (Z_c) в разных почвенно-климатических регионах Республики Армения

Класс опасности по ГОСТ-у 17.4.1.02-83		Регион			
		Техут	Шнох	Одзун	Ушакерт
Слабоопасные	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	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	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

В классе сильноопасных ТМ все четыре территориях находятся в пределах опасного уровня по суммарному показателю загрязненности. Фактически данный подход при определении содержания ТМ в образцах почвы по результатам изучения статистических параметров их распределения может служить региональной характеристикой загрязненности почв. При геохимической оценке состояния окружающей среды рекомендуем учитывать ассоциативность в распределении химических элементов, что позволяет сгруппировать ТМ по степени опасности воздействия на

окружающую среду с целью комплексного решения проблемы. В населенном пункте Ушакерт уровень суммарного показателя загрязненности для класса слабоопасных ТМ находится в пределах опасного. Для класса умеренноопасных ТМ наблюдается с равномерным

Доминирование горного рельефа в Армении вынуждает приспособлять большинство прибрежных речных территорий для использования в сельскохозяйственных целях. В проведенных исследованиях оценка уровня опасного содержания ТМ в почве была проведена на основе экотоксического принципа, сравнивая действия разных химических элементов на почву и растения, где уместно использование для количественной оценки эффектов токсического действия ТМ предельно допустимые добавки (ПДД) химических элементов, группируя их в классы по опасности воздействия (Crommentuijn T. et al, 1997). 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 ($I_{загр}$) (табл.4).

Таблица 4

Индекс загрязнения тяжелыми металлами ($I_{загр}$) в разных почвенно-климатических регионах Республики Армения

Класс опасности по Crommentuijn T. et al, 1997	Регион			
	Техут	Шнох	Одзун	Ушакерт
Сильноопасные	3,893±0,364	2,803±0,122	3,830±0,158	6,843±0,367
Умеренноопасные	0,533±0,045	0,469 ±0,025	0,683±0,056	0,655±0,054
Слабоопасные	3,098±0,154	1,312 ±0,070	2,571±0,128	2,210±0,097

Выявлено, что по классу сильноопасных ТМ в населенном пункте Шнох отмечается умеренная загрязненность, в Техуте и Одзуне загрязненность в пределах значительного, а уже в Ушакерте загрязненность очень высокая. Численное значение величины $I_{загр}$ является низкой в группе умеренноопасных ТМ во всех исследуемых территориях. В классе слабоопасных ТМ значительным загрязненным считается Техут, в остальных исследуемых территориях, судя по значению $I_{загр}$, наблюдается умеренная загрязненность. Для оценки состояния окружающей среды рассмотрено отношение $K_n/I_{загр}$ (табл.5). Среди элементов из группы сильноопасных 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 с Cd во всех регионах исследований система почва-растение находится в чрезмерно загрязненном состоянии. Во второй группе умеренноопасных ТМ по показаниям 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 Hg, Cu и Ni из почвы в растение. При сравнении выяснилось, что в Техуте по Hg и Cr, в Шнохе по Cu и Ni, а также в Одзуне и Ушакерте только по Ni наблюдается умеренное загрязнение. 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 умереннозагрязненного в отдельных случаях. В группе слабоопасных ТМ в системе почва-растение отмечается слабая подвижность Co и Pb, а диапазон значений отношения $K_n/I_{загр}$ ограничен пределами от среднего до умеренного.

Таблица 5

Значения биохимической подвижности тяжелых металлов из почвы в растение (K_n) и интервалов загрязнения ($K_n/I_{загр}$) в разных почвенно-климатических регионах Республики Армения

Класс опасности по Crommentuijn T. et al, 1997		Регион							
		Техут		Шнох		Одзун		Ушакерт	
		K_n	$K_n/I_{загр}$	K_n	$K_n/I_{загр}$	K_n	$K_n/I_{загр}$	K_n	$K_n/I_{загр}$
Сильно-опасные	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	164,13	10,274
Умеренно-опасные	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
	Ba	0,079	0,148	0,070	0,149	0,112	0,163	0,265	0,404
Слабо-опасные	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

Иначе обстоит дело с Mo и Zn. Ориентируясь по значениям коэффициента K_n , можно утверждать что 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, где, 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. Далее был количественно оценен ФЭК для каждого металла с учетом класса их опасности по классификации (Crommentuijn T. et al, 1997). Согласно полученным данным в классе сильноопасных ТМ Se и Sb отмечается низкий уровень экологического риска ($ФЭК < 40$) для всех исследуемых территорий (табл. 6).

Таблица 6

Количественная оценка фактора экологического риска в разных почвенно-климатических регионах Республики Армения

Класс опасности по Crommentuijn T. et al, 1997		Регион			
		Техут	Шнох	Одзун	Ушакерт
Сильно-опасные	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
Умеренно-опасные	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
Слабо-опасные	Ba	0,710	0,630	1,004	2,384
	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

Неординарностью выделяется Cd. Так, в Шнохе и Одзуне отмечается его низкий экологический риск ($\PhiЭК < 80$), а уже в Ушакерте – он достигает значительного уровня ($\PhiЭК < 160$). В классе умеренноопасных $\PhiЭК$ по всем ТМ был низкий во всех исследуемых территориях. Среди слабоопасных ТМ ситуация отличалась координально. Только по концентрации Co система почва-растение отличалась низким значением $\PhiЭК$, а по Pb он колебался от умеренного значения (Техут, Шнох) до значительного (Одзун, Ушакерт). Вне зависимости от исследуемых территорий получено очень высокое значение $\PhiЭК$ по Zn и Mo. При расчете суммарного показателя загрязненности ТМ с учетом класса опасности согласно российскому ГОСТ-у 17.4.102-83 о номенклатуре показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для земледелия наиболее загрязненным оказалась почва из Ушакерта, а наименее – из Техута. Для ТМ из класса умеренноопасных значение того же суммарного показателя было выше для образцов почвы из Шноха, но ниже – для образцов почвы из Одзуна. Образование данной последовательности обусловлено концентрационными изменениями в образцах почвы Sb и Co. В классе слабоопасных ТМ высоким содержанием в почве выделялись Cd и Pb, что соответственно отразилось на величине суммарного показателя загрязненности. Далее при расчете потенциальной биохимической подвижности ТМ из почвы в растение (K_n) полученные нами результаты показали, что Cd имеет доминирующую позицию при поглощении из почвы образцами кукурузы (рис. 1).

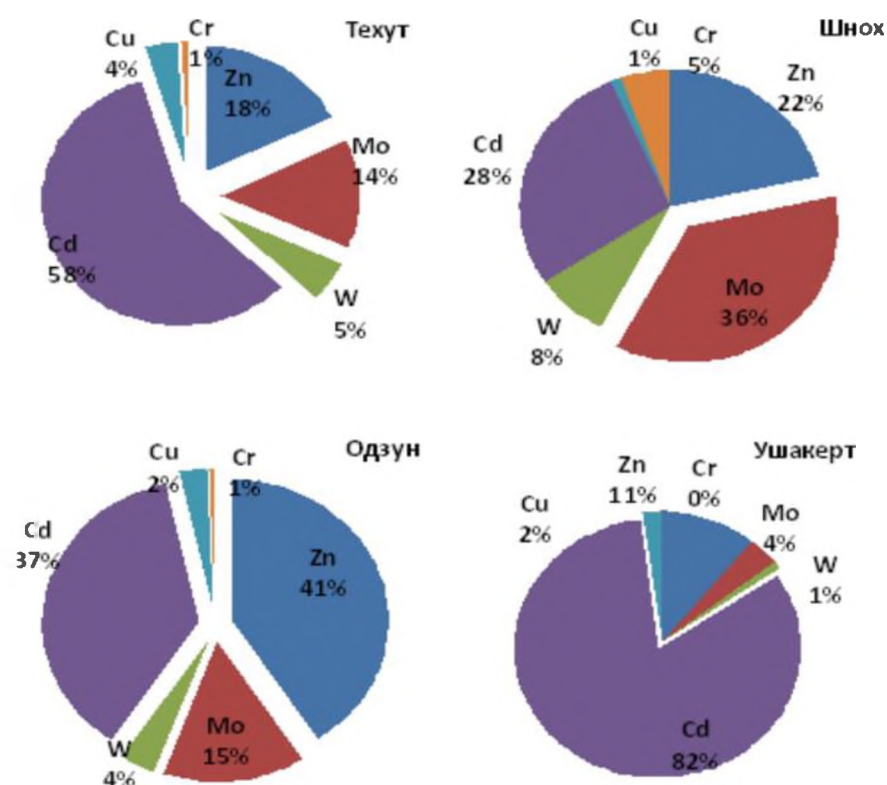


Рис.1. Накопительная активность кукурузы (*Zea mays L.*) в разных почвенно-климатических условиях, по потенциальной биохимической подвижности кадмия из почвы в растение (K_p)

Необходимость в использовании европейского подхода классификации ТМ по классам опасности состояла в учете ПДД. Это продиктовано тем фактом, что имеющиеся фоновые значения химических элементов неизбежно изменяется в ходе разнопрофильного использования самого почвенного покрова, которая обладает определенной степенью динамичности в первую очередь благодаря ее влажности. При этом корневая система растений поглощает не только влагу из горизонтов ее максимального распространения в почве, но и растворенные в ней различные поллютанты. Фактически растения растрачивают влажность почвы из-за процессов транспирации, которая обеспечивается гидратацией и тургором растительной клетки, тем самым являясь важным звеном миграции ТМ в биоте.

4. Изучение индикационных особенностей растений тяжелых металлов в различных [9, 10, 15, 12, 21, 22, 27, 30; ПЗ]

В почве ТМ адсорбируются с помощью начальных быстрых реакций (длительность – минуты, часы), а затем медленные реакции адсорбции (длительность – дни, месяцы) и перераспределяются в различные химические формы с отличной биодоступностью, подвижностью и токсичностью. Поэтому трансфер-фактор ТМ в растении в зависимости от того многолетнее оно или однолетнее может иметь различные значения.

В результате сравнительного анализа была выявлена определенная закономерность по накопительной способности для каждого из рассмотренных ТМ (табл. 7).

Таблица 7

Значение показателя биологической подвижности ряда тяжелых металлов для различных растений

Растение / регион произрастания	Показатель биологического подвижности (K_n)					
	Cu	Zn	Pb	Cr	Mo	Ag
Кукуруза (<i>Zea mays L.</i>) / село Ушакерт, Армавирская область	3,33	21,0	2,0	0,2	6,7	0,8
Полынь горькая (<i>Artemisia Absinthium L.</i>) / г. Ереван, Ботанический сад	0,74	0,12	0,04	0,9	3,8	6,5

Примечание. Показатель погрешности данных не превышает 5%.

При этом судя по значениям K_n в случае с многолетними растениями можно предположить, что формируется определенная “экологическая память” по отношению к загрязненности территории произрастания. Они используют некоторые ТМ в определенных метаболических процессах для обеспечения физиологических процессов (рост и развитие) в течение всего вегетативного периода.

Выбор адаптационных механизмов предопределяется видом растения и степенью его толерантности к ТМ. Избыток ТМ ($K_n > 1$) приводит к усилению стресса в растениях, вызывая множественные прямые и/или косвенные эффекты, тем самым затрагивая все физиологические аспекты роста и развития растения. В ситуации с однолетними растениями, использование биоиндикационного подхода позволяет оценить состояние загрязненности почвы только в данный вегетационный период роста растения. В этом случае расчеты показателя биологической подвижности ТМ в системе почва-растение позволяют использовать объект исследования в качестве растения-индикатора с целью оценки загрязненности окружающей среды *in situ*. Сравнительный анализ выявил общие закономерности по антропогенной нагрузке на почву и ее генотоксической загрязненности, вызванное ТМ (рис. 2, а-е).

Во многих случаях наличие загрязнения трудно объективно оценить, и еще сложнее дать оценку токсичности и мутагенности потенциальной опасности для окружающей среды и человека. К сожалению, технически трудно оценить потенциальную токсичность и/или мутагенность токсикантов. В этом контексте среди растительных тестов необходимо особо отметить *Tradescantia clone 02* как чрезвычайно чувствительный тест-объект, позволяющий выявить точечные мутации и кластогенные эффекты даже самых низких концентраций загрязнителей.

В целом, наблюдается общая закономерность поступления в растения ионов металлов в зависимости от их концентрации в почве с последующим выявлением степени загрязненности почвы ТМ как на основании биоиндикационных свойств полыни горькой, так и более глубокие генотоксические эффекты с помощью *Tradescantia clone 02*.

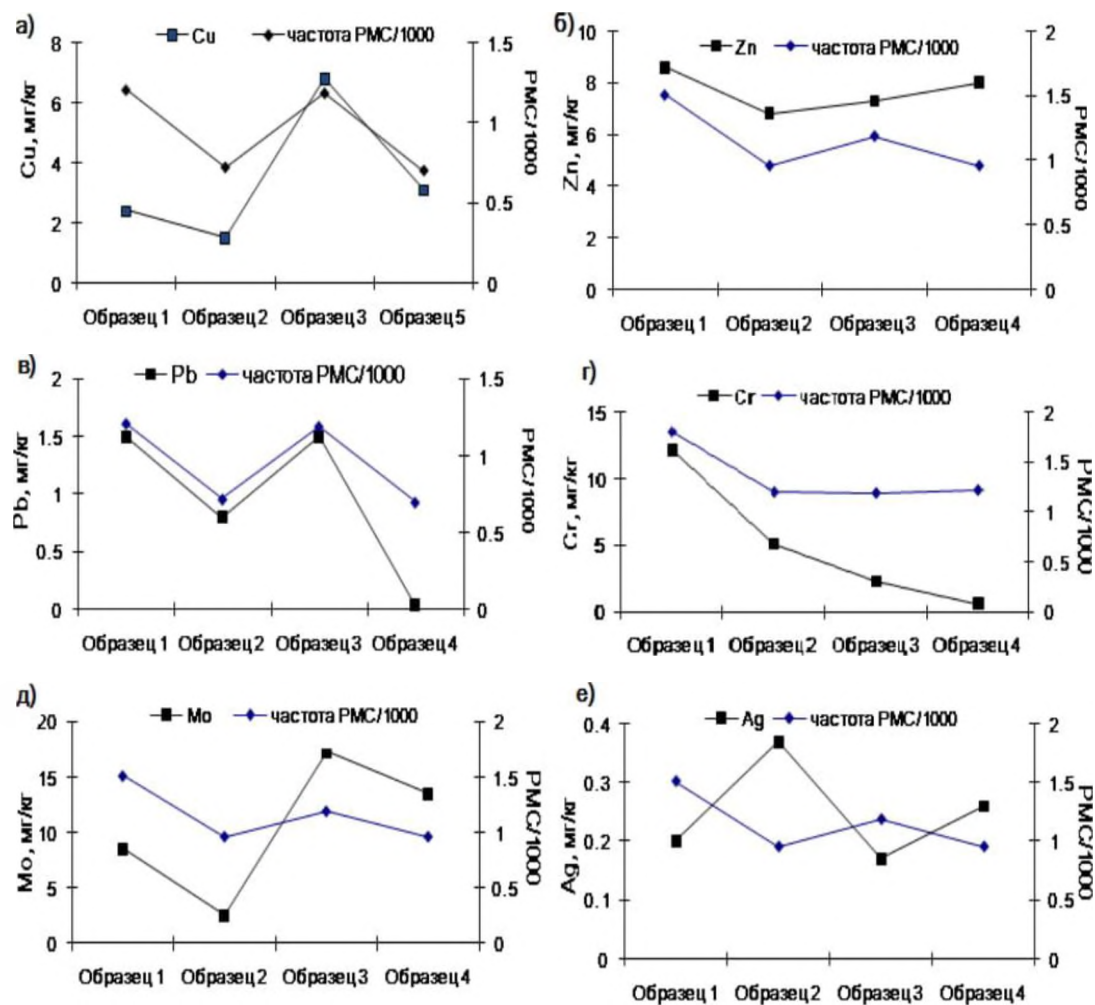


Рис. 2. Сравнительный анализ накопления ТМ в надземной части полыни горькой с частотой розовых мутационных событий (РМС) *Tradescantia clone 02* в различных почвах произрастания по содержанию Cu (а), Zn (б), Pb (в), Cr (г), Mo (д), Ag (е), где образец 1 – г. Севан, образец 2 – г. Раздан, село Фантан, образец 3 – г. Степанакерт, северо-восточная пригородная часть, образец 4 – г. Ереван, ботанический сад

5. Оценка влияния дефицита воды в системе вода–почва–растение [13, 16, 17, 18, 19, 24, 26, 28, 29, 32, 33, 40; III]

С помощью математического моделирования была поставлена задача по выявлению кинетических особенностей замедления роста растения с учетом изменений морфологических показателей, решение которой сводилось к построению приближенных полиномиальных уравнений типа $y(x)=a_2x^2+a_1x+a_0$, достоверность которых представлена в виде коэффициента среднеквадратичного отклонения (R^2) (табл. 8). При этом первый полиномиальный коэффициент (a_1) показывает начальную скорость роста образцов, а второй полиномиальный коэффициент (a_2) – скорость

роста образцов с учетом почвенно-климатических особенностей регионов произрастания растений.

Таблица 8

Скорости удлинения пятого листа кукурузы (*Zea mays L.*) при различных значениях относительной влажности почвы

Стресс фактор	Уравнение корреляции	R ²
Шнох		
Контроль, ОВП 54%	$y_{Шнох} = -1,220x^2 + 51,32x + 82,19$	0,999
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{Шнох} = -1,220x^2 + 51,32x + 82,19$	0,999
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{Шнох} = 0,525x^2 + 9,532x + 126,0$	0,991
Техут		
Контроль, ОВП 54%	$y_{Техут} = -2,964x^2 + 112,1x + 31,45$	0,996
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{Техут} = -2,447x^2 + 92,04x + 55,77$	0,998
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{Техут} = -0,068x^2 + 27,60x + 128,7$	0,997
Одзун		
Контроль, ОВП 54%	$y_{Одзун} = -3,987x^2 + 124,0x + 61,13$	0,997
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{Одзун} = -2,835x^2 + 91,39x + 81,01$	0,997
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{Одзун} = -0,291x^2 + 40,22x + 102,6$	0,998
Ушакерт		
Контроль, ОВП 54%	$y_{Ушакерт} = -3,745x^2 + 109,5x + 44,66$	0,995
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{Ушакерт} = -3,211x^2 + 95,36x + 38,27$	0,994
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{Ушакерт} = -0,379x^2 + 29,45x + 157,1$	0,996
В73		
Контроль, ОВП 54%	$y_{В73} = -3,956x^2 + 108,4x + 20,04$	0,993
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{В73} = -2,834x^2 + 87,00x + 44,62$	0,991
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{В73} = -0,153x^2 + 28,47x + 116,6$	0,995

Селекционная цель получения генмодифицированного образца кукурузы инбредной линии В73 была связана с созданием сортов, адаптированных к засухе. В нашем случае, сравнивая коэффициенты a_1 и a_2 для образцов из Ушакерта и В73, получены почти схожие значения (Ушакерт находится в регионе со сухими степными почвами, что характерно для сухих предгорных территорий Арагатской долины). При умеренном и сильном стрессах количественное уменьшение значения a_2 составляло 20%, 55% и 70,79% соответственно по сравнению с образцами, выращенных в контрольных условиях. При умеренном стрессе засухи выявлено наибольшее увеличение скорости роста у образца из Ушакерта – около 10%, а у образца из Шноха – опять зафиксировано понижение скорости роста на 41% по сравнению с контрольным образцом В73. При сильной засухе сохраняется общая тенденция изменения СУЛ. Так, медленнее всего в условиях снижения почвенной влаги растет образец из Шноха – на 66%, а образец из Одзуна, наоборот, обладает большим значением СУЛ, на 41% больше по сравнению с контрольным образцом В73.

Рост растений в условиях моделируемой засухи, в основе которой было фиксированно-ограниченное поступление воды в почву произрастания, в определенной

степени вызывает торможение роста, подчиняясь экологическому закону Либиха. Согласно последнему, если в наших исследованиях значимым фактом для растительного организма принять его накопительную активность ТМ, то превышение концентрационных показателей последних в почве способствует отклонению от оптимальных концентраций ТМ в растении. Фактически, именно концентрационный минимум ТМ, который необходим для обеспечения ряда физиологических процессов в данный пространственно-временной момент и будет обеспечивать тот экологический фактор, который необходим для выживания растений. Данный факт выражается в количественных изменениях значений коэффициентов многочлена, описывающего кинетику роста (табл. 8).

Тепловой стресс вызывает изменения в обмене веществ в клеточной стенке, тем самым являясь важным физиологическим механизмом толерантности растений. В этом контексте информативными являются результаты по определению «финальной» длины произрастания пятого листа, когда наступает статистически достоверное снижение его роста в условиях моделируемой засухи. Далее была выявлена контрастная чувствительность (толерантность) растений к различным уровням засухи. (табл. 9).

Таблица 9

Толерантность образцов растений при моделируемой засухе (*Zea mays*L.)

Пункт произрастания образцов кукурузы	Контроль, ОВП 54%	Умеренная засуха, ОВП 43%	Сильная засуха, ОВП 34%	Ингибирование	
				умеренной засухой, %	сильной засухой, %
Шнох	702,5±13,7	577,5±47,5	390,0±60,2	17,8	44,5
Техут	1021,7±25,5	871,7±37,1	517,5±32,5	14,7	49,3
Одзун	1011,9±17,2	799,4±23,3	604,0±6	21,0	40,3
Ушакерт	838,5±12,3	742,5±18,2	513,7±17,3	11,4	38,7
Контроль (В73)	757,6±6,5	702,0±17,1	493,2±8,5	7,3	34,9

Примечание. ОВП – относительная влажность почвы.

При этом расчет коэффициента парной корреляции между накопительной активностью ТМ по индексу геоаккумуляции (I_{geo}) и реакции на засуху по интенсивности транспирации (T_{int}) выявил обратную сильную связь в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания (табл. 10).

Таблица 10

Коэффициент корреляции между индексом геоаккумуляции (I_{geo}) и интенсивностью транспирации растения (T_{int})

Вариант	Ушакерт	Одзун	Техут	Шнох
Коэффициент парной корреляции	-0,995	-0,994	-0,960	-0,950

Климатические особенности северных районов, отличающихся повышенной влажностью и пониженным температурным фоном, менее комфортны для произрастания образцов кукурузы, по сравнению с южными. Как показали расчеты интенсивности транспирации для образцов кукуруз засуха вызывает замедление

транспирации для всех исследуемых образцов, при этом усиление засухи замедляет процесс испарения воды с поверхности листьев в связи с уменьшением их размеров, так как при ОВП 34% визуально наблюдается увядание листьев в течение дня (табл. 11).

Таблица 11.

**Значения транспирационного коэффициента для образцов кукурузы
(*Zea mays L.*) в условиях засухи**

Пункт произрастания образцов растения	Интенсивность транспирации, г/дм ² •ч			Снижение транспирации	
	Контроль, ОВП - 54%	Умеренная засуха, ОВП - 43%	Сильная засуха, ОВП - 34%	при умеренной засухе, %	при сильной засухе, %
Ушакерт	15,957±0,699	12,967±0,573	4,609±0,387	19	71
Одзун	23,119±0,285	12,736±0,450	3,625±0,751	45	84
Техут	23,535±0,769	14,139±0,612	4,301±0,348	40	81
Шнох	15,792±0,802	6,011±1,250	2,281±0,632	62	85

Обобщая полученные результаты можно констатировать, что осмотически устойчивые растения более толерантны к экологическому стрессу, возникающему при водном дефиците. При этом адаптация растений зависит от степени засухи с поверхности листьев (транспирация), что может быть использовано в качестве критерия при оценке последствий абиотического стресса на ряд физиологических показателей роста растения (площадь листовой пластинки, интенсивность транспирации, засухоустойчивость, толерантность и т.д.).

Результаты по определению величины тургора свежесрезанного 5-го листа кукурузы при условиях моделируемой засухи представлены на рисунке 3. Процессы, при помощи которых растительная клетка контролирует рост и формирование, являются результатом тургора и обусловлены напряжением и релаксацией клеточных стенок. Соотношение интенсивности процессов поглощения воды и засухи, формирует тот водный баланс для растения, который зависит почвенно-климатических условий произрастания. Определение величины тургора, прежде всего, актуально при экологических исследованиях, так как возможно оценить максимальную способность растения поглощать воду из почвы и удерживать ее. Химические соединения разбавляются в поступающей в растение воде, клетка которого начинает расширяться и достигать равновесного состояния, укрепляются свои стенки. В проведенных нами экспериментах данные изменения отображаются и на физиологическом уровне, регулируя скорость роста растения.

Фактически исследования, основанные на определении влагообеспеченности как разности водного потенциала и осмотического давления, могут иметь практическое

значение. В этом контексте предлагается использовать величину тургора в качестве одной из геоэкологических характеристик зон произрастания растения на предмет их загрязненности ТМ.

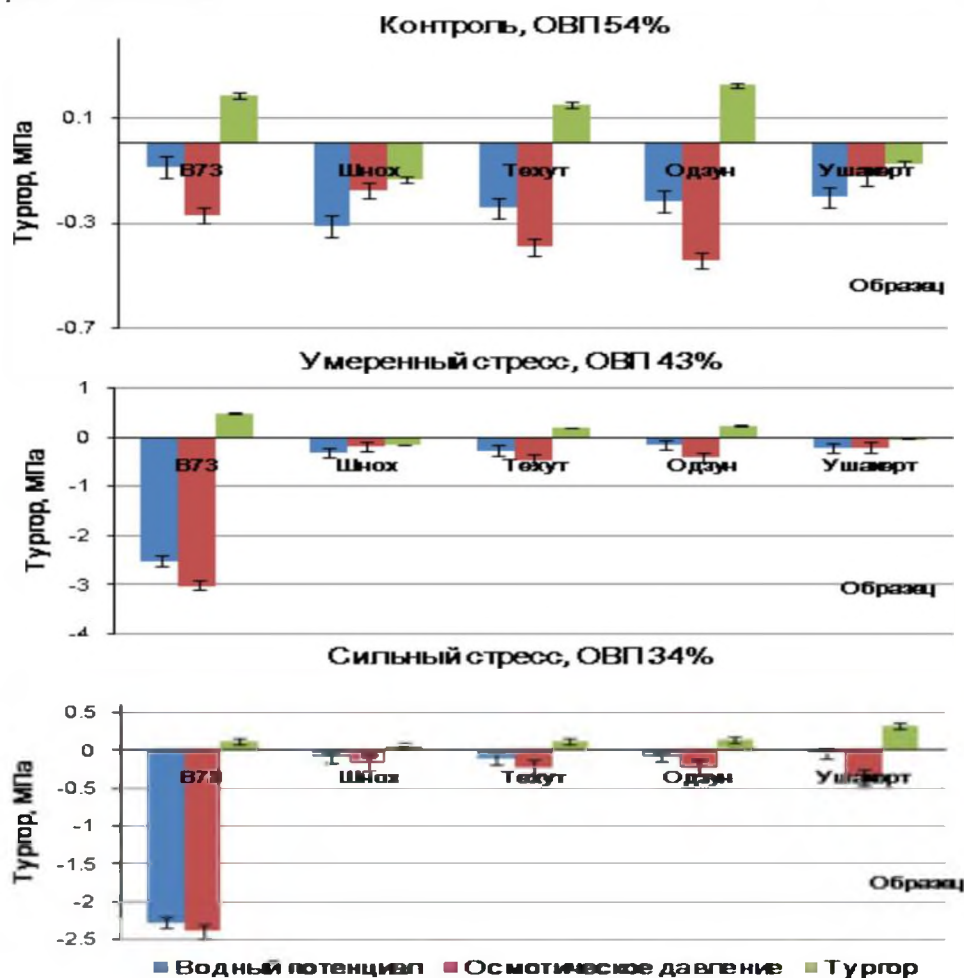


Рис. 3. Значения водного потенциала, осмотического давления и тургора при моделируемой засухе в образцах кукурузы (*Zea mays* L.)

Сравнительный анализ ответной реакции кукурузы на засуху по показателям его толерантности к стрессу и ряда биогеохимических коэффициентов представлен в виде отношений содержания ТМ в образцах воды, почвы и растения (рис.4). В процессах поглощения Cd, Zn и Cu кукуруза проявляет гипераккумулятивные свойства, при этом сильная засуха не является барьерным фактором процессов накопления данных ТМ вне зависимости от почвенно-климатических условий произрастания растения. Сравнительный анализ по значениям коэффициентов миграции Co, Mn и Pb в образцах воды, почвы и растения выявил схожесть в тенденции процессов поглощения. Так, в Одзуне, а в Шнохе в большей степени установлено повышенное содержание данных ТМ в почве, но дефицит воды является лимитирующим фактором их накопления в кукурузе в зависимости накопительной активности ТМ от почвенно-климатических условий их произрастания.

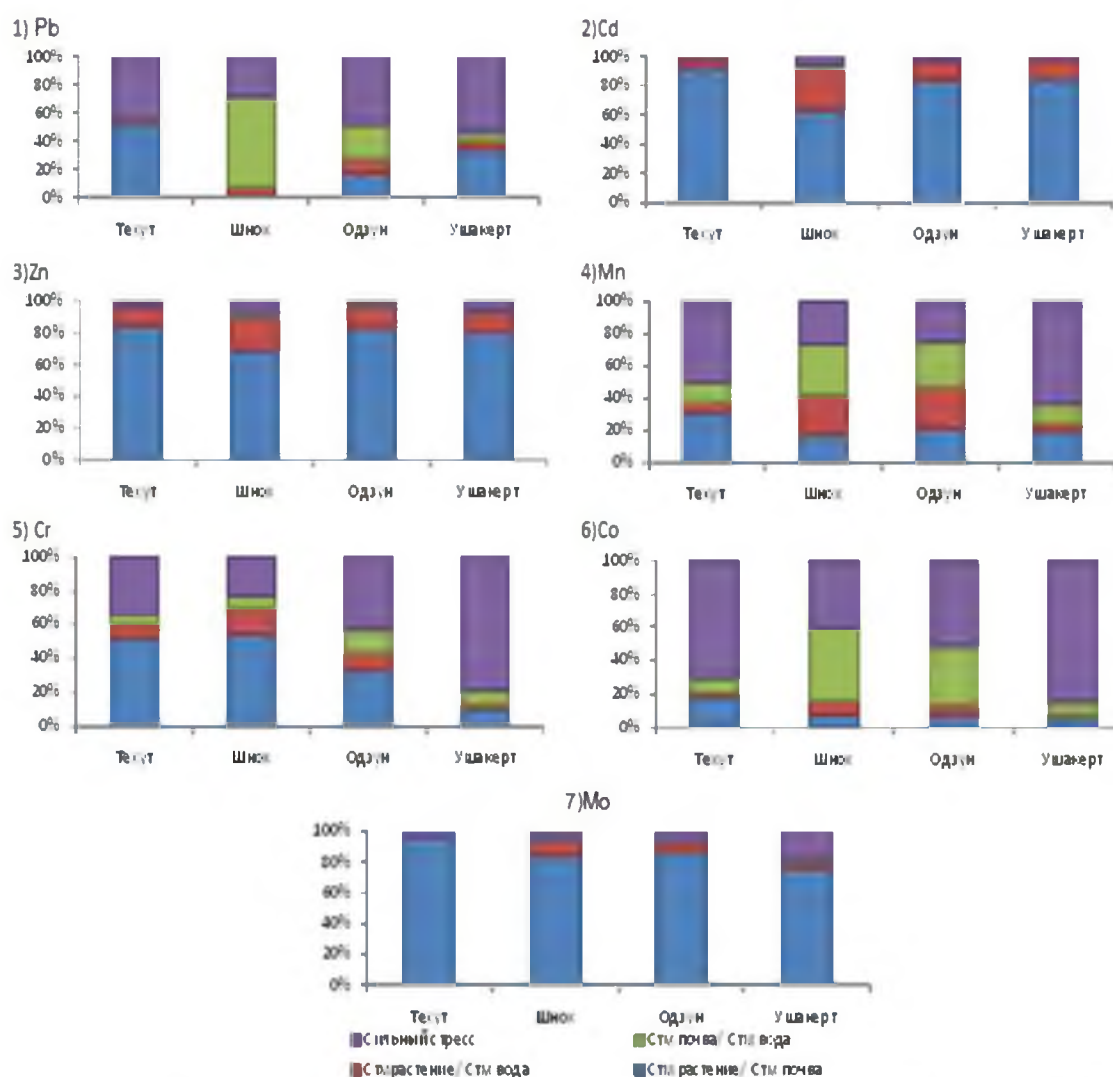


Рис. 4. Сравнительная диаграмма биогеохимических коэффициентов для Pb (1), Cd (2), Zn (3), Mn (4), Cr (5), Co (6), Mo (7) при жестком стрессе засухи кукурузы (*Zea mays L.*) из различных почвенно-климатических регионов Республики Армения

Повышенная подвижность Cr в системе почва-растение свидетельствует о доминирующей активности его накопления в Тежете и Шнохе, где отмечена повышенная реакция кукурузы на засуху. Очевидно, что вопросы экологической устойчивости и адаптации растений в итоге сводятся к всестороннему исследованию механизмов обмена веществ как сложной цепи взаимосвязанных многоуровневых процессов, реагирующих на изменения внешней среды.

6. Биогеохимические особенности миграции ряда тяжелых металлов в различных почвенно-климатических условиях [1, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 14, 23, 36, 39; П2, П4]

Наличие ТМ в тканях растений прямо или косвенно запускает процессы неконтролируемой генерации АФК, приводя к окислительному повреждению различных клеточных составляющих. В этом контексте был осуществлен цикл экспериментов,

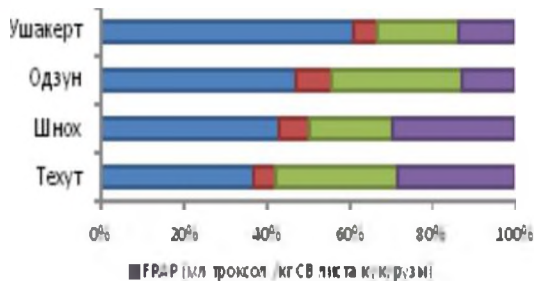
цель которых состояла в создании достоверного экспресс-метода диагностики и прогноза экологической ситуации, основанного на свойстве некоторых растений аккумулировать ТМ. В этой серии экспериментов в качестве объекта исследований использовались многолетние травянистые растения, а расчет суммарной концентрации исследуемых ТМ выявил линейную корреляционную связь между интенсивностью хемилюминесцентного свечения и суммарным содержанием Zn -ионов. При этом с увеличением концентрации последних в изучаемых растениях интенсивность сверхслабого свечения их ДМФА-экстрактов линейно уменьшается, на основании чего был разработан экспресс-метод для проведения мониторинга степени загрязненности окружающей среды и прогноза экологической ситуации (*патент РА № 3072 А*).

Одним из приоритетных направлений в наших исследованиях было исследование антиоксидантного статуса кукурузы с учетом особенностей ее роста и развития в различных почвенно-климатических условиях. Биохимический анализ системы антиоксидантной активности как в контрольных образцах, так и в образцах, подвергнутых влиянию в условиях умеренной и сильной засухи, позволил связать засухоустойчивость и толерантность к стрессу с редокс-регуляцией по зонам роста листа кукурузы. В результате проведенных исследований установлено, что измеренные параметры (МДА, FRAP, полифенолы и флавоноиды) исследуемого биологического материала, составляющие в совокупности антиоксидантную систему защиты биологического материала, отличаются, в первую очередь, по почвенно-климатическим условиям произрастания кукурузы. Было установлено, что засуха вызывает у растения разные стратегии по преодолению стресса на клеточном уровне, которые связаны с регуляцией уровня АФК на молекулярном уровне по зонам роста листьев (меристема, удлинение, созревание). По направлению оси роста листа в контрольных условиях было выявлено повышение концентрации МДА на фоне концентрационных снижений остальных биохимических показателей. При этом толерантные к стрессу сорта кукурузы испытывают меньшее влияние засухи в зоне меристемы, так как здесь они лучше защищены во время стресса. На это указывает высокая активность в условиях засухи FRAP, полифенолов и флавоноидов.

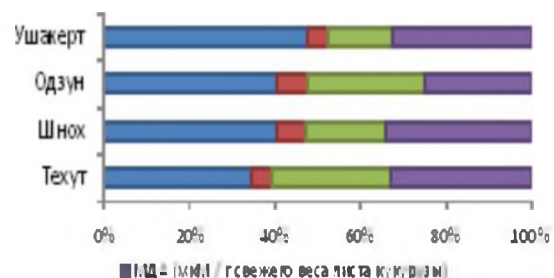
Полученные отличия в редокс-регуляции по зонам роста листа кукурузы обусловлены засухоустойчивостью самого растения на ранней стадии рассады (СУЛ) и толерантности (конечной длины пятого листа кукурузы). В проведенных нами исследованиях полученные корреляционные закономерности, выявили взаимозависимость между данными биохимическими показателями и индексом загрязнения ($I_{загр.}$) (см. табл. 4). Повышенным в 2-3 раза численным значением $I_{загр.1}$ высокоопасных ТМ (Se, Sb, Cd) отличается Ушакерт, по сравнению с остальными регионами; для класса умеренноопасных ТМ (V, Hg, Ni, Cu, Cr, As, Ba) численное значение $I_{загр.2}$ было почти одинаковым; значение индекса $I_{загр.3}$ для малоопасных ТМ (Mo, Pb, Zn, Co) имело наибольшее значение в Техуге, а наименьшее – в Шнохе. Диаграмма зависимости индексов загрязненности ТМ по классам их опасности в

зависимости от биохимических показателей антиоксидантной активности представлена на рисунке 5.

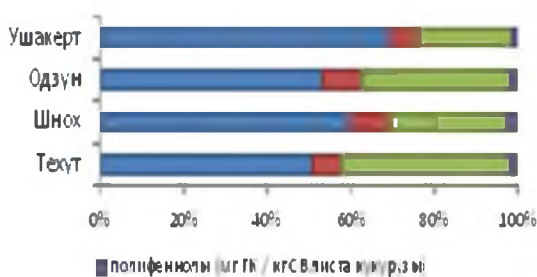
1) FRAP



2) МДА



3) Полифенолы



4) Флавоноиды

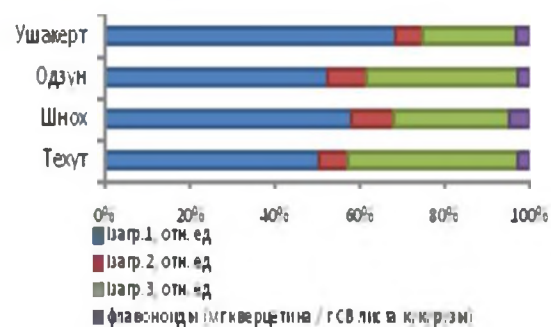


Рис. 5. Сравнительный анализ антиоксидантных показателей и индексов загрязненности кукурузы (*Zea mays L.*) из различных почвенно-климатических регионов

Корреляционный анализ по концентрации железовосстановительной активности плазмы (FRAP) растительной ткани установил, что в регионе с повышенной опасных ТМ (Ушакерт, Одзун) его значение намного ниже по сравнению с регионом с характерно высоким содержанием Mo, Pb, Zn, Co (Техут и Одзун). В случае же с ответной реакцией вторичного продукта процессов ПОЛ – МДА отмечается почти схожая картина вне зависимости от почвенно-климатических условий. В тоже время по значениям концентраций полифенолов и флавоноидов отмечается слабая реакция данных систем на загрязненность среды. Фактически антиоксидантная система является той чувствительной составляющей растительного организма, которая в первую очередь реагирует на изменения в окружающей среде, вызванные ограничением доступности необходимого водного баланса для выживания и наличия микро- и макроэлементов.

Таким образом, в диссертационной работе рассмотрены разнонаправленные подходы исследования некоторых геоэкологических задач распространения ТМ в окружающей среде с обоснованием специфических особенностей в системе вода-

почва-растение в общей концепции. освещение региональных экологических проблем, имеющих как абиотический, так и антропогенный характер.

ВЫВОДЫ

1. Для оценки степени загрязненности исследуемых экспериментальных участков впервые применены значения концентрации кларков верхней части континентальной коры для исследуемых тяжелых металлов. Полученные отличия в расчетных значениях кларков концентраций в целом выявляют неоднозначность распространения и контрастность геохимических аномалий для таких тяжелых металлов как Cd, Ag, W, Co, Cu, Hg.

2. С учетом суммарного показателя загрязненности по коэффициентам концентраций и значений потенциальной биохимической подвижности тяжелых металлов из почвы в растение по расчету индекса загрязненности выявлены сравнительные ряды по почвенно-климатическим регионам произрастания кукурузы.

3. Показано численное превышение концентрационных изменений удельного коэффициента биологического накопления по Mo, Zn, Cr для исследуемых образцов кукурузы из различных почвенно-климатических условий. Установлено, что в зависимости от почвенных условий почти на всех исследуемых территориях сильными концентраторами являются Mo и Zn, а остальные тяжелые металлы – деконцентраторами в диапазоне от сильного ($0,04 \div 0,0025$) до слабого ($0,4 \div 0,25$).

4. В классе высокоопасных тяжелых металлов Se и Sb имеют низкий уровень фактора экологического риска для всех исследуемых территорий, а в Шнохе и Одзуне отмечается низкий фактор экологического риска Cd. В классе умеренноопасных значение фактора экологического риска по всем тяжелым металлам был низкий во всех исследуемых территориях. В классе слабоопасных тяжелых металлов Co имел низкое значение фактора экологического риска. Отмечено очень высокое значение фактора экологического риска по Zn и Mo вне зависимости от исследуемых территорий.

5. Получены сравнительные ряды по значениям ряда коэффициентов поглощения тяжелых металлов в системе вода-почва-растение. Высоким значением водно-растительного корневого коэффициента, потенциальной биохимической подвижностью тяжелых металлов из почвы в растение для образцов кукурузы выделяются Mo, Cd и Zn.

6. Показана взаимозависимость между содержанием исследуемых тяжелых металлов и водопроницаемостью растительной клетки, при этом наблюдаемый тургор растительной клетки зависит от концентрации растворенных в воде тяжелых металлов как у однолетнего (*сахарная кукуруза*), так и многолетнего (*полынь горькая*) растений, а также регулирует интенсивность транспирации и скорость роста кукурузы из различных почвенно-климатических регионов Армении.

7. Выявлена корреляционная связь между величиной водного потенциала и осмотического давления у трехдневных побегов пятого листа кукурузы из различных почвенно-климатических регионов Армении в условиях засухи. Впервые показана связь засухоустойчивости сахарной кукурузы по индексу геоаккумуляции тяжелых металлов в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания растения.

8. Получена корреляционная связь между интенсивностью хемилюминесцентного свечения и суммарным содержанием ряда тяжелых металлов и предложен апробированный достоверный экспресс-метод диагностики и прогноза экологической ситуации.

9. Биохимический анализ системы антиоксидантной активности (малоновый диальдегид, железоиндуцируемое окисление плазмы, полифенолы, флавоноиды) в образцах растения в условиях умеренной и сильной засухи, позволил связать засухоустойчивость на ранней стадии рассады (среднее удлинение листа) и толерантность (конечная длина пятого листа) к стрессу с редокс-регуляцией по зонам роста пятого листа кукурузы, которое отличается по почвенно-климатическим регионам произрастания растения.

Предложения и рекомендации

На основании полученных результатов предложены возможности для практического применения способов оценки и очистки земельных участков от ТМ, а также способ определения влагообеспеченности растений; способ оценки загрязненности растений железом с учетом геохимических условий их произрастания. Рекомендуется применение метода хемилюминесценции в целях организации мониторинга и прогнозирования экологического состояния биоты при загрязненности ТМ.

Установленная взаимосвязь между содержанием ТМ и водным потенциалом (а также осмотическим давлением) растительной клетки является определяющим фактором в понимании механизмов проникновения и накопления ТМ в растительные клетки.

Для выявления защитных функций растений при миграции ТМ в триаде вода-почва-растение предлагается использовать величину изменения антиоксидантного статуса растительного организма при абиотических стрессах. Предложенная методология мониторинга экологического состояния территорий может быть использована для определения концентрационных изменений ТМ в триаде вода-почва-растение и разработки основных направлений и методов природоохранных мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность населения в регионе.

Министерству окружающей среды Республики Армении при организации экологического мониторинга системы вода-почва-растение рекомендуется разработанная оценочная методика определения степени загрязненности ТМ и фактора экологического риска, что будет способствовать созданию современных ланд-

шафтно-экологических карт антропогенного воздействия и организации реабилитационных мероприятий загрязненных территорий.

Рекомендуется при оценке степени загрязненности территорий ТМ учитывать значения концентрации кларков верхней части континентальной коры с целью выявления неоднозначности распространения и контрастности геохимических аномалий.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1. Сукиасян А.Р., Амбарцумян А.Ф., Киракосян А.А., Закарян А.Е.** Экспресс-метод определения суммарного содержания ионов D-металлов в растениях // Материалы IV респуб. конф. "XXI век: экологическая наука в Армении. Проблемы экологии городов." Ереван, Армения, 2003, 15-17 дек, С. 220-221.
- 2. Sukiasyan A.R.** Inhibitor activity of *Urtica Dioica* L. *Free Radical Biology and Medicine*, 2004, v. 37, suppl 1, p. S181.
- 3. Sukiasyan A.R., Kirakosyan A.A., Humbardzumyan A.F.** Evaluation of antioxidant activity of plant extract by redox potential and chemiluminescence methods// *Free Radical Biology and Medicine*, 2005, v 39, suppl 1, p.246
- 4. Тадевосян А.В., Амбарцумян А.Ф., Сукиасян А.Р., Киракосян А.А., Шамиян А.Г.** Экспресс-метод диагностики тяжелых металлов.// *Известия НАН Армении и ГИУА, Серия технических наук*, 2008, том 61(3), с. 402-406.
- 5. Sukiasyan A.R.** Studies of the dose-dependent antioxidant activity of *Artemisia absinthium* L. extracts using in vitro model // *Turk. J Biochem*, 2003, v 28 (3), p.185.
- 6. Амбарцумян А.Ф., Григорян Ф.А., Киракосян А.А., Сукиасян А.Р.** Сверхслабое свечение экстрактов растений-индикаторов загрязнения вод ионами тяжелых металлов// VI международный конгресс "Вода: экология и технология ЭКВАТЕК-2004". Москва. 2004. 1-4 июня. Материалы конгресса, часть I. С. 299 – 300.
- 7. Сукиасян А.Р., Киракосян А.А., Тадевосян А.В.** Мониторинг распределения ионов D-элементов с использованием сверхслабого свечения экстрактов некоторых растений // Годичная научная конф. ГИУА, Сборник материалов, 2005, Ереван, Армения, Т.1, С. 188-190.
- 8. 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.
- 9. Шамиян А.Г., Сафарян Г.С., Амбарцумян А.Ф., Тадевосян А.В., Сукиасян А.Р., Киракосян А.А.** Построение двумерных диаграмм распространения некоторых тяжелых металлов с помощью растения-индикатора // *Вестник-76 ГИУА, Сборник Научно-технических статей*, 2009, том1, N 2, с. 780-783.

10. Атоянц А.Л., Сукиасян А.Р., Агаджанян Э.А., Варжапетян А.С., Авалян Р.Э., Арутюнян Р.М. Применение растительных тест-объектов: традесканции (Клон 02) и полыни горькой, для оценки генотоксичности почв и их загрязненности тяжелыми металлами // Биологический журнал Армении, 2009, том 61(4), с. 51-55.
11. Sukiasyan A., Yesayan M., Dovlatyan A., Aslanyan M. Redox and antioxidants status plant extract by oxidative stress related diseases // The FEBS Journal, 2010, V. 277, Issue s1, pp. 92.
12. Сукиасян А.Р., Атоянц А.Л., Тадевосян А.В., Шамиян А.Г., Киракосян А.А., Амбарцумян А.Ф., Агаджанян Э.А. Определение степени загрязненности почв тяжелыми металлами с помощью растительного тест-объекта // Вестник инженерной академии Армении, 2009, Т.3, № 3, С. 457- 460
13. Sukiasyan A.R., Mikaelyan Y. R., Ayrapetyan S. N. Comparative study of non-ionizing and ionizing radiation effect on hydration of winter wheat seeds in metabolic active and inactive states //The Environmentalist, 2012, v. 32, p.188-192.
14. Sukiasyan A.R., Kirakosyan A.A. The regulation of antioxidant status of the plant extract through value of redox potential // 15th Anniversary of the International Society of Antioxidants (ISANH), 3-4 July, 2013 Paris (France). Abstract book pp. 183.
15. Sukiasyan A.R., Hambardzumyan A.F., Kirakosyan A.A. The dependence of intensity super-weak luminescence of plant extracts on the total concentration of 3d-ions of heavy metals in there // XIII Congresso Luso-Espanhol de Fisiologia Vegetal, 24-27 July, 2013, Lisbon (Portugal), Abstract book: S1/p. 55.
16. Сукиасян А.Р., Симонян А.Г. Биомониторинг загрязнения окружающей среды по некоторым параметрам кинетических процессов // Вестник НПУА, Серия Химические и природоохранные технологии, 2014, Вып. 17, №1, С. 80-86.
17. Sukiasyan A.R., Kirakosyan A.A., Safaryan A.M., Sargsyan T.M., Safaryan A.A. Plant response and adaptation to abiotic stress // Agrotechnol, 2014, V.2, issue 4, pp. 85.
18. Сукиасян А.Р., Тадевосян А.В., Нагдалян А.Г., Багдасарян Т.С. Транспирация как критерий оценки абиотического стресса // Вестник НПУА, Серия Гидрология и гидротехнология, 2015, №2, С. 9-14.
19. Сукиасян А.Р., Тадевосян А.В., Хачатурян Н.Р. Оценка экологического состояния в условиях дефицита воды и растворенных в ней некоторых тяжелых металлов // Вестник НПУА, Серия Химические и природоохранные технологии, 2015, №2, С. 67-73.
20. Сукиасян А.Р., Багдасарян М.К., Маилян А.Л. Оценка степени загрязнения речной воды некоторыми тяжелыми металлами при эксплуатации малых гидроэлектростанций // Вестник НПУА, Сборник научных статей, 2016, часть II, С. 525-527.
21. Караджян С.К., Сукиасян А.Р. Адаптация растения в различных экологических зонах // Студенческая годовичная научная конференция РАУ, 11-14 апреля 2016 г. Сборник научных статей, С. 68-71.

22. **Сукиасян А.Р.**, Тадевосян А.В., Пирумян Г.П. Миграция ряда тяжелых металлов в системе почва–растение на фоне процессов водопоглощения в растении // *Естественные и технические науки*. 2016, №3, С. 32–34.
23. **Sukiasyan A.R.** Antioxidant capacity of maize corn under drought stress from the different zones of growing // *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 2016, V.8, №3, pp.413-415.
24. **Сукиасян А.Р.**, Тадевосян А.В., Симонян Г.С., Пирумян Г.П. Влияние абиотического стресса на рост растений // *Успехи современного естествознания*, 2016, № 7, С.168–172.
25. **Sukiasyan A.R.**, Baghdasaryan M.K., Mayilyan A.L. About possibility the impact of exploitation of small hydropower plants on the degree of pollution of river water by heavy metals // *European Journal of Natural History*, 2016, № 3, pp. 25-29.
26. **Sukiasyan A.R.** Regulation of water balance of the plant from the different geo-environmental locations // *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, V.8, № 3, 2016, pp. 846-849.
27. Караджян С.К., Мелконян С. Дж., **Сукиасян А.Р.** Оценка состояния тяжелых металлов в системе почва-растение // *Студенческая годовичная научная конференция посвящена 20-летию основания РАУ*, 18-20 апреля 2017г, Сборник статей, С. 94-99.
28. **Sukiasyan A.**, Tadevosyan A., Aslikyan M., Gharajyan K. Heavy metals in surface water: a risk assessment of its use for irrigation // *The 4th Conference on Frontiers in Water Biophysics (FWB)*, Erice, Abstract book, Sicily (Italy), May 23-27, 2017, pp.62.
29. **Sukiasyan A.**, Kirakosyan A., Tadevosyan A., Aslikyan M., Gharajyan K. Peculiarities of accumulation of some heavy metals on the chain of water soil plant // *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, 2017, V. 2, №5, pp. 1534–1541.
30. **Сукиасян А.Р.**, Киракосян А.А., Пирумян Г.П. Сравнение накопительной особенности тяжелых металлов у однолетних и многолетних растений // *Сборник научных трудов XIX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования» Москва, 26–28 сентября 2018, С. 179-183.*
31. **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, №2, С. 96–102.
32. **Сукиасян А.Р.**, Пирумян Г.П. Влияние содержания тяжелых металлов в воде и почве на экологический стресс растений в различных климатических зонах Республики Армения // *Вода и экология: проблемы и решения*, 2018, № 2(74), С. 87–94.
33. **Сукиасян А.Р.** Влияние содержания тяжёлых металлов в воде малых рек используемой для полива кукурузы армянской популяции // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018, № 4, с. 40–45.

34. **Сукиасян А.Р.,** Киракосян А.А., Пирумян Г.П. Оценка уровня нагрузки тяжелых металлов в системе вода-почва-растение по биогеохимическим показателям // Известия Тульского государственного университета 2018, № 4, С. 53-61.
35. **Сукиасян А.Р.** Новый подход определения фактора экологического риска // Юг России: экология, развитие, 2018, № 4, С. 108-118.
36. **Сукиасян А.Р.** Влияние засухи на антиоксидантную активность кукурузы из различных почвенно-климатических регионов // Вестник РУДН: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2019, № 26 (3), С. 315-325.
37. **Сукиасян А.Р.** Сравнительный анализ трансфер-фактора ряда тяжелых металлов в системе почва-растение // Вестник НПУА, Серия Химические и природоохранные технологии, 2018, №1, С. 71-77.
38. **Sukiasyan A.R.** Comparative study of plant drought with account taken of biochemical mobility of heavy metals // Russian Journal of General Chemistry, 2019, V. 89, № 13, P. 1–5.
39. **Сукиасян А.Р.** Дифференциальная антиоксидантная реакция на засуху по зонам роста листьев кукурузы // Химия растительного сырья, 2019, №2, С.169-177.
40. **Сукиасян А.Р.** Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в системе «почва - растение» по индексу геоаккумуляции и коэффициенту транспирации *Zea mays L.* // Вестник РУДН: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2019, № 27 (1), с. 39-50.

Патенты РА

- III.Արտոնագիր № 3060 А:** Բույսի խոնավաապահովվածության աստիճանի որոշման եղանակ / Ա.Ռ. Սուքիասյան, Ա.Վ. Թադևոսյան, Ա.Ա. Կիրակոսյան, Գ. Պ. Փիրումյան - Գրանցված է 16.11.16:
- II2.Արտոնագիր № 3072 А:** Բուսական ծագում ունեցող նյութերի ռադիկալային ակտիվության որոշման քիմյումինեսցենտային եղանակ / Ա.Ռ. Սուքիասյան, Ա.Վ. Թադևոսյան, Ա.Ա. Կիրակոսյան, - Գրանցված է 16.11.16:
- III3.Արտոնագիր № 3246 А:** Ծանր մետաղների հողատարածքների մաքրման եղանակ / Ա.Ռ. Սուքիասյան, Ա.Վ. Թադևոսյան, Ա.Ա. Կիրակոսյան, Ս.Ջ. Մելքոնյան, - Գրանցված է 28.12.18:
- II4.Արտոնագիր № 3248 А:** Բույսերի երկաթով աղտոտվածության գնահատման եղանակ / Ա.Ռ. Սուքիասյան, - Գրանցված է 28.12.18:
- II5.Արտոնագիր № 3251 А:** Հողի ծանր մետաղներով աղտոտվածության գնահատման եղանակ / Ա.Ռ. Սուքիասյան, - Գրանցված է 28.12.18:

ԱՍՏՂԻԿ ՈԱՖԻԿԻ ՍՈՒԲԻԱՍՅԱՆ

ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱԿԱՅՐՈՒՄ ԾԱՆՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾՄԱՆ ԵՐԿՐԱԲԵՆԱԴԱՅՊԱՆԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ԼՈՒԾՄԱՆ ՈՒՐԻՆԵՐԸ

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Աշխատանքի նպատակն է՝ բացահայտել Հայաստանի մի շարք տարածաշրջաններում որոշ ծանր մետաղների միգրացիան ջուր-հող-բույս համակարգում, շրջակա միջավայրը ծանր մետաղներով աղտոտվածության պայմաններում բույսերի հարմարվողականության մեխանիզմների ուսումնասիրությունը, ջրակլանման և գոլորշիացման ինտենսիվության փոփոխության ժամանակ բույսերի կողմից ծանր մետաղների կլանման և կուտակման յուրահատկությունների գնահատումը, նաև երաշտի պայմաններում և ծանր մետաղներով աղտոտված տարածքներում աճող բույսերի անվտանգ օգտագործման գիտականորեն հիմնավորված խոհրդատվությունների մշակումը, ըստ դրանց հակաօքսիդիչ ակտիվության:

Գիտական նորույթը: Աշխատանքում սահմանված է բնապահպանական ռիսկի գնահատման նոր մոտեցում ըստ մի շարք ծանր մետաղների կենսաերկրաքիմիական գործակիցների և կախված ուսումնասիրվող տեղանքի ծանր մետաղների պարունակության փոփոխության և ջուր-հող-բույս համակարգում փոխազդեցության: Առաջին անգամ առաջարկվել է կենսոլորտի արդյունավետ մշտադիտարկման մեթոդ, որը հիմնավորված է ինդիկատոր-բույսերում ինքնաբուխ քեմիլյումինեսցենցիայի ինտենսիվության և ծանր մետաղների կոնցենտրացիայի միջև ֆունկցիոնալ կապի միջոցով: Բացահայտված են բուսական օրգանիզմում ծանր մետաղների կուտակման հիմնական օրինաչափությունները ըստ օսմոտիկ ճնշման և ջրային պոտենցիալի: Առաջարկվել է հողածածկույթի աղտոտվածության գնահատում ըստ կլարկային կոնցենտրացիաների գործակիցների, որը թույլ է տալիս ունենալ շրջակա միջավայրի մարդածին աղտոտվածության իրական աստիճանը: Առաջին անգամ տրվում է բույսերի հակաօքսիդանտային հատկության փոփոխությունը ըստ աճման տարբեր հողակլիմայակն պայմաններից և որոշվել է հարմարվողականության գործընթացները, հաշվի առնելով նաև երաշտի աստիճանը: Առաջարկվել է հողատարածքները ծանր մետաղներից մաքրելու եղանակ, որի էությունն է աղտոտված տարածքում շաքարային եգիպտացորենի ցանքը, ի շնորհիվ դրանց ծանր մետաղների կլանման գերունակության, այնուհետև ծանր մետաղներ պարունակող հասունացած բույսի հեռացումը տարածքից:

Հետազոտության արդյունքների գործնական արժեքը և կիրառումը: Ստացված ծանր մետաղների տարածման (միգրացիոն) գործընթացները և մշակված մոտեցումները կարող են կիրառվել բիոտայի տեխնածին աղտոտումը գնահատելու ժամանակ:

Բույսերի աճի և զարգացման վրա աբիոտիկ սթրեսի ազդեցությունը որոշելու համար իրականացված ուսումնասիրությունները ունեն գործնական նշանակություն ջուր-հող-բույս համակարգում ծանր մետաղների միգրացիայի, կլանման և կուտակման սկզբունքների և օրինաչափությունների բացահայտման գործում: Մարդածին աղտոտվածության ռիսկի գործոնի գնահատման գաղափարը հանդիսանում է կարևոր մոտեցում, որը թույլ է տալիս հաշվի առնել շրջակա միջավայրում ծանր մետաղների չկառավարվող կոնցենտրացիոն փոփոխությունները:

Կենսատերկրաքիմիական մի շարք գործակիցների որոշման հիման վրա մշակվել են հողի աղտոտման դասակարգման սկզբունքներ: Ջուր-հող-բույս համակարգում ծանր մետաղներով հաշվարկային աղտոտվածության գնահատման համար մշակվել է մեթոդաբանություն՝ հաշվի առնելով երկրակեղևի վերին մասում կլարկների արժեքները, ինչը թույլ է տալիս հաշվարկել աղտոտման թույլատրելի չափորոշիչները:

Հիմնվելով ձեռք բերված արդյունքների վրա առաջարկվում են ծանր մետաղներով աղտոտված հողերի գնահատելու և մաքրելու գործնական կիրառման, ինչպես նաև բույսերի խոնավապարունակության որոշման մեթոդներ: Մասնավորապես, հաշվի առնելով դրանց աճի երկրաքիմիական պայմանները, առաջարկվում է մեթոդ բույսերի երկաթով աղտոտման դեպքում գնահատման համար:

Տրված է կապ ծանր մետաղների կլանման, կուտակման և ջրային ներուժի, բուսական բջջի օսմոտիկ ճնշման միջև, ինչը հանդիսանում է որոշիչ գործոն բուսական բջիջներում ծանր մետաղների ներթափանցման և կուտակման պրոցեսների միջև: Ջուր-հող-բույս համակարգում ծանր մետաղների միգրացիայի ժամանակ բույսերի պաշտպանիչ ֆունկցիան բացահայտելու համար առաջարկվում է գնահատել աբիոտիկ սթրեսի պայմաններում բուսական օրգանիզմի հակաօքսիդիչ ակտիվությունը: Տարածքների էկոլոգիական վիճակի մշտադիտարկման համար կարող է օգտագործվել ջրում ծանր մետաղների պարունակության փոփոխությունների որոշումը և բնապահպանական միջոցառումների հիմնական ուղղությունների և մեթոդների մշակումը:

ԵՁՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Հետազոտվող տեղամասերի աղտոտվածության աստիճանի գնահատման համար առաջին անգամ կիրառվել է երկրակեղևի վերին շերտում հետազոտվող ծանր մետաղների կլարկների կոնցենտրացիաների արժեք հասկացողությունները: Ստացված կոնցենտրացիայի կլարկների հաշվարկային արժեքների տարբերությունները ընդհանուր առմամբ բացահայտում են տարածման և երկրաքիմիական անոմալիաների դրությունների ոչ միանշանակությունը այնպիսի մետաղների համար, ինչպիսին են Cd, Ag, W, Co, Cu, Hg:

2. Հաշվի առնելով աղտոտման ընդհանուր ցուցանիշը, ըստ կոնցենտրացիայի գործակցի և ծանր մետաղների հողից բույս պոտենցիալ կենսաքիմիական շարժունակության արժեքների և աղտոտվածության ինդեքսի հաշվարկի, բացահայտվել են տարբեր հողակլիմայական տարածքներում աճող եգիպտացորենի համար համեմատական շարքեր:

3. Ստացվել են տարբեր հողակլիմայական գոտիների մի շարք ծանր մետաղների կենսաբանական կուտակումների տեսակարար գործակցի փոփոխությունը, հիմնվելով եգիպտացորենի հետազոտվող նմուշների համար Mo, Zn, Cr քանակական գերազանցման վրա: Հաստատված է, որ կախված հողի տեսակից բոլոր հետազոտվող տարածքներում ուժեղ խտացուցիչներ են հանդիսանում Mo և Zn, իսկ մնացած ծանր մետաղները՝ ուժեղից (0,04÷0,0025) մինչև թույլ (0,4÷0,25) միջակայքում ապախտացուցիչներ են:

4. Խիստ վտանգավոր ծանր մետաղների դասի Se և Sb ունեն էկոլոգիական ռիսկի գործոնի ցածր մակարդակ բոլոր հետազոտվող տարածքների համար, իսկ Շնողում և Օծունում նկատվում է Cd-ի էկոլոգիական ռիսկի ցածր գործոն, այն դեպքում, որ Հուշակերտում այն հասնում է նկատելի մակարդակի: Չափավոր վտանգավոր դասում բոլոր ծանր մետաղների համար էկոլոգիական ռիսկի գործոնի արժեքը ցածր է ողջ հետազոտվող տարածքների համար: Նվազ վտանգավոր ծանր մետաղների դասում Co ուներ բնապահպանական ռիսկի գործոնի ցածր արժեք: Նկատվել է բնապահպանական ռիսկի գործոնի շատ բարձր արժեք ըստ Zn և Mo-ի:

5. Ստացվել են համեմատական շարքեր ըստ ծանր մետաղների կլանման մի շարք գործակիցների արժեքներով ջուր-հող-բույս համակարգում: Ջրաբուսական արմատային և ծանր մետաղների պոտենցիալ կենսաքիմիական հողից բույսեր շարժունակության գործակցների բարձր արժեքով եգիպտացորենի նմուշների համար առանձնանում են Mo, Cd և Zn-ը:

6. Ցույց է տրվել հետազոտվող ծանր մետաղների պարունակության և բուսական բջջի ջրաթափանցելիության փոխկախվածությունը, ընդ որում բուսական բջջի դիտարկվող տուրգորը կախված է ջրում լուծված ծանր մետաղների կոնցենտրացիայից ինչպես միամյա (*Շաքարային եգիպտացորեն*), այնպես էլ բազմամյա (*Դառը օշինդր*) բույսերի համար, ինչպես նաև կարգավորում է տրանսպիրացիայի ինտենսիվությունը:

7. Բացահայտվել է ջրի սակավության պայմաններում ջրային պոտենցիայի մեծության և Հայաստանի տարբեր հողակլիմայական պայմաններից վերցրած եգիպտացորենի աճի հիևգերորդ տերևի մոտ օսմոտիկ ճնշման միջև մոտարկման կապը: Առաջին անգամ ըստ կենսակուտակման ինդեքսի ցույց է տրված կապը շաքարային եգիպտացորենի երաշտադիմացկունության և բույսի աճման հողակլիմայական պայմանների միջև:

8. Առաջարկված է էքսպրես եղանակ բնապահպանական իրավիճակի ախտորոշման և վերլուծության համար, հիմնվելով փորձարկված և արժանահավատ քիմիումիսցենտային լուսարձակման ինտենսիվության և մի շարք ծանր մետաղների գումարային պարունակության կապի միջև:

9. Տարբեր հողակլիմայական պայմաններով տարածաշրջանների եգիպտացորենի հիևգերորդ տերևի աճման գոտիների, չափավոր և խիստ երաշտի պայմաններում, հակաօքսիդիչ համակարգի ակտիվության կենսաքիմիական վերլուծությունը թույլ տվեց կապակցել բույսերի երաշտադիմացկունությունը աճի և երաշտահանդուրժողականության ռեդօքս-կարգավորման սթրեսի հետ:

BASIC GEOECOLOGICAL OBJECTIVES OF DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT AND WAYS OF THEIR SOLUTION

SUMMARY

Environmental protection from pollution is the most important task in the field of ensuring the safety of life and the development of society. Today, environmental tensions raise a number of environmental problems in the Republic of Armenia. Based on this, the task of assessing the prevalence and accumulation of heavy metals as the most dangerous chemical pollutants for the natural environment is brought to the fore. Moreover, the analysis of the current environmental situation, with the identification of spatio-temporal changes in it, is today an urgent task

The purpose of the work is a geo-ecological assessment of the state of the environment of some regions of the Republic of Armenia; in identifying migration distributions of a number of heavy metals in the soil-water-plant system; in determining the characteristics of absorption and accumulation of heavy metals by plants against the background of a change in the intensity of their water absorption and water evaporation; in studying the mechanisms of plant adaptation by their antioxidant activity in conditions of drought and contamination of the studied territories with heavy metals; in the development of evidence-based recommendations for the safe use of territories contaminated with heavy metals in drought conditions.

CONCLUSIONS

1. To assess the degree of contamination of the studied experimental sites, the values of Clarke and the scattering Clarke concentrations of the upper part of the continental crust for the studied heavy metals were first applied. The differences in the calculated values of concentration clarks and scattering clarks, in general, reveal the ambiguity of distribution and the contrast of geochemical anomalies for such heavy metals as Cd, Ag, W, Co, Cu, Hg.

2. Taking into account the total pollution index by the concentration coefficients and the values of the potential biochemical mobility of heavy metals from soil to plant, the calculation of the pollution index revealed comparative series in the soil-climatic regions of *Zea Maize L.* growth.

3. A numerical excess of concentration changes in the specific coefficient of biological accumulation by Mo, Zn, Cr for the studied samples of *Zea Maize L.* from various soil and climatic conditions is shown. It was established that, depending on the soil conditions, in almost all the studied territories, Mo and Zn are strong concentrators, and the remaining heavy metals are deconcentrators in the range from strong ($0.04 \div 0.0025$) to weak ($0.4 \div 0.25$).

4. In the class of highly hazardous heavy metals, Se and Sb have a low level of environmental risk factor for all studied territories, and in Shnokh and Odzun there is a low environmental risk factor Cd, while in Hushakert it reaches a significant level. In the class

of moderately hazardous, the value of the environmental risk factor for all heavy metals was low in all the studied territories. In the class of low-hazardous heavy metals, Co had a low value of the environmental risk factor. A very high value of the environmental risk factor for Zn and Mo was noted, regardless of the studied territories.

5. Comparative series were obtained by the values of a number of absorption coefficients of heavy metals in the water-soil-plant system. Mo, Cd, and Zn are distinguished by a high value of the water-plant root coefficient and the potential biochemical mobility of heavy metals from the soil to the plant for maize samples.

6. The interdependence between the content of the studied heavy metals and the water permeability of the plant cell is shown, while the observed turgor of the plant cell depends on the concentration of heavy metals dissolved in water in both one-year (*Zea Maize L.*) and multi-years (*Artemisia Absinthium L.*) plants, and also controls the transpiration rate and speed growth of corn from various soil and climatic regions of Armenia.

7. A correlation between the value of water potential and osmotic pressure in three-day shoots of the fifth leaf of *Zea Maize L.* from various soil-climatic regions of Armenia under drought conditions was revealed. For the first time, the relationship between the drought tolerance of *Zea Maize L.* by the index of geo-accumulation of heavy metals depending on the soil and climatic conditions of plant growth is shown.

8. A correlation between the intensity of the chemiluminescent glow and the total content of a number of heavy metals was obtained, and a proven reliable express method for diagnosing and predicting the environmental situation was proposed.

9. Biochemical analysis of the antioxidant activity system (malondialdehyde, FRAP, polyphenols, flavonoids) in plant samples under conditions of moderate and severe drought allowed us to associate drought tolerance at an early stage of seedlings (average leaf elongation) and tolerance (final length of the fifth leaf) to stress with redox regulation in the growth zones of the fifth leaf of *Zea Maize L.*, which differs in the soil and climatic regions of the plant's growth.

