ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ НАКОПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ.

Мусакаева Сабина Ришатовна Докторант ,
Джизакский педагогический университет (Республика Узбекистан, г. Джизах)
E-mail: musakaevasabina1@gmail.com
Сманова Зулайхо Асанолиевна *д.х.н.,профессор*
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Республика Узбекистан, г.Ташкент) E-mail: ***smanova.chem@mail.ru***
Рашидова Камила Хамидовна *д.х.н. доцент*
Джизакский государственный педагогический университет, (Республика Узбекистан, г. Джизах)
E-mail: kamilarashidova76@mail.ru
Яхшиева Зухра Зиятовна *д.х.н.,профессор*
Джизакский государственный педагогический университет, (Республика Узбекистан, г. Джизах)
E-mail: ***yaxshiyeva67@mail.ru***

Аннотация: *Данная работа посвящена анализу техногенного загрязнения водных ресурсов тяжелыми металлами, представляющими серьезную экологическую угрозу. В тексте систематизированы сведения о химических формах и путях миграции металлов в гидросфере, а также приведены актуальные нормативы ПДК. Основной акцент сделан на инновационных методах биоочистки, в частности —* ***фиторемедиации*** *и* ***биосорбции****. Автором доказана высокая эффективность применения*

микроорганизмов и макрофитов для нейтрализации ионов марганца, свинца, хрома, железа и стронция. В заключении аргументируется целесообразность внедрения интегрированных биосистем для восстановления качества природных и сточных вод.

Ключевые слова: *тяжёлые металлы, загрязнение вод, биосорбция, фиторемедиация, макрофиты, ПДК.*

Введение

В современной экологии одной из наиболее острых тем остается загрязнение гидросферы тяжелыми металлами (ТМ). Бурное развитие металлургии, горнодобывающей и химической промышленности ведет к постоянному росту объема стоков, насыщенных ионами металлов. В отличие от органики, ТМ не подвержены разложению; они лишь трансформируют свою форму и валентность, что приводит к их долгосрочному накоплению в пищевых цепях и пагубному влиянию на здоровье людей. [1] . Под термином «тяжелые металлы» понимают группу элементов с высокой плотностью и атомным весом более 50 а.е.м. (таких как Cr, Mn, Cu, Zn, Pb и др.), которые проявляют токсичные свойства даже в минимальных дозах. Особую тревогу вызывает состояние ирригационных каналов, которые аккумулируют сельскохозяйственные смывы и промышленные выбросы. Накопление в воде Pb, Cd, Cu и Zn создает угрозу безопасности агропродукции, так как металлы легко мигрируют по цепочке «почва — растение» [2]. Определяющими признаками тяжёлых металлов являются токсичность в низких концентрациях и способность к биоаккумуляции. [3].

В современных условиях одной из остроактуальных экологических проблем являются деградация ирригационных систем

которые подвержены антропогенному загрязнению ТМ в результате сельскохозяйственного стока и промышленных выбросов, ирригационные каналы является ключевой транспортной артерией для сельского хозяйства. Однако смыв минеральных удобрений и сточные воды приводят к накоплению в его экосистеме токсичных элементов: свинца (Pb), кадмия (Cd), меди (Cu) цинка (Zn) марганца(Mn) , хрома (Cr), железа (Fe),и стронция (Sr). Использование такой воды для орошения создает риски перехода металлов в систему «почва — растение», что напрямую угрожает экологической безопасности сельскохозяйственной продукции и здоровью населения [4]. Водные растения выступают в роли естественных биоаккумуляторов, концентрируя металлы в дозах, значительно превышающих их содержание в воде. Водные растения накапливают металлы путем пассивной адсорбции на поверхности клеточных стенок (благодаря наличию карбоксильных и сульфатных групп) и активного поглощения внутрь клетки. Способность водорослей к биоаккумуляции делает их идеальными объектами для биомониторинга и эффективными кандидатами для методов биоремедиации. Биосорбция стала перспективной «зеленой» альтернативой, использующей естественную способность биомассы связывать ионы металлов. [5]. Одним из распространеным видом растения в водоёмах Узбекистана является роголистник (Ceratophyllum demersum) – простое, но универсальное прудовое растение.

Роголистник признан одним из самых эффективных инструментов фиторемедиации. Это многолетнее травянистое растение, которое развивается в толще воды. Благодаря своей структуре и метаболизму , способен поглощать и удерживать высокие концентрации токсичных

металлов, он прекрасно поглощает нитраты и фосфаты из воды, поскольку у роголистника нет корней, поглощение происходит всей поверхностью растения, преимущественно через листья , путем пассивного и активного транспорта ионов из воды, накапливая их в тканях, что является частью его адаптации к разным условиям, хотя механизм включает сложную клеточную и физиологическую регуляцию, на клеточных стенках растения находятся функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные и аминогруппы), которые притягивают ионы металлов как «магниты», связывание металлов белками и их захоронение в вакуолях для минимизации токсичности, особенно в условиях загрязнения. [6]. Роголистник является гипер аккумулятором, то есть может накапливать металлы в дозах, во много раз превышающих их концентрацию в окружающей среде. Свинец (Pb): Растение удаляет до 95–96% свинца из воды. Максимальное накопление в тканях может достигать 17 000 мкг/г. Кадмий (Cd): Роголистник крайне эффективно извлекает кадмий даже при низких концентрациях (фактор накопления более 3000). Медь (Cu) и Цинк (Zn): Растение активно впитывает эти элементы, достигая максимальной адсорбционной способности до 6,17 мг/г для меди и 13,98 мг/г для цинка. Хром (Cr), Никель (Ni) и Кобальт (Co): Также эффективно удаляются из воды, причем кобальт часто поглощается даже активнее других металлов. Обитает роголистник в пресных водоемах, преимущественно со стоячей водой, что делает его незаменимым для очистки пруда. [7].

Миграция и формы существования тяжёлых металлов в водной среде

Соединения тяжёлых металлов загрязняют атмосферу, почву и водные объекты, мигрируют по биогеохимическим циклам и поступают в организм человека через пищевые цепи. Почва является важнейшим аккумулятором ТМ и источником их вторичного поступления в поверхностные и подземные воды. Установлено, что металлы сравнительно быстро накапливаются в почве, но удаляются из неё крайне медленно, что определяет длительный характер загрязнения [8].

Ионы металлов являются естественными компонентами природных вод и могут находиться в растворённой, коллоидной и взвешенной формах. Истинно растворённые формы представлены свободными ионами, гидроксокомплексами и комплексами с органическими и неорганическими лигандами. Формы существования металлов зависят от значений pH, окислительно-восстановительного потенциала (Eh), температуры и содержания органических веществ .

Многие тяжёлые металлы образуют устойчивые хелатные комплексы с гумусовыми веществами, что обеспечивает их высокую миграционную способность в поверхностных водах. Переход металлов в комплексную форму может сопровождаться изменением их токсичности и биологической доступности. Так, хелатные формы меди, кадмия и ртути, как правило, менее токсичны по сравнению со свободными ионами . [9].

Повышение концентрации тяжёлых металлов в водоёмах часто связано с закислением среды. Кислотные осадки способствуют снижению pH и переходу металлов из сорбированного состояния в растворённое, что увеличивает их подвижность и экологическую опасность . [10].

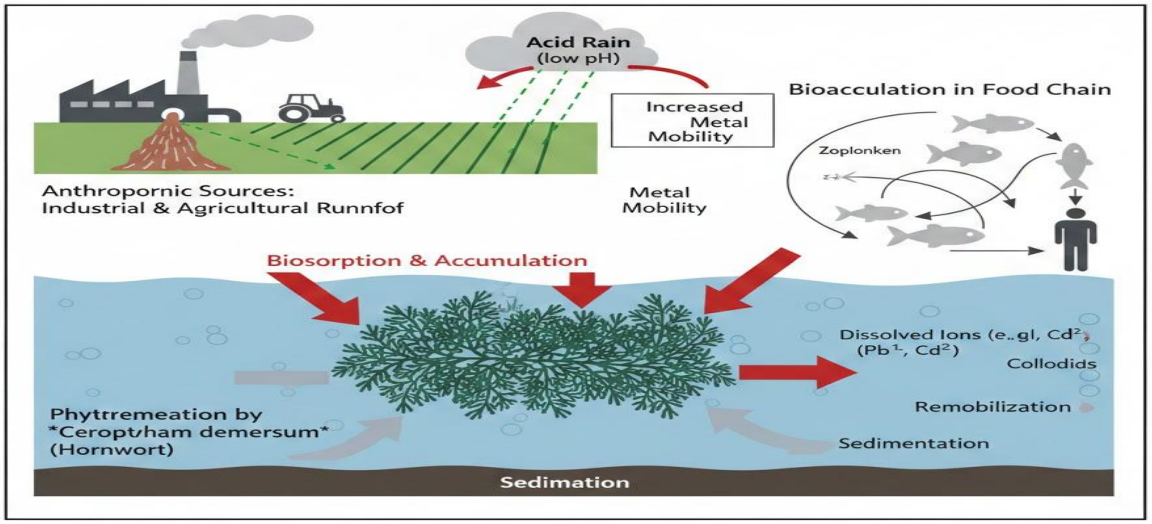


Рисунок 1. Пути миграции тяжёлых металлов в биосфере. [11].

Нормы содержания тяжёлых металлов в воде:

Для оценки безопасности воды используются показатели предельно допустимых концентраций (ПДК), устанавливаемые по токсикологическому, органолептическому, общесанитарному и рыбохозяйственному критериям. Превышение ПДК может оказывать негативное воздействие на здоровье населения, процессы самоочищения водоёмов и состояние водных экосистем.

Таблица 1 — Предельно допустимые концентрации некоторых металлов в водоёмах [12].

Металл	ПДК (мг/дм³)	Характер воздействия
Ртуть (Hg)	0.0005	Высокая токсичность
Кадмий (Cd)	0.001	Высокая токсичность
Свинец (Pb)	0.003–0.03	Санитарно-токсикологический
Хром (Cr VI)	0.05	Канцероген
Марганец (Mn)	0.1	Органолептический

Биосорбция как метод очистки воды: Биосорбция основана на способности биологических материалов связывать ионы металлов за счёт функциональных групп клеточных стенок. В качестве биосорбентов применяются бактерии, грибы, водоросли и высшие растения. Метод эффективен при концентрациях металлов 1–100 мг/л и характеризуется низкой стоимостью и экологической безопасностью. [13].

Метод фиторемедиации позволяет очищать водоемы in situ (на месте). Помимо роголистника, отличные результаты показывает водный гиацинт (Eichhornia crassipes). В ходе десятидневных испытаний он снизил содержание меди в 8,5 раз, а кадмия — в 6 раз. Также макрофиты эффективны в борьбе со стронцием, который по химической природе схож с кальцием и опасен для костных тканей человека. [14].

Очистка воды от ионов стронция: Стронций относится ко 2 классу опасности и поступает в водоёмы преимущественно из месторождений целестина. По химическим свойствам он близок к кальцию, однако его накопление в организме приводит к поражению

костной ткани. Исследования показывают, что макрофиты способны эффективно аккумулировать ионы стронция, что делает фиторемедиацию перспективной альтернативой традиционным методам очистки воды . [15].

Заключение и перспективы

Загрязнение водных объектов тяжёлыми металлами в условиях Узбекистана, особенно в ирригационных системах, представляет серьёзную экологическую и санитарную проблему. Накопление Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Cr, Fe и Sr формирует риски перехода металлов в систему «вода — почва — растение — человек».

Установлено, что биологические методы очистки обеспечивают высокую эффективность удаления металлов: степень извлечения свинца достигает 95–96 %, снижение концентрации кадмия — в 6 раз, меди — в 8,5 раза, цинка — более чем в 5 раз. Адсорбционная способность по Cu составляет до 6,17 мг/г, по Zn — до 13,98 мг/г; фактор накопления Cd превышает 3000.

Практическая значимость заключается в возможности внедрения биосорбционно-фиторемедиационных технологий для очистки ирригационных вод Узбекистана с достижением концентраций, близких к нормативам ПДК, при низких эксплуатационных затратах.

Перспективным является создание адаптированных региональных систем биологической очистки с контролем вторичного загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загрязнение водных объектов тяжелыми металлами и методы их очистки / А. В. Малыгин, В. В. Кирсанов. — Текст : электронный // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. — 2011. — № 4.

— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-vodnyh-obektov-tyazhelymi-metallami-i-metody-ih-ochistki.

2. Багров, В. В. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов / В. В. Багров, А. П. Глыбина. — Текст : электронный // eLIBRARY.RU : [научная электронная библиотека].— URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18833957.

3. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — 2-е изд., доп. — Москва : Гидрометеоиздат, 1984. — 560 с.

4. Голованов, А. И. Мелиорация земель : учебник для вузов / А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров ; под редакцией А. И. Голованова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : КолосС, 2011. — 824 с.

5. Пранджишвили, Д. А. Биосорбция тяжелых металлов: механизмы и перспективы использования биомассы / Д. А. Пранджишвили. — Текст : непосредственный // Биотехнология. — 2018. — Т. 34, № 2. — С. 15–28.

6. Хайдарова, Г. Д. Роль макрофитов в процессах самоочищения ирригационных каналов / Г. Д. Хайдарова, Б. А. Тошматов. — Текст : непосредственный // Вестник Национального университета Узбекистана. — 2021. — № 2. — С. 45–50.

7. 10. Титов, А. Ф. Тяжелые металлы и растения / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Г. Ф. Лайдинен. — Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2014. — 194 с.

8. Мотузова, Г. В. Соединения тяжелых металлов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг / Г. В. Мотузова. — Москва : Изд-во МГУ, 2013. — 208 с.

9. Никаноров, А. М. Гидрохимия : учебник / А. М. Никаноров. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 2001. — 444 с.

10. Моисеенко, Т. И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия / Т. И. Моисеенко. — Москва : Наука, 2003. — 276 с

11. Малыгин, А. В. Загрязнение водных объектов тяжелыми металлами и методы их очистки / А. В. Малыгин, В. В. Кирсанов. — Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. — 2011. — № 4. — С. 86–100.

12. СанПиН РУз № 0318-15. Гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. — Ташкент, 2015.

13. Багров, В. В. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов / В. В. Багров, А. П. Глыбина. — Текст : непосредственный // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». — 2012. — Спец. вып. № 2. — С. 195–201.

14. Шораева, К. А. Использование водного гиацинта (Eichhornia crassipes) в процессе фиторемедиации техногенно загрязненных вод / К. А. Шораева // Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. — 2018.

15. Гладких, А. А. Исследование макрофитов с целью применения для очистки природных вод от ионов стронция / А. А. Гладких, С. В. Пьянкова // Вестник Пермского национального исследовательского

политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. — 2021. — № 1 (41). — С. 106–120.