

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАН  
ХУДЖАНДСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР**

**На правах рукописи**

**УДК 332.362:574.5:556.114**



**РАХМОНЗОДА Нигора Норали**

**ОЦЕНКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ИНДЕКСОВ  
ПРИМЕНИМОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ В  
ТАДЖИКСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРЬЯ В  
УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 2.2. Астрофизика, физика, электроника, фотоника,  
приборостроение и связь (2.2.46. Метеорология, климатология,  
агрометеорология)

**Научный руководитель:**

доктор химических наук, профессор,  
член-корреспондент НАНТ,  
Заведующий кафедрой  
метеорологии и климатологии ТНУ  
Норматов Ином Шерович

**Душанбе – 2026**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....</b>	<b>4</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1. ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРЬЯ</b>	
1.1. Географическое расположение, водный ресурс и гидрохимия Реки Сырдарья.....	16
1.2. Оценка степени пригодности вод реки Сырдарья для орошения.....	25
1.3. Основные хвостохранилища с радиоактивными и тяжелыми металлами бассейна реки Сырдарья и связанные с ними экологические риски.....	26
<b>ГЛАВА 2. СТЕПЕНЬ ПРИМЕНИМОСТИ СТОКА РЕКИ СЫРДАРЬЯ В ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ</b>	
2.1. Гидрохимия и качество оросительной воды в среднем течении реки Сырдарья на территории Республики Таджикистан.....	43
2.2. Химический состав и степень применимости воды канала Ходжабакирган для орошения сельскохозяйственных земель.....	62
2.3. Динамика концентрации тяжелых металлов вдоль реки Сырдарья.....	67
<b>ГЛАВА 3. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ЧКАЛОВСКА (БУСТОН), ГАФУРОВА И МЕХАНИЗМЫ ИХ МИГРАЦИИ</b>	
3.1. Комплексная оценка содержания тяжелых металлов в почвах хвосторанилиц с радиоактивными отходами Чкаловска (Бустон) и индексов загрязнения окружающей среды.....	79
3.2. Механизмы переноса тяжелых металлов из почвы хвостохранилища	

Чкаловска (Бустона) в растения.....	87
<b>ГЛАВА 4. МОНИТОРИНГ ЗАСУХИ ВСЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНАХ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</b>	
4.1. Стандартизированный индекс осадков и испаряемости к мониторингу засухи в районе Джаббора Расулова Согдийской области.....	105
4.2. Мониторинг метеорологической засухи в районе Б. Гафурова Согдийской области.....	109
Заключение.....	116
Выводы.....	121
Рекомендации по практическому использованию результатов .....	122
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>123</b>
Список публикаций по теме диссертации.....	159

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ПДК	Предельно допустимая концентрация
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
НИЦ	Научно-информационный центр
МКБК	Межгосударственная Координационная Водохозяйственная Комиссия
SAR	Доля адсорбированного натрия
SSP	Доля растворимого натрия
ESP	Доля обменного натрия
PAR	Доля адсорбированного калия
EPP	Содержание обменного калия
NPI	Индекс загрязнения Немерова
FAO	Продовольственно-сельскохозяйственная организация
SPI	Стандартизированный индекс осадков
SPEI	Стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации
ЭП	Электропроводность
БПК	Биологическое потребление кислорода
КБП	Коэффициент биологического поглощения
ТМ	Тяжелые металлы
USEPA	Агентство по охране окружающей среды США
КДВ	Коллекторно-дренажные воды
РОВ	Растворенные органические вещества

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность темы исследования.* Ныне в регионе Центральной Азии наряду с продолжающейся обострением проблемы изменения климата и дефицита воды актуальной проблемой является демографические факторы и продовольственная безопасность. К 2025 году ожидается рост населения региона на более 90 % по сравнению с 1990 годом. Естественно для выполнения стратегических планов по обеспечению продовольственной безопасности, принятые во всех странах региона предстоит расширение площадей сельскохозяйственных земель и соответственно увеличение забора воды из водных артерий для орошения. Неэффективное функционирование водохозяйственного комплекса региона будет также способствовать ухудшению качества водных ресурсов, связанных со сбросами в поверхностные водотоки коллекторно-дренажных вод, минеральных и химических удобрений, промышленных стоков. Сохранится угроза попадания в поверхностные воды выносимых с паводковыми и селевыми потоками содержимого хвостохранилищ горнорудных предприятий с высоким содержанием токсичных и радиоактивных отходов, тяжелых металлов. Согласно данным ООН, в целом в мире 70% пресной воды используется в сельскохозяйственных целях. Однако половина этой воды либо испаряется, либо остаётся неиспользованной и стекает в реки, поскольку оросительные системы работают неэффективно. Сельское хозяйство является основным загрязнителем (до 90% источников загрязнения) реки. На отдельных участках в средней и нижней части течения реки Сырдарья превышение ПДК составляет по нитритам - в два раза, по сульфатам - в 4 раза. Коллекторно - дренажные воды, поступающие в реку Сырдарья от Токтогульского гидроузла в Кыргызстане до Кайраккумского водохранилища, ныне составляет 8680 млн. м<sup>3</sup> в год. Развитие ирригации привело к изменению ионного состава воды реки Сырдарья с карбонатно - кальциевого на натриевого - магниевое и сульфатно-хлоридное. В общей

сложности 20 миллионов тонн соли в год попадает в реку Сырдарья с помощью дренированного обратного потока, что увеличивает содержание соли в реке с 300–600 мг/л в верхнем течении до 3000 мг/л в нижнем течении Ферганской долины.

В бассейне реки Сырдарья насчитывается более 60 хвостохранилищ и влияние более половины из них имеет трансграничный характер. В последние годы участились проявления чрезвычайных природных явлений, таких как землетрясение, наводнение и сели которые с большой вероятностью становятся факторами возникновения техногенных аварий. В Кыргызстане многие хвостохранилищ с радиоактивными элементами расположены в бассейнах притоков реки Сырдарья и не отвечает соответствующим природоохранным требованиям. Известно, что с начала сооружения хвостохранилищ прошло достаточно долгое время, и они подвергались постепенной деградации. Следовательно, при таком состоянии хвостохранилищ велика вероятность просачивание хвостовых вод из ограждающих дамб попадания в притоках и далее в реку Сырдарья.

С глобальным изменением климата и многократного увеличения частоты природных чрезвычайных явлений процессы загрязнения водных артерий и окружающей среды бассейна реки Сырдарья усугубляется. Транспирация тяжелых и радиоактивных элементов в организм человека и других компонентов экосистемы происходит по общепризнанным международным агентством по атомной энергии путем “вода-почва-растение - человек”.

Известно, что Республика Таджикистан не располагает обширными территориями орошаемых земель, и данная проблема стимулирует эффективное использование каждой единицы пахотных земель, а также освоение новых орошаемых земель и восстановлению вышедших из сельскохозяйственного оборота земель. В этом плане особо следует отметить важность и своевременность Постановления Правительства Республики

Таджикистан от 01 марта 2022 года за номером №90 “Государственная программа по освоению новых орошаемых земель и восстановлению вышедших из сельскохозяйственного оборота земель в Республике Таджикистан на 2022-2027 годы”.

В настоящее время на территории северного Таджикистана накопилось более 200 млн. тонн отходов в 13 хвостохранилищах с общей площадью 200 га. Рекультивация территорий хвостохранилищ с передачей в хозяйственное пользование внесет вклад в решении проблемы охраны здоровья населения и экологического благополучия и расширению площади сельскохозяйственных земель для производства продуктов питания населения. В этом аспекте проведение систематических научных исследований по установлению состояния металлов, их миграции и участия в физико-химических процессах в почве может послужить основой для разработки технологии обеззараживания территорий.

Ныне в условиях нарастания влияния изменения климата на жизнедеятельности компонентов экосистемы наблюдается увеличение частоты возникновения засухи, которая негативно и более ощутимо влияет на сельское хозяйство. Актуальность данной проблемы обосновывается тем, что Правительством Республики Таджикистан приняты более 50 законов и подзаконных актов в области изменения климата и охраны окружающей среды. К настоящему времени реализуются более десяти государственных программ и планов действий: Национальная программа действий по опустыниванию в Таджикистане, Национальная стратегия Республики Таджикистан по снижению риска стихийных бедствий на 2019-2030 годы, Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года.

Для разработки сценариев по прогнозу возникновения засухи возникает необходимость создания банк многолетних данных включающих результатов функциональных зависимостей возникновения засухи от климатических,

гидрологических и экологических параметров. С этой точки зрения мониторинг возникновения засухи в конкретно взятой географической территории является актуальным.

*Степень изученности научной темы.* Сырдарья является одной из двух великих рек Центральной Азии, которая протекает по более десяти областей республик Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана в бассейне которой проживают более 25 миллионов населения. Основные водные ресурсы реки Сырдарья используются для орошения, а также для обеспечения населения питьевой водой. Благодаря наличию богатого гидроэнергетического потенциала в бассейне реки были возведены мощные гидроэлектростанции с водохранилищами.

Благодаря интенсивному и широкому использованию водных ресурсов реки Сырдарья в орошении сельскохозяйственных земель появлялась и обострилась проблема качества воды. Ухудшение качество воды представляет серьезную опасность для здоровья многомиллионных жителей бассейна реки Сырдарья [1-5].

Наряду с качеством вод трансграничных рек региона обострилась проблема количества оросительной воды в регионе Центральной Азии [6-11].

Однако в этих работах основное внимание уделялись вопросам минерализации реки Сырдарья за счет коллекторно-дренажных вод из сельскохозяйственных земель и ограничивались лишь констатацией показателей химического состава речного стока [2-4,9]. Не рассматривались вопросы гидрохимических процессов в водной среде, формирования комплексных соединений катионов с лигандами состава воды, миграционная подвижность катионов металлов и выявление факторов, способствующих улучшения миграционной подвижности комплексных соединений.

Известно, что в бассейнах притоков реки Сырдарья на территории Кыргызстана расположен ряд хвостохранилищ с радиоактивными и тяжелыми металлами советского периода. Очевидно вероятность

просачивания вод из таких объектов и попадания с ней различных радиоактивных и тяжелых металлов в сток реки Сырдарья [5].

Очевидно, что все компоненты экосистемы находятся в тесном взаимодействии и для получения всеобъемлющей информации и полной картины, протекающих в них процессов необходимо рассмотрение их в едином комплексе и в связи с этим внедрение интегрированного подхода в исследуемых природных объектах является актуальным [12-14].

***Связь исследования с программами (проектами) или научными темами*** Тема диссертационной работы по своему содержанию соответствует научным и/или научно-фундаментальным исследованиям, которые являются приоритетными исследованиями, утвержденными в “Стратегии Республики Таджикистан в сферах науки, технологий и инноваций на период до 2030 года” (Решение Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г., № 263) такими, как «Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года» от 2 октября 2019 года Постановлением Правительства Республики Таджикистан за №482.

Также исследование соответствует программе по реализации объявленной 2020-2040 гг. “Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере образования и науки”, утверждённого Постановлением Правительства Республики Таджикистан за номером 427 от 30.07.2020 г. и теме научно-исследовательских работ Худжандского научного центра Национальной Академии наук Таджикистана по исследованию влияния климата на метеорологические условия Согдийской области.

#### **Общее описание исследования:**

***Цель исследования.*** Оценка химического состава и применимости реки Сырдарья (таджикская часть) и канала Ходжабакирган для орошения, содержания и перехода тяжелых металлов к растениям в хвостохранилищах,

и мониторинг метеорологической засухи в сельскохозяйственных районах Согдийской области.

***Задачи исследования:***

- Физико-химический анализ состав воды реки Сырдарья и изучение динамики их изменения вдоль русла реки на территории Республики Таджикистан;
- Оценка степени применимости вод реки Сырдарья в орошении сельскохозяйственных земель определением индексов, рекомендованных ФАО по пригодности вод для ирригации;
- Комплекс физико-химических анализов химического состава вод канала Ходжабакирган для оценки пригодности канала в орошении сельскохозяйственных земель;
- Изучение Динамики концентрации тяжелых металлов вдоль реки Сырдарья и возможности накопления их в Кайраккумском водохранилище;
- Анализ содержания тяжелых металлов в почвах Чкаловском и Гафуровском хвостохранилищах, выявление механизмов миграции тяжелых металлов в растения;
- Мониторинг засухи в сельскохозяйственных районах согдийской области Республики Таджикистан.

***Объект исследования*** диссертационной работы являются гидрохимия реки Сырдарья, геоэкология хвостохранилищ в Чкаловске и Гафурове и агрометеорология сельскохозяйственных районов бассейна реки Сырдарья.

***Предмет исследования.*** Пробы воды из русла реки Сырдарья, пробы почвы из хвостохранилищ, стандартизированные индексы засухи, метеорологические параметры сельскохозяйственных районов Согдийской области.

### *Научная новизна исследования:*

- Методом химического анализа проб воды отбора в пяти пунктах реки Сырдарья установлено, что концентрация химических элементов вдоль русла реки меняются благодаря физико-химическим превращениям и влиянием внешних антропогенным факторам.
- Определением основных индексов пригодности воды для полива (доля адсорбированного, растворимого, обменного и процентного натрия и доли адсорбированного калия) установлено пригодность реки Сырдарья и канала Ходжабакирган для орошения сельскохозяйственных земель.
- Обнаружено отсутствие определенной закономерности динамики изменения концентрации тяжелых металлов (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) вдоль русла реки Сырдарья. Установлено, что основными факторами определяющие процессы миграции и осаждения, тяжелых металлов является кислотно-основные и окислительно-восстановительные условия водной среды.
- Установлено, что почва хвостохранилищ Чкаловское и Гафуровское по содержаниям тяжелых металлов (As, Co, Cr, Cu, Sr, V, Zn) характеризуются низким показателем экологического риска (RI) значительно ниже нижнего предела среднего уровня экологического риска ( $90 \leq RI \leq 180$ ).
- Использованием коэффициента биологического поглощения (БПК) для описания степени переноса тяжелых металлов (As, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V, Zn) установлено, что As, Co, V и Zn аккумулируются, а Cu, Ni, Cr, Cu и Sr захватываются растениями.
- Установлено, что районы Дж. Расулова и Б. Гафурова, несмотря на небольшое расстояние (25 км по прямой) относятся к разным климатическим зонам. Корреляционные зависимости метеорологических параметров районов характеризуются низкими

значениями коэффициентов корреляции, динамика эвапотранспирации в двух районов имеют противоположный характер изменения.

### ***Теоретическая, научно-практическая значимость исследования***

- Результаты диссертации могут использоваться:
- в обогащении научных представлений о механизмах химических превращений и динамики миграции химических ингредиентов вдоль русла рек;
- для описания основных процессов выветривания геологических пород водой и обогащения рек химическими элементами;
- в создании сценарии миграции тяжелых металлов по руслу водных артерий, процессов комплексообразования тяжелых металлов с анионами и органическими лигандами и влияния типа комплексов на скорости миграции тяжелых металлов;
- в исследовании процессов влияния химических элементов на корневую систему растений, их развитию и продуктивности. Могут использоваться в развитии теории обмена катионов почвы и корневой системы растений;
- для развития теории причинно-последственных механизмов возникновения засухи и сценарии принимаемых мер по значительному сокращению очагов проявления засухи.

Результаты диссертации в практическом плане могут использоваться Комитетом охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан для оценки экологического состояния побережий реки Сырдарья и канала Ходжабакирган, выявлению стационарных источников загрязнения, а также для разработки действенных мер по сохранению подводного биоразнообразия водотоков. В принятии мер по обеззараживанию территорий водохранилищ от тяжелых металлов селекцией растений с высокой аккумулярующей способности тяжелых металлов. В Академии сельскохозяйственных наук Таджикистана для разработки рекомендаций по

значительному повышению производительности и эффективности сельскохозяйственных земель путем строгого контроля химического состава оросительной воды.

***Положение выносимые на защиту:***

- Результаты физико-химических исследований химического состава воды реки Сырдарья, динамики концентрации химических элементов вдоль русла реки, расчеты значений индексов и степени применимости вод реки Сырдарья и канала Ходжабакирган в орошении сельскохозяйственных земель.
- Результаты мониторинга динамики концентрации тяжелых металлов вдоль реки Сырдарья и концентрации тяжелых металлов в почвах хвостохранилищ района Б. Гафурова и Чкаловска (Бустон) и механизмы их переноса в растения.
- Расчетные значения стандартизированного индекса осадков (SPI) и стандартизированного индекса осадков (SPEI) и эвапотранспирации и результаты мониторинга засухи в сельскохозяйственных районах Согдийской области Республики Таджикистан.

***Степень достоверности результатов*** обусловлено тем, что результаты получены с применением данных полученных на гидрометеорологических станциях Агентства по гидрометеорологии, применением статистических и корреляционных методов для обработки данных, анализ тяжелых металлов методами предложенных Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) и использование традиционных и современных теоретических концепций для интерпретации результатов.

***Соответствие диссертации научному паспорту (с описанием и областью исследования).*** Диссертация соответствует паспорту номенклатуры специальностей Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан по специальности 2.2. Астрофизика, физика, электроника, фотоника, приборостроение и связь (2.2.46.

Метеорология, климатология, агрометеорология), пункт 6: Вычислительные методы и геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии.

***Личный вклад заявителя на получение научной степени в исследование*** Сбор, анализ и систематизация информации по теме диссертации из опубликованных в отечественной и зарубежной литературы материалов и электронных ресурсов, разработка методологии. Участие в полевых работах по отбору проб, проведение химических анализов. Применение компьютерных программ для обработки метеорологических данных, результатов химических анализов и представление их в графическом виде и таблиц. Формулирование закономерностей миграции тяжелых металлов по руслу реки, механизмов переноса тяжелых металлов в растения и выводов и рекомендаций по практическому использованию результатов.

***Утверждение и реализация результатов диссертации (представление основных положений диссертации на конференциях, встречах, семинарах и других научных собраниях).*** Основные результаты диссертации представлялись для доклада на международной научно - практической конференции “Изменение климата и его влияние на окружающую среду: проблемы и их решение”. 28 октября 2024 г., Ташкент, Узбекистан; International Conference.” Fundamental and applied research in physics”. 16-17 May 2025, Tashkent, Uzbekistan; международной научно-практической конференции “Основные направления гидрологических исследований в условиях изменения климата: современные подходы и технологии”. 23-24-мая 2025 г., Ташкент, Республика Узбекистан; международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития физики», Худжанд, Таджикистан, 11-12 марта 2025 года

***Публикации по теме диссертации.*** Основные результаты диссертации опубликованы 9 печатных работ из них 3 статьи в рецензируемых журналах

ВАК при Президенте Таджикистана и 2 статьи в международных рецензируемых журналах и 4 тезисы докладов в материалах международных конференций.

***Структура и объем диссертации.*** Диссертация состоит из Введения, 4-х глав, заключения, выводов, списка литературы и глоссария, рекомендации по практическому использованию результатов диссертации.

Диссертационная работа изложена на 165 странице компьютерного текста, из них 21 таблиц, 47 рисунка и 223 библиографических ссылок.

# ГЛАВА 1. ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРЬЯ

## 1.1. Географическое расположение, водный ресурс и гидрохимия реки Сырдарья

Река Сырдарья является вторая река по водности в бассейне Аральского моря и характеризуется длиной 3019 км и площадью бассейна 219 тысяча км<sup>2</sup>, которая формируется слиянием двух рек на территории Кыргызстана и протекает по территория тех стран региона Центральной Азии (Узбекистан, Таджикистан и Казахстан).

Это придает ей статус трансграничной. “В формирование стока реки преобладает снеговое питание, с достаточного вклада вод таяния снегового покрова. Весеннее половодье (в апреле) является характерным водным режимом реки, а летнее полеводе (с пиком в июне) главным образом обусловлено таянием ледников зоны формирования реки Сырдарья. Более 90% водных ресурсов реки Сырдарья используется в аграрном секторе стран региона” [1].

В Центральной Азии водный кризис, связанный с нерациональным использованием Сырдарьи, угрожает сельскому хозяйству и экосистемам. Основные потребители воды в регионе — это сельское хозяйство Казахстана и Узбекистана, где на орошение хлопка и риса уходит до 90% водных ресурсов. Изношенные мелиоративные системы и отсутствие модернизации приводят к потере половины воды при транспортировке.

Специалисты указывают, что ключевым решением может стать введение севооборота и сокращение посевных площадей хлопка и риса, поскольку эти культуры требуют большого объема воды. Однако, полный отказ от рисоводства невозможен из-за особенностей почв региона, в частности, засоления. Рисовые поля промывают почву и вымывают соль, предотвращая дальнейшую деградацию земель.

Пойма реки Сырдарья в Согдийской области Таджикистана известна своими плодородными землями, где многочисленные фермеры занимаются сельским хозяйством. В стране, где 93 процента территории занимают горы, каждый клочок земли, пригодный для обработки, представляет особую ценность. В Спитаменском районе, расположенном на границе с Узбекистаном, хлопководство остаётся одной из основных отраслей, несмотря на сложные условия, с которыми сталкиваются крестьяне. Фермеры, чьи земли расположены в низменных участках у реки Сырдарья, имеют преимущество — доступ к воде, которая необходима для орошения хлопковых плантаций. Однако это преимущество становится всё менее значимым, так как стоимость воды растёт. За последние годы цена за полив увеличилась на 150 процентов, что сильно ударило по экономике фермеров. Ранее за один час полива с гектара требовалось платить около 20 сомони, теперь же эта цифра выросла до 50 сомони. Некоторые из них уже делают выбор в пользу садоводства, заменяя хлопковые плантации фруктовыми деревьями, которые требуют меньше воды и ухода. Например, абрикосы стали предпочтительным выбором для многих фермеров. Они меньше зависят от воды, их цена стабильна, а плоды используются не только на внутреннем рынке, но и для экспорта, особенно в виде кураги [1].

Сырдарья остаётся важным источником воды для сельского хозяйства. На её берегах расположены Фархадская и Кайраккумская ГЭС водохранилища, которых обеспечивают водой не только Таджикистан, но и соседние страны, такие как Казахстан и Узбекистан. В засушливые годы, например, в 2021 году, Таджикистан выделил Казахстану дополнительные 315 миллионов кубометров воды, чтобы помочь местным фермерам. Такие договорённости демонстрируют важность трансграничного водного сотрудничества в регионе.

Несмотря на сложности, связанные с доступом к воде и ростом расходов на сельскохозяйственное производство, фермеры продолжают использовать

каждый доступный участок земли. Рядом с полями хлопка выращиваются рис, огурцы и помидоры. Некоторые фермеры специализируются на выращивание риса, используя воду из Кайраккумского водохранилища. Рис требует обильного полива, однако его стабильные урожаи приносят неплохие доходы местным хозяйствам.

Приточность воды в бассейне Сырдарьи в период вегетации 2025 года составил 25,77 км<sup>3</sup>, или 87% от нормы (29,49 км<sup>3</sup>). Это, в свою очередь, требует точного распределения ресурсов.

По итогам 89-го заседания Межгосударственной водохозяйственной комиссии (5 апреля 2025 года), лимиты забора воды были установлены для: Казахстан - 909 млн. м<sup>3</sup>, Кыргызстан - 270 млн. м<sup>3</sup>, Таджикистан - 1905 млн. м<sup>3</sup> и Узбекистан - 8800 млн. м<sup>3</sup>. Таджикистан дополнительно сбрасывает воду для Узбекистана и Казахстана летом, компенсируя дефицит.

Соглашение Таджикистана, Узбекистана и Казахстана о совместной эксплуатации «Бахри Точик» на лето 2025 года, подписанный 30 мая 2025 года, знаменует шаг к устойчивому управлению водными ресурсами. Протокол, основанный на данных о приточности и лимитах, обеспечивает водную безопасность. Для трех стран это означает укрепление доверия, экономический рост, интеграцию, экологическую устойчивость и дипломатический прогресс. Центральная Азия демонстрирует пример эффективного сотрудничества, способного вдохновить регион. «В Таджикистане только в двух пунктах ведется контроль качества воды путем отбора проб для химических анализов.

В первом пункте который был организован еще в 1953 году и расположенного недалеко от границы с Узбекистаном (около 10 км) контроль качества воды (гидрологический режим, уровень воды, измерения температуры воды, измерения расхода воды, измерения расходов наносов и взятие проб для определения мутности воды) ведется на гидропосту Кизылкишлак. Приблизительно 149 км выше по руслу от государственной

границы с Узбекистаном находится второй пункт наблюдения, так называемый гидропост “Акджар” действующий с 1953 года. В обоих гидрологических постах проводится оценка физических параметров воды, температура, кислородный режим и общее органическое загрязнение, солесодержание и биогены ежемесячно” [2].

Содержание микроэлементов в реке Сырдарья анализировались до 1990 года и далее в связи с проблемами отсутствия соответствующих приборов и реагентов не проводятся. Для анализа химического состава воды реки Сырдарья ежемесячно отбираются проб воды в основном в двух пунктах. Гидрологический пост “ Акджар” расположен выше по течению на расстояние около 150 км от границы с Узбекистаном. “Проба воды комплексная, две под-пробы отбираются с правого и левого берега, с поверхности. На месте готовится общая смешанная проба, которая доставляется в лабораторию для анализов. Анализируются физические свойства воды, температура, кислородный режим и общее органическое загрязнение, солесодержание, биогены, и некоторые неорганические микроэлементы (металлы). Отбор проб осуществляется ежемесячно” [2].

Контроль качества воды реки Сырдарья осуществляется структурными подразделениями Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан, но не охватывает полный перечень параметров для контроля, установленными соответствующими стандартами. Сегодня, в лаборатории «Таджикгидромет» ведут исследование качества водных ресурсов по тем параметрам, которые они в состоянии выполнять, а не по реальной необходимости.

В Таджикистане оценка качества поверхностных вод осуществляется в соответствии с РД 52.08.23-84 «Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод. РД 52.24.309.92 «Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши» [2].

В Таджикистане не осуществляется мониторинг качества воды Сырдарьи систематически. В 2014 году были выполнены соответствующие исследования в пунктах, расположенных по течению выше и ниже Кайраккумского водохранилища, результаты, которых приведены в таблице 1.1 [1].

**Таблица 1.1.** - Загрязнение реки Сырдарья по течению выше (Булок) и ниже (Худжанд) Кайраккумского водохранилища [3].

Точки отбора	Общ. состав Раств. вещ-в, мг/л	соли мг/л	Органика мг/л	Са мг/л		Na мг/л		Fe мг/л	
				взвеш	раст	взвеш	раст	взвеш	раст
Булок	1111	920	191	7.2	109	0.68	117	1.51	0.02

Содержание всех компонентов уменьшается по мере прохождения воды через Кайраккумское водохранилище. На участке реки ниже Кайраккумского водохранилища речная вода обогащается кислородом, вероятно связано процессами влияния турбин гидротехнического сооружения, где осуществляется сильные циркуляционные и турбулентные течения водного стока. Наряду с этим после прохождения стока реки из турбин Кайраккумского ГЭС наблюдается уменьшение содержания растворенных веществ на более 25%, солей (24%) и органических веществ (более 35%). Благодаря высокой растворимости хлорида натрия уменьшение концентрации натрия после турбины составляет около 30%. В водохранилище интенсивно протекают в зависимости от сезона года

окислительно-восстановительные реакции, благодаря которым происходит осаждение многих химических элементов. Например, железо (до 20%, кальций более 5%) [1].

При естественном формировании химического состава речных вод (выветривание горных пород, т.е. вымывание горных пород водой) концентрация химических ингредиентов в реке проявляет зависимость от сезона года, т.е. от водности реки. Однако в большинстве случаев речные артерии испытывают антропогенное влияние и в данном случае контроль качества воды и установление источников формирования химического состава вод становится проблематичной.

“Следует отметить, что между скоростью расхода речной воды и степени минерализации нет определенной функциональной зависимости. Например, как было обнаружено в [4], где стока реки в три раза уменьшилось в 2001 году, увеличение потока ионов увеличилось около полтора раза. Другими словами при естественном формировании химического состава воды каждая единица объема водного стока содержала около пятисот тыс. т. ионного стока и при учете антропогенной составляющей нагрузки около тысяча девятьсот тыс. т” [4].

Изменение степени минерализации реки Сырдарья пережило ряд периодов, которые тесно связаны с динамикой развития аграрного и промышленных секторов экономики в бассейне реки. Бурное освоение сельскохозяйственных земель бассейна реки для производства стратегического сельскохозяйственного сорта культур - хлопка сырца привело к изыманию сверхбольших объема воды и поступления в реку коллекторно - дренажных вод. Естественно простой от функционирования промышленных объектов, замедление работы аграрного сектора и тем самым уменьшение возвратных вод степень минерализации реки уменьшается.

“Ежегодно около пятнадцати кубических километров сточных вод, степень минерализации которых от одного до более четырех мг/л,

формируется в бассейне реки Сырдарья и восемь кубических километров выбрасываются в реку” [4].

“Многофункциональность реки Сырдарья сопровождается зарождением многих проблем и приводит к обострению внимания многих ученых, специалистов. В течение многих лет были продолжены, и продолжается ныне исследований гидрологические характеристики, баланс притока и оттока воды в реку, процессы эвапотранспирации с водных резервуаров бассейна с целью определения будущей перспективы использования реки для агропромышленного сектора” [5-13].

При комплексном исследовании бассейна реки Сырдарья и при реализации интегрированного управления водными ресурсами бассейна аспекты, связанные с качеством воды не рассматривались всерьёз. Проявление различных инфекционных заболеваний, массовое отравление населения и гибели детей послужило доминирования исследований гидрохимии реки.

“Обострение проблемы качества речной воды, от которой зависит жизнедеятельность миллионов населения бассейна реки Сырдарья, привело к интенсификации исследований качества воды, выявление стационарных источников загрязнений, сохранению биоразнообразия и экологии. Данная проблема актуальна и тем, что ныне в сельском хозяйстве используются химические препараты, превращающие в водной среде в вещества, представляющие серьезные опасности для биосфер” [14,15]. “Гидрохимия реки является чувствительным индикатором к малейшим изменениям химического состава вод. Она является главным звеном в описании процессов образования химического состава рек за счет протекания процессов вымывания химических элементов из горных пород водой” [16,17], “водоемов, процессов взаимного обмена ионов химических элементов между резервуарами подземных и поверхностных вод” [18] “и в выявление степени антропогенной нагрузки на водные артерии” [19].

“Эпизодические, с определением ограниченного количества показателей качества воды, исследования которые проводятся специалистами стран Центральной Азии в реке Сырдарья и ее притоков” [20-22] “вполне не соответствует требованиям нынешнего времени, когда обостряются демографические факторы и тем самым, усиливается нагрузка на водные артерии и проблема продовольственной безопасности решением которого проводятся включением в севооборот ранее не задействованных земель. С применением новых химических реагентов в сельском хозяйстве и протеканием различных физико-химических процессов с ними в водной среде приводит к образованию токсичных соединений, которые представляют серьезную угрозу здоровью населения бассейна”.

“На протяжении 2500 км река Сырдарья питается в основном за счет ледников и таяния снега [8]. 75% годового стока вод Сырдарьи ( $36,57 \text{ км}^3$ ) формируется в Кыргызстане” [23]. “Пик стока в Ферганскую долину Узбекистана приходится на июль и август, а сухой сезон длится с ноября по апрель” [22]. Разумно было бы усилить и расширить научные исследования направление на выявление механизмов обогащения водных артерий химическими элементами, влияния метеорологических параметров на процессы эвактранспирации с водоемов, сбор информации о геологическом строении зон формирования и прибрежных территорий. Обобщение всех полученных информации позволяет выявить стационарных антропогенных источников загрязнения рек и предпринимать соответствующие меры по их устранению. Полученные в [24] результаты о преобладание растворения карбонатов по сравнению силикатных пород является первые шаги в комплексном исследовании гидрохимии реки Сырдарья.

“Речные воды реки Сырдарьи широко используются для орошения” [25], “и качество воды в верхнем течении оказывает большое влияние на орошение в нижнем течении. Кроме того, реки на исследуемой территории впадают в Ферганскую долину, которая имеет одну из самых высоких

плотностей населения в Центральной Азии и входит в число конфликтных районов по водным ресурсам” [26,27], “и реки на этой территории являются основными источниками для ирригации. Для классификации и оценки качества воды для орошения используются диаграммы Уилкокса (Wilcox) и USSL” [28]. Согласно диаграмме USSL, образцы воды относятся к категориям: низкая натриевая (щелочная) опасность и низкая/средняя соленость, соответственно, что говорит о том, что качество речной воды удовлетворительно для использования в орошении.

“Гидрохимия рек как главный фактор разделяет вод, в зависимости от ее химического состава, области применения. Воды с удовлетворительными параметрами являются залогом нормального функционирования компонентов биосферы, сохранению биоразнообразия и их устойчивого развития” [29]. Химический состав водного объекта является индикатором и выступает как инструмент для выявления стационарных источников загрязнения. И главным критерием применимости водных ресурсов в различных отраслях экономики и играет существенную роль в описании закономерностей формирования химического состава воды в результате вымывания горных пород и установить особенности влияния парниковых газов на разрушение горных пород [30-32]. Однако вода, тонко реагируя на антропогенное воздействие быстро и кардинально, меняет физико-химические свойства [33].

Ежегодно в реку Сырдарья вливаются более двадцати тонн соли. Благодаря чему резко возрастает степень минерализации реки. Можно представить, что концентрация соли в низовья реки Сырдарья увеличивается в десять раз по сравнению с верховьем реки и достигает  $3 \cdot 10^3$  мг/дм<sup>3</sup>. “Установлено, что в последнее десятилетие наблюдается увеличение содержание сульфатных соединений металлов до 45% в водах реки Сырдарья” [34,35].

## 1.2. Оценка степени пригодности вод реки Сырдарья для орошения

Пригодность воды для полива сельскохозяйственных земель определяется значениями ряд показателей. Одной из главных из них является доля адсорбируемого щелочного элемента натрия (SAR) который определяет подвижность катионов натрия и его участия в обменных реакциях с другими элементами почвы. В зависимости от содержания катионов натрия изменяется степень щелочности воды и при его содержании в воде меньше десяти степень применимости воды считается отличной, при его содержании в районе 10-18 хорошей и при более 26 не пригодной для орошения. Следует отметить, что проницаемость почвы тонко реагирует на содержания натрия (%Na). При его содержания в воде меньше 20% оросительная вода характеризуется отличной, хорошей при % Na в районе 20-40% и неподходящей при 60-80%.

Для определения степени применимости вод для полива земель используется также другой показатель КІ равного отношению содержания катионов натрия к сумме двух щелочноземельных элементов (Са и Mg). При высоких концентрациях натрия в воде КІ принимает значений больше единицы и это означает, что вода не пригодна в оросительных целях. Следовательно, благоприятной для орошения является вода со значениями КІ меньше единицы. При классификации пригодности воды для орошения на основе КІ, значение более 1 означает, что в воде слишком много натрия для орошения, а значение менее 1 означает, что вода пригодна для орошения.

“Интенсивное орошение и использование земель для производства сельхозкультур в регионе Центральной Азии берет начало с начала 60-х годов прошлого века. Например, в конце 90-х годов прошлого века площадь орошаемых земель Приаралья увеличилась почти два раза по сравнению 50-х годов и составила 9354000 га”. “Ныне площадь орошаемых земель равного 3260000га была увеличена почти в три раз по сравнению 1960 года” [36,37].

С увеличением площадей сельскохозяйственных земель забор воды из главных водных артерий бассейна Аральского моря существенно возросло. Только в восьмидесятые годы прошлого века забор воды достигло 106790 млн. м<sup>3</sup>, тогда как эта величина в шестидесятые годы составляла 56152 млн. м<sup>3</sup>.

“Забор воды на орошение из реки Сырдарья за названный период увеличился в 1,7 раз и достиг 46 445 млн. м<sup>3</sup> [38]. В настоящее время забор воды из реки Сырдарья почти полтора раза превышает ее водных ресурсов” [37].

“Максимальное использование водных ресурсов реки Сырдарья приводит к тому, что степень минерализации в ее низовьях достигает величину близкое к единице. В зоне формирования реки из-за ограниченности площадей сельскохозяйственных земель река мало испытывает антропогенную нагрузку и соответственно характеризуется хорошим качеством воды” [39].

“Кайраккумское водохранилище в средней участке реки Сырдарья в большинстве случаев выступает как накопитель всех загрязнителей из территории Ферганской долины” [40].

### **1.3. Основные хвостохранилища радиоактивных и тяжелых металлов бассейна реки Сырдарья и связанные с ними экологические риски**

“Одной из актуальных проблем современности связанной с нарастанием концентрации тяжелых металлов в объектах экосистем в связи бурным развитием горнодобывающей отрасли и соответственно увеличением отходов данной отрасли является последствия, вызываемых тяжелыми металлами” [41]. Попадание тяжелых металлов в водные объекты вызывают особую тревогу благодаря их способности к миграции и образованию комплексных соединений с органическими лигандами. Вода может быть загрязнена накоплением тяжелых металлов в результате выбросов отходов горнодобывающей промышленности, из захороненных отходов с высоким

содержанием металлов [42], что представляет большой риск для компонентов экосистемы и здоровья человека. “Токсикация живых организмов благодаря расстройству метаболических процессов, прежде всего вызывается влиянием тяжелых металлов” [43,44].

“Элементы как ртуть, цинк, свинец, хром (Cr), кадмий (Cd), никель (Ni) и мышьяк с плотностью  $5 \text{ г/см}^3$  входят в класс тяжелых металлов [46], которые характеризуются свойствами накопления в компонентах экосистемы, стимуляции процессов приводящих к существенным изменениям свойств и структуры компонентов экосистемы и появления различных заболеваний при их избыточной концентрации” [47-49].

Генерация тяжелых заболеваний как дисфункция почек, рака легких и расстройство центральной и вегетативной нервной системы, пищеварительного тракта и сердца обусловлены воздействием кадмия и ртути соответственно [50-52].

В классе тяжелых металлов особое внимание уделяется и строго контролируется соответствующими органами контролю содержания и воздействия элементов ртути, мышьяка, меди, цинка свинца хрома, кадмия и никеля. Степень загрязнения почвы и потенциального экологического риска тяжелых металлов оценивается индексами геоаккумуляции (Igeo) и потенциального экологического риска (RI) [58-59]. “Поступление металлов и других химических элементов в почву в основном происходит в результате разрушения минералов и содержание элементов варьируются в почве в широких пределах в зависимости от свойств почвы” [61]. “Степени загрязнения почвы тяжелыми металлами и риски связанные с ними оцениваются индексами геоаккумуляции и экологического риска” [58]. Хотя миграционная способность тяжелых металлов определяется их концентрациями в почве, однако форма их нахождения в гуминовых кислотах существенно стимулируют подвижность и перехода в растениях тяжелых металлов. Способные к высокой миграции главным образом

накапливаются на верхнем слое почвы, которые обогащены органическими соединениями.

При высоком содержании гумуса в почве и низкой кислотности тяжелые металлы (за исключением кадмия) переходят из мобильной в стационарную форму.

Кислотно-щелочной показатель почвы во многом определяет подвижность тяжелых металлов. Например, если подвижность свинца и ртути ощутима при рН 4, нарастание подвижности меди, хрома наблюдается при значениях рН 4.5 – 5.0 и цинка, никеля и кобальта при рН 5.0–5.5. Сорбцию катионообразующих меди, цинка, никеля, ртути и свинца и увеличение подвижность анионообразующих молибдена, хрома и ванадия обусловлено увеличением рН почвы [62].

“В зависимости от механизмов взаимодействия металл – почва и методам извлечения тяжелых металлов из почвы существует следующие группы соединений металл – почва: слабо - и сильно связанные” [63,64].

Особый интерес в процессах перехода тяжелых металлов в растения представляют агрегации, представляющие слабосвязанные с компонентами почвы тяжелых металлов, так как по прочности связи сходны прочности связям и миграционным способностям компонентов почвы. Это позволяет им благодаря высокой миграционной способности переходит в растения и далее по цепочке в другие среды.

Прочно закрепленных тяжелых металлов в структурах устойчивых органических соединениях и минералов составляют группу сильно связанных соединений.

Нарушение экологических норм сельскохозяйственного производства может привести к потерям гумуса почвы и тем самым генерировать различные нежелательные процессы как засоления, снижения питательных веществ и загрязнению почвы остатками тяжелых металлов. Ведь очевидно, что накопление основной части загрязняющих веществ наблюдается

преимущественно в гумусово-аккумулятивном горизонте почвы и состава гумуса, кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности и интенсивности биологического поглощения определяет состав и количество удерживаемых в почве элементов.

Таким образом, для обеспечения высокой эффективности и продуктивности сельскохозяйственных земель разработкой современных и научно-обоснованных технологии возделывания земель необходимо строго учитывать результатов исследований агроэкологических состояний почв орошаемых и богарных земель.

“Формирование соединений тяжелых металлов в почве с высокой степени миграции часто становится причиной негативных экологических последствий” [65,66]. В процессе миграции таких соединений и вступление во взаимодействие с минеральными компонентами приводит превращениям, зарождению и совершенно другим трудноусвояемых растениями компонентов.

“Тяжелые металлы могут выносятся из почвы, и превращаются в источники вторичного загрязнения подземных вод в условиях режима выщелачивания. При наличии в составе загрязняющих веществ серы, образование вторичной сероводородной среды способствует образованию нерастворимых / плохо растворимых сульфидов тяжелых металлов” [67].

Почти нерастворимые соединения свинца образуется в нейтральных почвах. Наоборот цинк, ванадий, мышьяк и селен подвижны в нейтральных почвах. Риск загрязнения почвы перечисленными элементами возрастает с увеличением щелочности почвы [68]. “Растения, как и почвы, являются важнейшим звеном в биологическом круговороте веществ” [69]. Многие тяжелые металлы (цинк, медь, свинец) в разумных концентрациях являются необходимыми компонентами жизнедеятельности растений. Согласно [70] по токсичности металлы располагаются в следующем порядке: Cu> Ni> Cd> Zn> Pb> Hg> Fe.

“Количество поглощенных тяжелых металлов функциональными частями растений прямо пропорционально содержанию веществ в почве” [70]. “Тяжелые металлы могут переноситься через почву путем обмена и диффузии”.

“В процессах перехода тяжелых металлов из почвы в растения и их влияние на жизнедеятельности растений имеется естественный барьер, который в определенной степени ограничивает потенциальную токсичность тяжелых металлов с уменьшением их негативного влияния. Этот естественный защитный механизм, так называемый барьер “почва-растение” состоит из трех составляющих элементов” [71]:

- элементы, которые нерастворимы в почве и не накапливаются в растениях, такие как Pb, H;
- элементы, которые нерастворимы в почве и не накапливаются в растениях, такие как Pb, H; элементы, которые поглощаются корнями, но нерастворимы и поступают в ограниченных количествах в штаммах, как Fe;
- элементы, которые при избыточном внесении вызывают фитотоксичность, поэтому растения не потребляются человеком или животными: Zn, Cu, Ni, Co, Mn.

“Показатели способности поглощения тяжелых металлов растениями из системы осадков сточных вод – почва варьируется в широких пределах в зависимости от вида, строения и состава функциональных групп культур. Проблема влияния осадков сточных вод на взаимодействие почвы и растения из-за сложности состава сточных вод является сложной” [72].

Резкое увеличение контингента людей с нервными, сердечно - сосудистыми, почечными, неврологическими нарушениями, заболеваниями костей связанные с влиянием тяжелых металлов, поступающих в живые организмы с продуктами питания, вызывает тревогу у мирового сообщества [73,74]. “Основными источниками поступления тяжелых металлов в живые

организмы являются твердые и жидкие отходы, сельскохозяйственное сырье и осадки промышленных и городских выбросов” [75].

При этом следует отметить, что тяжелые металлы в живых организмах в пределах допустимых концентраций выполняют важные функциональные задачи. Например, с биохимической точки зрения наличие тяжелых металлов в состав овощей является необходимой. В регулирование метаболизма человека существенный вклад вносят кобальт, хром (III), медь, железо, марганец, молибден, селен и цинк [76]. “Перенос тяжелых металлов из почвы в растения является основным путем воздействия металлического загрязнения на человека” [77].

С биологической точки зрения для роста и расцвета растений требуется определенный режим водного баланса, который занимает важное место в жизнедеятельности растений, формировании их продуктивности и столь необходимой для выработки контрагента к стрессовым внешним факторам. Накопительная активность ТМ в растениях определенным образом регулируется интенсивностью адсорбции воды почвой и уменьшением поглощающей активности корневой системы [78,79]. “Попадание тяжелых металлов вместе с водой из почвы в растения существенно изменяют его физико-химические свойства, нарушению водного обмена, что негативно отразится на физиологические процессы” [80]. Кроме того многие тяжелые металлы в большинстве случаев биоаккумулятивны, что создают экологическую проблему [81-83]. Данная проблема сильно обостряется и вызывает у растений глубокую стрессовую ситуацию при высоком содержании тяжелых металлов в почве [84].

“Корневая система растений регулирует поступление воды, интенсивность адсорбции воды почвой и уменьшение поглощающей активности корневой системы регулирует активность накопления тяжелых металлов в растений. При увеличении концентрации тяжелых металлов в растениях происходит уменьшение воды в клетках” [78,85-87]. Нехватка

воды у корней растений отражается на процессы эваотранспирации, что отрицательно сказывается на физиологические процессы. “Было установлено, что в случае удаления из основного русла реки антиоксидантный статус растения изменяется” [88].

Накопленный ныне достаточный объем результатов экспериментальных исследований по проблеме изучения физико-химических характеристик почв, содержанию тяжелых металлов в почвах и других загрязнителей, переходу тяжелых металлов в растениях и с ним связанный база данных продемонстрировали о сложности и многофункциональности проблем. Для решения таких задач и прогнозирования трансформации качественного состава почв и наличия в них токсичных соединений были вовлечены методы математического моделирования и с целью выявления механизмов, возникающие в системе, использовались имитационное моделирование.

Для расчета концентрацию загрязняющих веществ в почве, в корневой части растения и надземной части растения обеспечив интенциональную стационарность перехода загрязнителя из одного элемента в другой при стремлении времени контроля к бесконечности в [89] рассматривалась система, состоящая из компонентов: почвы, корневой системы растений и их надземной части с следующими исходными требованиями: 1) в начальный момент в систему вводится концентрация загрязняющего вещества  $C_0$ ; 2) происходит обмен веществом между каждым элементом системы с различной интенсивностью:  $\lambda_1$  - интенсивность перемещения веществ из почвы к корням растений;  $\lambda_2$  - интенсивность перемещения веществ от корней растений к их надземной части;  $\lambda_3$  - интенсивность перемещения веществ от надземной части растения к почве. Вводится обозначения: Вероятность нахождения загрязняющих веществ в почве –  $P_p$ ; вероятность присутствия загрязняющих веществ в корневой системе растений –  $P_k$ ; “вероятность обнаружения загрязняющих веществ в надземной части растений –  $P_n$ ” [90]. Единичный поток событий, выводящий систему из

состояния  $P_p$ , будет протекать с интенсивностью  $\lambda_1$ . Уравнения (1) – (3) вместе образуют систему уравнений Колмогорова, где в качестве неизвестных величин выступают вероятности  $P_p$ ,  $P_k$  и  $P_n$ , которые интерпретируются как вероятность обнаружения загрязняющих веществ в корнях, надземной части растений и почве. Предполагается перенос загрязняющих веществ с одной среды в другой диффузией, сорбцией, сухим и влажным осаждением:

$$\frac{dP_p(t)}{dt} = -P_p(t)\lambda_1 + \lambda_3 P_k(t) \quad (1.1)$$

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -\lambda_2 P_k(t) + \lambda_1 P_p(t) \quad (1.2)$$

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = -\lambda_3 P_n(t) + \lambda_2 P_k(t) \quad (1.3)$$

“Для уменьшения негативного влияния тяжелых металлов на жизнедеятельности компонентов экосистемы, оздоровления воздушного пространства и окружающей среды, вероятности попадания их в почву, в подземные и поверхностные воды, предотвращения механизмов перехода тяжелых металлов из одной среды в другую ныне актуальным является восстановление загрязненных территорий, многие из которых, заброшены и лишены заградительных приспособлений. После успешной их очистки и восстановления они могут внести вклад в укрепление здоровья и благополучия населения и улучшение качества окружающей среды” [91].

Для транспортировки в растениях тяжелым металлам необходимо будет преодолеть градиента электрохимического потенциала. “В зависимости от механизма преодоления градиента электрохимического потенциала, транспортировка тяжелых металлов в растениях могут быть пассивным и активным” [92]. “Наличие катионного неселективного канала в растениях

позволяет тяжелым металлам без затрат энергии транспортироваться. В случае активной транспортировки послужат белки-транспортеры” [93,94]. В зависимости от скорости накопления тяжелых металлов согласно классификации Бейкера (1981) растения подразделяются на виды: растений-аккумуляторов, растений - индикаторов и растений – исключаящих. Независимо от низкого содержания металлов в почве растения – аккумуляторы аккумулируют высокую концентрацию в своей наземной части. Накопление металлов в растения – индикаторов, происходит так, что содержание металлов в них изменяется пропорционально содержанию металлов в почве. Растений - исключаящие накапливают незначительные концентрации тяжелых металлов.

“Естественно для развития растений существенный вклад вносят ряд тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Ni и Co) каждый из которых выполняет определенные физиологические функции [95]: участвуют в окислительно-восстановительных ферментах, фотосинтезе, дыхании, биосинтезе белка” [96]. “Однако чрезмерная концентрация НМ приводит к токсическому эффекту” [97-100]. “Кроме того, НМ снижают активность дыхательных ферментов и транспорта электронов в дыхательной цепи” [99]. Наконец, тяжелые металлы нарушают водный баланс в растениях, уменьшая объем воды в клетках, осмотический потенциал и скорость транспирации [101].

“В раннее опубликованных работ посвященных исследованиям различным аспектам тяжелых металлов в плане их влияния на растения при переходе из почвы утверждается, что транспортировка металлов из почвы в растения зависит от многочисленных факторов” [102-114]. По результатам проведенных исследований можно утверждать, что процессы переноса тяжелых металлов в растения из почвы зависят от многочисленных факторов. Всемирной организацией здравоохранения с учетом побочных эффектов тяжелых металлов прикорневой части растений на количество

метаболической и биологической пути вторичных метаболитов установлено предельно допустимые концентрации (ПДК) для некоторых тяжелых металлов. Например, для Cd, As и Pb установлена предельно допустимая их концентрация не более 10 мг/кг. Однако, несмотря на негативное влияние высоких концентраций ряд других тяжелых металлов (Cu, Zn, Mn, Mo, Ni) до сих пор не определены ПДК их содержания в растениях.

С нарастанием проблемы продовольственной безопасности и соответственно расширения площадей сельскохозяйственных земель резко увеличилось количество внесенных химических реагентов, пестицидов для достижения высоких показателей производства сельскохозяйственных продуктов. В промышленности продолжается увеличение количества отходов. Эти процессы сопровождается накоплением тяжелых металлов в почвах и их перехода в растения, которые губительно влияют на нормальном функционировании компонентов экосистемы. “Классификация тяжелых металлов по их плотности важна с биологической точки зрения, так как многие тяжелые металлы (Fe, Mo, Mn, Zn, Ni, Cu, V, Co, W, Cr) важны для развития и метаболизма растений” [116,117].

Ныне одной из актуальных проблем является точное определение место и роли тяжелых металлов (As, Hg, Ag, Sb, Cd, Pb и U) как продуктов выброс транспорта и промышленных отходов в стимулировании биологических процессов.

Следует отметить, что очищение территорий из тяжелых металлов связано с большими материальными и финансовыми затратами. Однако необходимость осуществления очистки земель от тяжелых металлов стимулировало исследований по применению растений для удаления. Это привело к формированию и развитию нового научного направления – фиторемедиации [118].

“Следует отметить, что нахождение формы тяжелых металлов в почвах, их миграционная способность и протекание процессов с их участие во много

определяется свойствами почвы, концентрацией органики в почве и естественно климатическими условиями местности” [119,124]. “Например, в кислых почвах существенно увеличивается поглощаемая форма тяжелых металлов растениями, а в почвах с существенным содержанием органики падает биодоступность тяжелых металлов” [125,126].

“Физиологические механизмы растений и структура корней растений являются доминирующими факторами определяющих поглотительную способность тяжелых металлов растениями” [127,128].

Как было отмечено выше, климатические условия местности занимают важное место в протекании процессов миграции тяжелых металлов в растения, так как они являются факторами определяющие накопления различных компонентов химических элементов в почвах. К примеру, по сравнению с сухим климатом, формирование достаточного количества металлов происходит путем вымывания почвы при обильных дождях [127,128]. Для оценки и количественного определения доли перехода тяжелых металлов в растения в почвы широко используется соотношение равного отношению содержания металлов в растения к их содержанию в почве. “Установлено, что имеются достаточное количество видов растений, которые аккумулируют в себе высокие концентрации тяжелых металлов” [142-152]. “Распространенное в рацион пищи человека растение *Lactuca sativa* накапливает высокие концентрации цинка” [142,153-160], меди [153,159,161,162]. Возможными последствиями биоаккумуляции Zn в растениях являются: Снижение всхожести, высоты растений, содержания питательных веществ; содержания сахара, хлорофилла, крахмала и аминокислот и снижение активности фотосистемы является результатом биоаккумуляции цинка в растений. “Переход тяжелых металлов из почвы в растения сопровождается комплексом сложных биологических, физико-химических процессов в ризосфере, почве и растений” [163] и отслеживать их экспериментально невозможно. “Отрадно, что в последнее время

появляются математические модели описывающие процессы биоаккумуляции и направлено на выявление механизмов, участвующих в биоаккумуляции тяжелых металлов, а также на поиск путей ограничения или оптимизации процессов биоаккумуляции и биоремедиации, происходящих в почве с помощью растений” [164-174].

Разработана математическая модель, основанная на ввод параметров, которыми обозначают воздействие среды на жизнедеятельность растения. Однако наличие определенных сложностей математических моделей требует проведения экспериментальных исследований.

Совмещение исследований в области биологии и экологии привело к зарождению научного направления биоремедиации, которая, в какой- то степени вооружает человека ограничивать тенденцию антропогенной нагрузки на окружающую среду. Обзор факторов, влияющих на биоаккумуляцию тяжелых металлов в растениях, представлен в работе [212].

Использование химических методов рекультивации загрязненных тяжелыми металлами почв характеризуется рядом недостатков главной, из которых является превращение почвы непригодной для развития растений и является дорогостоящим. Ныне среди всех технологий разработанных для рекультивации загрязненных металлами почв технология фитоэкстракции является наиболее дешевым. С учетом больших материальных и финансовых затрат очистки территорий от тяжелых металлов ныне широко распространяется метод фиторемедиации основанной на применение специальных сортов растений характеризующие большими емкостями для поглощения металлов.

Метод фиторемедиации подразделяется на фитоиммобилизация и фитостабилизация, фитоэкстракция и фитолетучесть. Применение каждой из этих методов определяется в зависимости от вида загрязняющих металлов, условием местности и степени очистки.

Ныне известны следующие разновидности технологии фиторемедиации со своими преимуществами и недостатками: фитостабилизация, фиточистка, фиточелечение, фиточелечение, фиточелечение.

При фиточелечении с использованием специальных сортов растений происходит удержание, корнями растений загрязнителей резко замедляя их подвижность. Технология фиточистки основана на способности растений, очищать водные среды от загрязнителей. Технология фиточелечения основанная на избирательное извлечение металлов растениями и последующих их удаления в атмосферу по сравнению с остальными используется ограниченно. Поглощение тяжелых металлов растениями и их аккумуляция составляет основу технологии фиточелечения.

В уменьшении риска влияния тяжелых металлов жизни человека и компонентов биосферы технология фиточелечения представляет особую актуальность, так как стабилизация тяжелых металлов в корневых системах растений предотвращает процессы перехода тяжелых металлов в растения и далее к другим компонентам биосферы. Она также эффективно применима для больших загрязненных территорий с мелкозернистой почвой и высоким содержанием органических веществ.

Технология очистки загрязненных тяжелыми металлами территорий и водных объектов, применение, которых не влияет на важные показатели почвы и воды является фиторемедиация.

Очистка загрязненных территорий поглощениями тяжелых металлов растениями называется фиточелечением и основана поглощения тяжелых металлов корневой системой и перенос в листовую часть растений. Если учитывать поглотительную емкость растений, которая составляет небольшую величину, период полной очистки заданной территории от тяжелых металлов технологией фиточелечения является многолетним. Следует отметить, что технология фиточелечения применяется эффективно для очистки

загрязненных территорий с низкой и умеренной концентрацией металлов. Однако имеются специальные сорта растений с гипераккумуляторными свойствами способные расти на сильно загрязненных территориях и характеризуются большой поглотительной емкостью.

Известно, что в составе почвы наряду с минеральными элементами присутствуют также ряд тяжелых и токсичных элементов. Присутствие тяжелых и токсичных элементов, например, цинка, меди и ряд других до определенной предельной концентрации необходимы для нормального функционирования флоры и фауны, а также для здоровья человека. “При этом токсичные элементы как кадмий, ртуть, и мышьяк при их любых даже ничтожных концентрациях представляют серьезную опасность для жизнедеятельности компонентов биосферы” [161-163]. К сожалению, благодаря схожести химических свойств этих элементов с другими необходимыми для жизнедеятельности живых организмов элементами, поглощаются растениями через корневую систему [164]. Серьезная опасность токсичных элементов, прежде всего, обусловлены тем, что они приводят к расстройству физиологических процессов в растениях, повреждают клеточные мембраны и усиливают повреждение, связанное с окислением, нарушают нормы поглощения питательных веществ и снижают фотосинтетическую активность растений. Благодаря высокой подвижности и растворимости в почве и транспортабельности в растениях могут попадать в живой организм и вызывать почечную недостаточность, рак легких у человека.

Несмотря на разнообразие форм нахождения тяжелых металлов в почвах только отдельные элементы транспортируются в растения. Главным фактором осваиваемости тяжелых металлов растениями является мера кислотности или щелочности (рН) почвы, которая определяет растворимость и степень миграции тяжелых металлов. Однако следует отметить, что в ряд опубликованных работ была обнаружена отрицательная корреляция

перехода катионов тяжелых металлов в растения с рН почвы [165]. Увеличение отрицательного заряда на поверхности коллоидов почвы и формирования достаточного количества оксидных фаз железа и марганца способствует нарастанию адсорбции металла почвой. Данный процесс протекает при увеличении рН почвы. Протекание гидролиза и образование катионов  $M(OH)^+$  приводит к адсорбции к коллоидам почвы [166]. С другой стороны, увеличение рН почвы способствует десорбцию мышьяка [167]. При орошении почвы трехвалентный железа, четырех и шестивалентный марганец, и анион серной кислоты восстанавливаются до  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $S^{2-}$ , за счет электронов, производимые в результате дыхания сульфатвосстанавливающих бактерий в почвах,  $Cd^{2+}$  в почве образует  $Cd$ , связанный с оксидом Fe/Mn [168] и  $CdS$  [169]. Однако доступность As в почве увеличивается в условиях восстановления в результате растворения оксидов железа [170-172].

Почвы наряду с другими показателями классифицируются по содержанию органических веществ, которые существенно влияют на состояние и миграционную подвижность и доступности металлов к освоению растениями. Они смогут также повлиять на процессах адсорбции и привести к образованию соединений металлов с органическими лигандами. Образованию комплексных соединений с ионами металлов стимулируют присутствие в почве гуминовых веществ с богатым функциональными группами, таких как  $COOH^-$  и  $OH^-$  [173]. Такие комплексные соединения существенно снижают миграционную подвижность тяжелых металлов в почве [174]. “Установлено, что в почвах с богатым содержанием гуминовых веществ освоение тяжелых металлов растениями существенно замедляется” [175,176]. В некоторых публикациях утверждается, что некоторые органические вещества могут выступить как хелаты и увеличить освоения кадмия растениями [177].

Конечно, необходимо иметь в виду, что процессы, протекающие в почвах с тяжелыми металлами, определяется типом почв, составом и содержанием гуминовых веществ. Протекание химических процессов обмена катионов в почвах является доминирующим фактором доступности растениям тяжелых металлов. В зависимости от катионно-обменной емкости, например, кадмий находится в почве в виде почвенного раствора или адсорбированного.

Высокие значения КОА способствует стабилизации достаточного количества кадмия на коллоидах почвы, а низкие значения к нахождению кадмия в почвенном растворе [178]. Тяжелые металлы свинец, кадмий, цинк и мышьяк адсорбируется в большом количестве в мелких по размеру коллоидах почвы [179].

При орошении почвы, которое приводит к изменению кислотно-щелочного свойства почвы, существенно меняется биодоступность тяжелых металлов, в особенности кадмия и свинца. Для восстановления кислых почв необходимым условие является доставка катионов водорода, следовательно, процесс восстановления приводит к повышению  $pH$  и этим создается благоприятное условие для увеличения адсорбции тяжелых металлов почвой за счет образования ионов  $M(OH)^+$  [165].

“Наряду с токсичностью ряд тяжелые металлы в допустимой концентрации выполняют важную роль в нормальном функционировании компонентов биосферы. Важность и необходимость меди, цинка, железа, никеля в биохимических и физиологических процессах, протекающих в растениях, отмечают исследователями многих стран. Например, медь и цинк выступают как активаторами ферментативных реакций и катализаторами металлопротеинах, в окислительно-восстановительных реакциях и метаболизма нуклеиновых кислот столь важных для нормального роста растений” [180]. Процесс переноса тяжелых металлов из почвы в растения является многофункциональным благодаря их сильной зависимости

как от свойств почвы (кислотность, щелочность) и растений (структура, системы корневой сети) так и от климатических условий (влажности, температуры, осадков) местности. В [182] перечисляется три категории растений в зависимости от их отношения к тяжелым металлам: исключают, накапливающие и индикаторные.

Растения могут интенсивно осаждают тяжелые металлы, изменяя рН ризосферы или выделяя анионы, такие как  $\text{PO}_3^{-4}$ . Поверхность корней может связывать многие тяжелые металлы в процессе адсорбции. "Эти тяжелые металлы (Cd, Ni, Pb и Sr) быстро концентрируются в тканях корней растений" [181]. В целом растения можно разделить на три категории: исключают, накапливающие и индикаторные, в зависимости от механизма выживания в условиях стресса, как предложил Бейкер [183].

Накопление тяжелых металлов растениями в количестве больше одного процента от сухого веса называется гипераккумуляцией. По определениям некоторых авторов гипераккумуляция тяжелых металлов относится к растениям, которые в своих листьях накапливают более тысяча мг никеля на единицу грамма сухого веса, более 100 мг на единицу килограмма или 500 миллиграмма хрома на единицу килограмма сухого веса [182].

Встречаются растения, растущие на сильно загрязненной тяжелыми металлами почве. В приобретении растениями свойства гипераккумуляции важную роль сыграют корневые микроорганизмы, белки ответственные за перенос металлов в клеточных мембранах и детоксикация, процессы хелатирование металлов.

## **ГЛАВА 2. СТЕПЕНЬ ПРИМЕНИМОСТИ СТОКА РЕКИ СЫРДАРЬЯ В ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

### **2.1. Гидрохимия и качество оросительной воды в среднем течении реки Сырдарья на территории Республики Таджикистан**

Согласно предварительным прогнозам до 2050 г. население Центрально-Азиатского региона должно увеличиться на 30% по сравнению с 2015 г. и достигнет >88 млн. человек. С увеличением населения обостряется проблема обеспечения людей продуктами питания. На нынешнем этапе развития аграрного сектора пока единственный выход достижения продовольственной безопасности остается вовлечение дополнительных площадей земель. По существующим прогнозам, в регионе Центральной Азии орошению подлежат около 12 млн. га земель к 2025 году. Соответственно возникает другая проблема дефицита оросительной воды.

Данный раздел работы связан с освещением результатов исследований гидрохимии таджикской части реки Сырдарья и по результатам определение степени применимости вод реки в оросительных целях. Установлено, что по основным показателям, а именно доли адсорбируемого, растворимого и обменного натрия, р. Сырдарья вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к оросительным водам.

Естественные факторы формирования химического состава вод как геологическая формация и ее петрографический состав маршрута течения воды, атмосферные поступления, орография и метеорологические условия наряду с источниками загрязнения по стволу течения существенно влияют на гидрохимию рек [33,52,54].

Химические ионы в воде рассматриваются как естественные “индикаторы” и анализ основного ионного состава воды может быть использован для выявления и контроля основных процессов, влияющих на химический состав воды [184]. Для оценки степени применимости вод в оросительных целях продовольственной и сельскохозяйственной

организацией (ФАО) рекомендовано следующие индексы: доля адсорбированного натрия (SAR), процентное содержание натрия (Na%), процент растворимого натрия (SSP), доля обменного натрия (ESP), доля адсорбированного калия (PAR) и коэффициент структурной стабильности почвы (CROSS) математические выражения которых следующие [184]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \quad (2.1)$$

$$Na^+ = \frac{Na^+}{(Ca^{2+}+Mg^{2+}+Na^++K^+)} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

$$ESP = \frac{Na^+}{Ca^{2+}+Mg^{2+}} \quad (2.3)$$

$$SSP = \left( \frac{Na^+}{Na^++Ca^{2+}+Mg^{2+}} \right) \cdot 100\% \quad (2.4)$$

$$PAR = \frac{K^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \quad (2.5)$$

$$CROSS = \frac{Na^++0,335K^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+0,0758Mg^{2+}}{2}}} \quad (2.6)$$

В табл. 2.1 приведены диапазоны величин этих показателей для оценки качества воды для орошения в соответствии с рекомендациями [185].

**Таблица 2.1.** - Пределы показателей  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ , SAR, SSP и ESP по применимости вод для орошения

SAR	Класс	$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	Класс	SSP	Класс	ESP	Класс
1–10	отл	<1,5	отл	< 50	безопасный	< 20	отл
10–18	хор	1,5–3,0	отл	> 50	неподходящий	20–40	хор
18–25	подходящий	> 3,0	неподходящий			60–80	плохой
> 25	неподходящий					>80	Очень плохой

Пробы воды из р. Сырдарья отбирали в пунктах, координаты, которых приведены в табл. 2.2.

**Таблица 2.2.** - Географические координаты пунктов отбора проб воды из реки Сырдарья

№	Пункты отбора проб воды	Широта	Долгота
1	Акджар	37°50'41" N	69°33'42" E
2	Булок	40°36'55" N	70°27'09" E
3	г. Канибадам	40°17'12" N	70°25'26" E
4	Кайраккумское водохранилище	40°17'33" N	69°49'54" E
5	Кизылкишлак	39°29'39" N	45°36'29" E

Ниже представлены результаты химического анализа воды проб воды из реки Сырдарья в пунктах: 16927 – Кайраккумское водохранилище; 16205 – Исфара; 16006 – Акджар; 1603 – Кизылкишлак.

**Таблица 2.3.** - Протокол анализа воды реки Сырдарья на гидрологической станции Кайраккум за январь 2023 года

№	Показатели	ПДК	16927
1	Температура воды, (°C)		5,0
2	Уровень воды, (см)		347,38
3	Расход воды, (м <sup>3</sup> /с)		960
4	Объем воды, м <sup>3</sup>		3354,7
5	Водородный показатель (pH)	6,5-8,5	7,00
8	Цветность		прозрачный
9	Цвет		0,5
10	Число цвета йода		0,04
12	Мутность		3
14	Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> ), мг/л	0,39	0,04
15	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	9,0	2,1
16	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	100	85,0
17	Гидросульфид мг/л (HS)	0,005	0,002
18	Формальдегид (HCHO), мг/л	0,01	0,00
19	ХПК мг/л	15,0	0,00
20	(Fe <sub>общ</sub> ), мг/л	0,05	0,03

**Таблица 2.4. -** Протокол анализа воды реки Сырдарья на гидрологической станции Исфара за месяц январь 2023 года

№	Показатели	ПДК	16205
1	Температура воды, (°С)		4,9
2	Уровень воды, (см)		178
3	Расход воды, (м³/с)		4,8
4	Объем воды, м³		-
5	Водородный показатель (рН)	6,5-8,5	7,00
8	Цветность		беранг
9	Цвет		0,4
10	Число цвета йода		0,05
11	Мутность		6
12	Азот аммонийный(NH <sub>4</sub> ), мг/л		3
14	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	0,39	0,04
15	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ),мг/л	9,0	0,8
16	Гидросульфид мг/л (HS)	100	60,0
17	Формальдегид (НСНО), мг/л	0,005	0,001
18	ХПК мг/л	0,01	0,00
19	(Fe <sub>общ</sub> ), мг/л	15,0	0,00
20	Температура воды, (°С)	0,05	0,02

**Таблица 2.5.** - Протокол анализа воды реки Сырдарья на гидрологической станции Акджар за месяц январь 2023 года

№	Показатели	ПДК	16006
1	Температура воды, (°C)		4,0
2	Уровень воды, (см)		292
3	Расход воды, (м <sup>3</sup> /с)		1210
4	Объем воды, м <sup>3</sup>		-
5	Водородный показатель (pH)	6,5-8,5	7,00
8	Цветность		беранг
9	Цвет		0,3
10	Число цвета йода		0,04
12	Мутность		3
14	Азот аммонийный(NH <sub>4</sub> ), мг/л	0,39	0,03
15	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	9,0	5,0
16	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ),мг/л	100	50,0
17	Гидросульфид мг/л (HS)	0,005	0,001
18	Формальдегид (HCHO), мг/л	0,01	0,00
19	ХПК мг/л	15,0	0,0
20	(Fe <sub>общ</sub> ), мг/л	0,05	0,02

Результаты химических анализов воды реки Сырдарья отобранных на гидрологической станции Кызылкишлак за месяцы январь 2023 года и январь-март 2024 года предствлены соответственно в таблице 2.6 (а,б,в, г)

**Таблица 2.6 (а).** - Протокол анализа воды реки Сырдарья на гидрологической станции Кызылкишлак за месяц январь 2023 года

№	Показатели	ПДК	16013
1	Температура воды, (°С)		3,0
2	Уровень воды, (см)		496
3	Расход воды, (м <sup>3</sup> /с)		1340
4	Объем воды, м <sup>3</sup>		-
5	Водородный показатель (рН)	6,5-8,5	7,00
8	Цветность		беранг
9	Цвет		0,4
10	Число цвета йода		0,04
12	Мутность		3
14	Азот аммонийный(NH <sub>4</sub> ), мг/л	0,39	0,04
15	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	9,0	0,9
16	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ),мг/л	100	50,0
17	Гидросулфид мг/л (HS)	0,005	0,002
18	Формальдегид (НСНО), мг/л	0,01	0,00
19	ХПК мг/л	15,0	0,00
	(Fe <sub>общ</sub> ), мг/л	0,05	0,02

**Таблица 2.6 (б).** - Протокол анализа воды реки Сырдарья на гидрологической станции Кызылкишлак за месяц январь 2024 года

№ Показатели	ПДК	16927	19205	16006	16013
Температура воды, °С		6,0	1,0	6,0	6,0
Уровень воды, см		346,63	208	231	320
Объем воды, м <sup>3</sup>		2986,9			
Расход воды, м <sup>3</sup> /с		600	4,0	924	582
Водородный показатель (рН)	6,5-8,5	7,1	7,7	6,8	6,7
Цвет, мм		0,5	0,4	0,3	0,3
Число цвета йода, itz		0,03	0,03	0,04	0,05
Цвет мутности, Hz		6	6	6	5
Мутность, Ntu		3	3	3	3
Оксигени ?алшуда	4	1	1	2	2
Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,39	0,3	0,3	0,4	0,4
(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	9,0	2,1	0,8	4	4
Сульфаты, мг/л	100	60	50	85	70
Сульфид водорода, мг/л	0,005	0,001	0,001	0,002	0,003
Формальдегид	0,001	0	0	0	0
Железо общ, мг/л	0,5	0,03	0,02	0,02	0,02

**Таблица 2.6 (в).** - Протокол анализа воды реки Сырдарья на гидрологической станции Кызылкишлак за месяц февраль 2024 года

№	Показатели	ПДК	Значения			
			16927	16205	16006	16013
1	Температура воды, °С		5,0	6,0	6,0	6,0
2	Уровень воды, см		347,62	206	221	443
3	Расход воды, м <sup>3</sup> /с		950	972	882	1060
6	Водородный показатель (рН)		3472	-	-	-
8	Цвет, степень		5,0	9,3	6,0	6,0
9	Цвет, мм		7,46	7,47	7,70	7,70
10	Число цвета йода, Itz					
11	Цвет мутности, Hz		мутная	мутная	мутная	мутная
12	Мутность, ntu		0,1	0,1	0,1	0,1
13	Электропроводность, мс/см		0,03	0,1	0,2	0,2
14	Растворенные соли, TDS		0	0	5	5
15	Электрическое сопротивление, Ом-см		1	-	6	5
16	Оксиген растворенный, ppm		2,43	2,46	220,4	220,4
17	Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> )	0,39	203	207	97	98
18	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,0	0,002	0,002	0,005	0,004
19	Сульфат	100	0,1	0,2	0,1	0,1
20	Сульфид водорода	0,005	0,02	0,10	0,13	0,13
21	Формальдегид	0,01	01,3	1,3	5,3	5,2
22	Железо общ	0,05	30	30	60,0	65,0
23	Азот общ	0,1-3,5	0,004	0,03	0,005	0,004

Таблица 2.6 (г). - Протокол анализа воды реки Сырдарья на гидрологической станции Кызылкишлак за месяц март 2024 года

№	Показатели	ПДК	Значения			
			16927	16205	16006	16013
1	Температура воды, °С		5,0	6,0	6,0	6,0
2	Уровень воды, см		347,62	206	221	443
3	Расход воды, м <sup>3</sup> /с		950	972	882	1060
6	Водородный показатель (рН)		3472	-	-	-
8	Цвет, степень		5,0	9,3	6,0	6,0
9	Цвет, мм		7,46	7,47	7,70	7,70
10	Число цвета йода, Itz					
11	Цвет мутности, Hz		мутная	мутная	мутная	мутная
12	Мутность, птв		0,1	0,1	0,1	0,1
13	Электропроводность, мс/см		0,03	0,1	0,2	0,2
14	Растворенные соли, TDS		0	0	5	5
15	Электрическое сопротивление, Ом-см		1	-	6	5
16	Оксиген растворенный, ppm		2,43	2,46	220,4	220,4
17	Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> )	0,39	203	207	97	98
18	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,0	0,002	0,002	0,005	0,004
19	Сульфат	100	0,1	0,2	0,1	0,1
20	Сульфид водорода	0,005	0,02	0,10	0,13	0,13
21	Формальдегид	0,01	01,3	1,3	5,3	5,2
22	Железо общ	0,05	30	30	60,0	65,0
23	Азот общ	0,1-3,5	0,004	0,03	0,005	0,004

**Таблица 2.7. - Протокол анализа проб воды реки Сырдарья  
за апрель 2024 г**

№	Показатели	ПДК	Значения			
			16927	16205	16006	16013
1	Температура воды, °С		9,0	5,0	11,0	16,0
2	Уровень воды, см		347	220	74	177
3	Расход воды, м <sup>3</sup> /с		390	217	354	228
6	Водородн. показатель (рН)		7,25	7,25	6,94	7,56
8	Цвет, степень		бесцвет	бесцвет	мутный	бесцвет
9	Ранг, мм		0,2	0,3	39,0	0,3
10	Число цвета йода, Itz		0,92	0,40	0,45	0,93
11	Цвет мутности, Hz		5	5	168	5
12	Мутность, ntu		2	3	248	0
13	Электропроводность, мс/см		982,3	110,3	120,53	132,7
14	Растворенные соли, TDS		491	630	627	623
15	Электрич. сопр., Ом-см		993	808,6	797,4	807,6
16	Солённость, ppm		0,4	0,6	0,5	0,5
17	Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> -)	0,39	0,03	0,14	0,13	0,13
18	NO <sub>3</sub> -	9,0	1,4	5,2	4,3	5,2
19	Сульфат	100	30	60,0	60,0	60,0
20	Сульфид водорода	0,005	0,003	0,005	0,005	0,004
21	Формальдегид	0,01	0,02	0,03	0,05	0,01
22	Железо общ	0,05	0,2	0,05	0,05	0,21
23	Азот общ	0,1-3,5	0	2,0	2,0	2,0

**Таблица 2.8. - Протокол анализа проб воды реки Сырдарья**  
за сентябрь 2024 г

Показатели	ПДК	16927	16205	16006	16013
Температура воды °С		24,5	23,5	23	21
Уровень воды, м		200	169	284	115
Расход воды, м <sup>3</sup> /с		342,85	312	291	125
Водородный показатель (рН)		7,26	7,56	7,34	7,87
Хлориды, мг/л	300	40,2	30,6	49,3	37,4
Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> ), мг/л	2	0,03	0,04	0,02	0,04
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	10	1,3	1,2	1,1	1,2
Растворенный кислород (O <sub>2</sub> ), мг/л	4	4	3	3	4
Фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2
Магний (Mg), мг/л		0,3	0,33	0,38	0,40
Железо общ. (Fe), мг/л	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1
Медь(Cu), мг/л	1,0	0,1	0,01	0,01	0,1
Цинк (Zn), мг/л	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Свинец (Pb), мг/л	0,01	0,001	0,00	0,00	0,00
Кадмий (Cd), мг/л	0,01	0,00	0,001	0,00	0,001
Фенол(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), мг/л		0	0,001	0,001	0
Цвет, мм		1,5	1,2	1,1	0,1
Число цвета йода, Itz		0,05	0,02	0,03	0,04
РЦвет мутности, Hz		17	6	7	1
Мутность, Ntu		7	5,5	4,2	1
Электропроводность, mS/cm		204	735,2	994	759,0
Растворенные соли, TDS		102	521	536	378
Электрическое сопротивление, Ом/см		488,3	684	572,2	814
Соленность, ppt		1,1	0,7	0,9	0,4
Формальдегид(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), мг/л	0.01	0,01	0,00	0,01	0,00
Фторид(F), мг/л	0.75	0,52	0,47	0,60	0,62

**Таблица 2.9. - Протокол анализа проб воды реки Сырдарья  
за октябрь 2024**

Показатели	ПДК	16927	16205	16006	16013
Температура воды °С		16,1	15,4	14,9	17
Уровень воды, см		18,3	18,2	18,1	18,2
Расход воды, м <sup>3</sup> /с		-	7,5	483	192
Водородный показатель (рН)		8,81	8,61	8,28	8,77
Хлориды, мг/л	300	65	54,9	48,3	61
Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> ), мг/л	2	0,20	0,25	0,30	0,25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	9	1,2	1,4	1,6	1,2
Растворенный кислород (O <sub>2</sub> ), мг/л	4	4	4	4	4
Фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	0,3	0,1	0,2	0,4	0,3
Магний (Mg), мг/л		25,0	30,0	35,0	30,0
Железо общ. (Fe), мг/л	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Медь(Cu), мг/л	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
Цинк (Zn), мг/л	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
Свинец (Pb), мг/л	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Кадмий(Cd), мг/л	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Фенол(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), мг/л		0,000	0,000	0,001	0,000
Цвет, мм		2,4	2,9	5,9	2,2
Число цвета йода, Itz		0,04	0,2	6,6	0,01
Цвет мутности, Hz		13	14	104	11
Мутность, Ntu		15	14	17	11
Электропроводность, mS/cm		1323	1250	1100	1375
Растворенные соли, TDS		921,8	943,5	928,7	983
Электрическое сопротивление, Ом/см		542,4	517,1	539,9	508,6
Соленность, ppm		0,7	0,7	0,8	0,6
Формальдегид(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), мг/л	0.01	0,00	0,00	0,01	0,00
Фторид(F), мг/л	0.75	0,70	0,65	0,75	0,50

**Таблица 2.10. - Протокол анализа проб воды реки Сырдарья  
за ноябрь 2024 г**

Показатели	ПДК	16927	16205	16006	16013
Температура воды °С		14,2	13,4	14,6	14
Водородный показатель (рН)		8,7	8,52	8,34	8,65
Хлориды, мг/л	300	61	55	50,2	65
Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> ), мг/л	2	0,25	0,20	0,25	0,30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	9	1,3	1,2	1,5	1,3
Растворенный кислород (O <sub>2</sub> ), мг/л	4	4	4	4	4
Фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4
Магний (Mg), мг/л		30	25	30	35
Железо общ. (Fe), мг/л	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Медь(Cu), мг/л	0,001	0,001	0,000	0,00	0,001
Цинк (Zn), мг/л	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Свинец (Pb), мг/л	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Кадмий(Cd), мг/л	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Фенол(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), мг/л		0,001	0,001	0,000	0,000
Число цвета йода, Itz		0,3	0,1	3,8	0,4
Цвет мутности, Hz		10	12	18	13
Мутность, Ntu		14	15	13	14
Электропроводность, mS/cm		1231	1311	1219	1342
Растворенные соли, TDS		934,4	954,1	941,2	973,6
Электрическое сопротивление, Ом/см		521,2	509,3	501,9	517,8
Соленность, ppm		0,6	0,6	0,7	0,8
Формальдегид(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), мг/л	0.01	0,01	0,01	0,00	0,01
Фторид(F), мг/л	0.75	0,75	0,70	0,65	0,55

**Таблица 2.11. - Протокол анализа проб воды реки Сырдарья  
за декабрь 2024 г**

Показатели		ПДК	16927	16205	16006	16013
Температура воды, °С			2,0	6,0	-2	-1
Уровень воды, см			347	226	275	485
Расход воды, м <sup>3</sup> /с			900	401	1120	1230
Объем воды, м <sup>3</sup>			3413,5			
1	Водородный показатель (рН)		8,7	8,50	8,30	8,60
3	Хлориды, мг/л	300	61	55	50,2	65
4	Азот аммонийный(NH <sub>4</sub> ), мг/л	0,39	0,20	0,22	0,28	0,28
5	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	9	1,3	1,2	1,4	1,3
6	Растворенный кислород (O <sub>2</sub> ), мг/л	4	4	4	4	4
7	Фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ), мг/л	0,3	0,1	0,1	0,3	0,3
8	Магний (Mg), мг/л		28,0	27,0	27,0	30,0
9	Железо общ (Fe), мг/л	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	Медь (Cu), мг/л	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
11	Цинк (Zn), мг/л	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
12	Олово (Pb), мг/л	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
13	Кадмий(Cd), мг/л	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
14	Фенол (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), мг/л		0,001	0,000	0,000	0,000
15	Цвет, мм		2,4	2,8	2,6	2,0
16	Число цвета йода, Itz		0,3	0,1	0,1	0,2
17	Цвет мутности, Hz		10	12	15	16
18	Мутность, Ntu		8	10	11	10
19	Электропроводность, mS/cm		1211	1302	1395	1350
20	Растворенные соли, TDS		927,3	941,6	661,1	964,3
21	Электрическое сопротивление, Ом/см		518,7	511	720,1	515,4
22	Соленность, ppm		0,7	0,7	0,7	0,6
23	Формальдегид (НСНО), мг/л (НСНО)	0.01	0,00	0,00	0,00	0,00
24	Фторид (F), мг/л	0.75	0,60	0,55	0,50	0,55

Усредненные результаты физико-химических анализов проб воды р. Сырдарья за период 2022–2024 гг. приведены в табл.2.12.

**Таблица 2.12.** - Результаты анализов проб воды из пунктов отбора

Показатели	Едница измерения	Пункты отбора проб				
		1	2	3	4	5
pH	–	7,71	7,28	7,33	7,81	7,39
ЭП	мСм/см	1,487	1,494	1,483	1,154	1,158
Na <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	90,77	86,15	83,08	70,77	76,92
K <sup>+</sup>		6,54	5,09	4,72	3,64	2,91
Ca <sup>2+</sup>		68,2	76,0	72,1	56,4	52,3
Mg <sup>2+</sup>		33,6	38,4	38,4	26,4	28,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		164,7	207,4	176,9	134,2	137,9
(O <sub>2</sub> )раств.		5,38	4,06	6,58	6,27	6,57
Cl <sup>-</sup>		39,7	22,6	34,0	19,8	19,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		340	386	386	370	266
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		4,37	3,11	3,12	0,42	0,97
Минерализация		1488	1487	1476	1134	1141
TDS		1073	1058	1050	817	824

Из табл. 2.12 видно, что концентрация растворенного кислорода варьируется от 4,06 до 6,58 мг/дм<sup>3</sup>, что свидетельствует о ненасыщенности речной воды кислородом.

Средние концентрации основных катионов и анионов в воде р. Сырдарья располагаются в таком порядке: Na<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Уровень pH является важным показателем воды для полива. Высокий уровень pH воды для орошения указывает на возможность осаждения соли карбоната кальция, который может привести к закупорке источников в капельной системе. Допустимая норма pH, установленная ФАО для ирригационной воды 6,8–8,4. Во всех пробах pH был слабощелочным и колебался от 7,28 до 7,81.

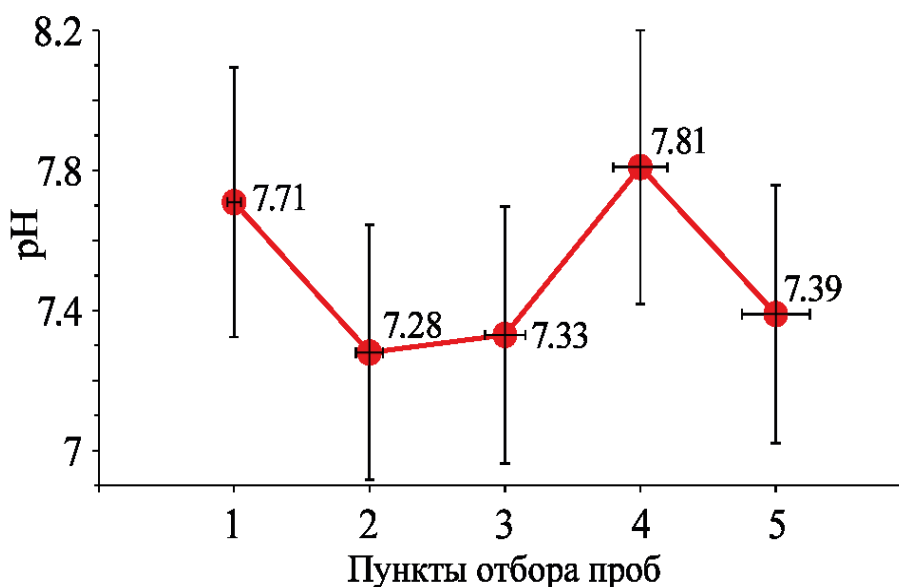
На рисунке 2.1 приведена карта таджикской части ствола реки Сырдарья с указанием пунктов отбора воды.



**Рисунок 2.1.** - Пункты отбора проб воды из реки Сырдарья:

- 1- Акджар; 2- Булок; 3- Канибадам; 4- Кайраккумское водохранилище;  
5- Кизылкишлак

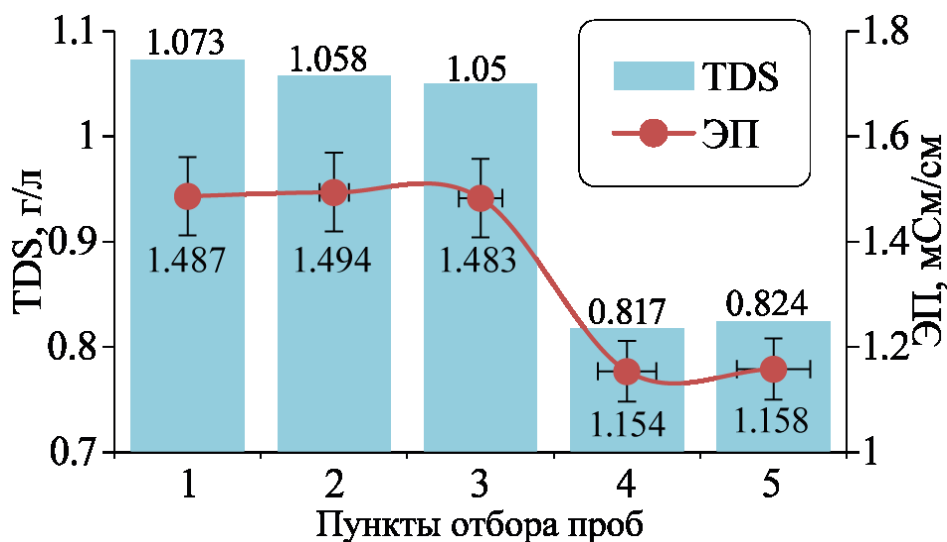
Из рис. 2.2 видно, что, таджикская часть реки характеризуется более высоким значением рН, но в пределах допустимого ФАО порога воды для орошения от 6,80 до 8,40. Максимальное значение рН воды после Кайраккумского водохранилища свидетельствует о накоплении в нем достаточно большого количества катионов и анионов.



**Рисунок 2.2.** – Значения рН воды по стволу реки Сырдарья

Важным параметром, используемого в качестве индикатора качества поливной воды, является электропроводность, показывающая общее количество минеральных солей, растворенных в воде, благодаря чему этот показатель часто используется для измерения засоления воды для орошения сельскохозяйственных культур.

Значения общего количества растворенных твердых веществ (TDS) указывает на то, что соленость р. Сырдарья на территории Таджикистана составляет 817–1073 мг/дм<sup>3</sup> при среднем значении 964,4 мг/дм<sup>3</sup> (выше 500 мг/дм<sup>3</sup>) который свидетельствует о наличии незначительной солености (рис.2.3).

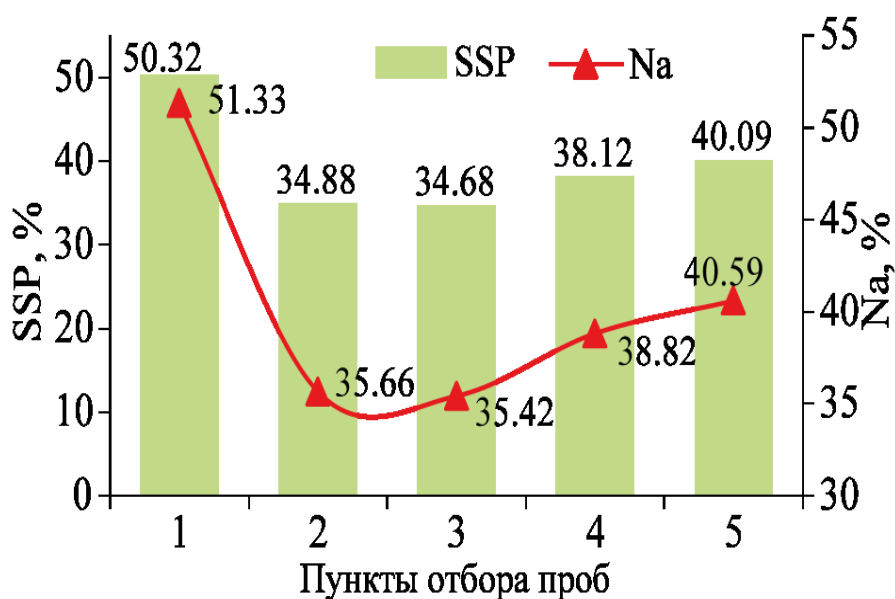


**Рисунок 2.3.** – Динамика изменения ЭП и TDS реки Сырдарья на территории Таджикистана

Река Сырдарья, которая поступает на территорию Таджикистана с превышением солености и ощутимой степенью минерализации, характеризуется более высокими значениями ЭП и после Кайраккумского водохранилища существенно уменьшается благодаря процессам седиментации катионов и их осаждения. Электропроводность таджикской части р. Сырдарья изменяется в пределах от 1154 до 1490 мкСм/см, что превышает предел (1000 мкСм/см), установленный FAO для оросительных вод (рис.2.3).

Один из индексов определяющий степени риска присутствия натрия в оросительной воде является доля растворимого натрия (SSP) в зависимости от ее величины зависит физические свойства почвы.

На рисунке 2.4 представлен тренд SSP и %Na русла реки Сырдарья на территории Согдийской области Республики Таджикистан. Из рис. 2.4 видно, что тренд изменения доли растворимого натрия и процентного содержания натрия характеризуются двумя динамикой: уменьшающийся до водохранилище Кайраккум и после него возрастающей.



**Рисунок 2.4.**— Динамика изменения доли растворимого (SSP) и процентного содержания натрия (%Na) по реке Сырдарья

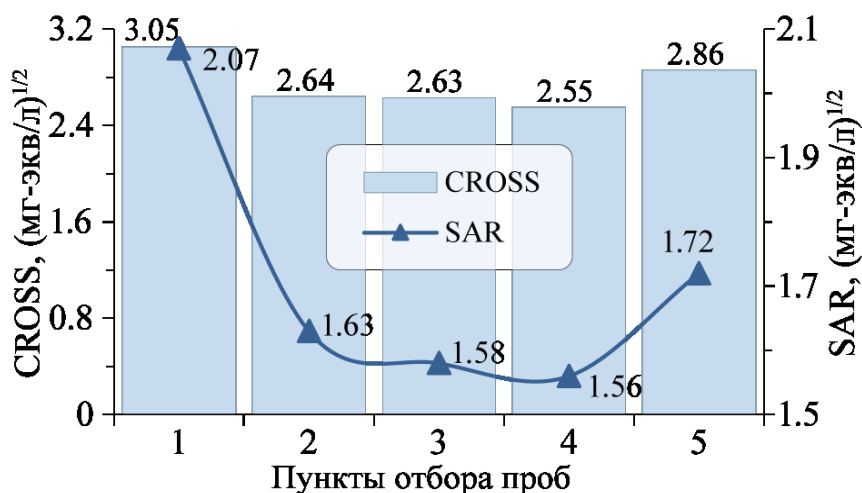
Накопление щелочного элемента натрия в почве инициирует протекания обменных реакций, в результате которой столь важные для развития растений щелочноземельные элементы Ca и Mg вытесняются из корневой системы, а также существенно уменьшается проницаемость почвы. В избегании и контроля протекания таких процессов разработан индекс доля адсорбированного натрия (SAR) определяющий степень участия оросительной воды в реакциях катионообмена.

Химический показатель, позволяющий установить наименование катионов способные значительно улучшить агрегацию и катионов

ответственных за диспергирование частиц почвы. Этот показатель называется коэффициент структурной стабильности почвы (CROSS) [186]:

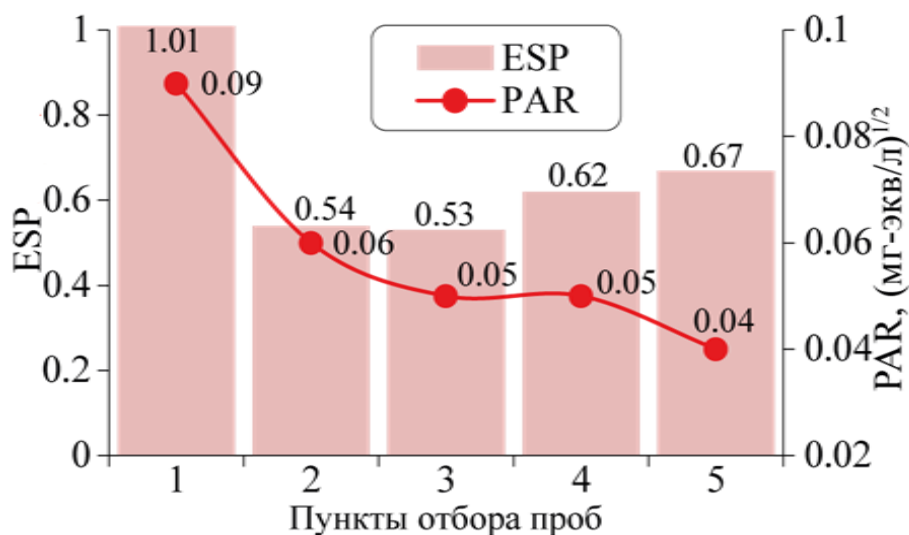
$$\text{CROSS} = \frac{\text{Na}^+ + 0,56\text{K}^+}{\left[\frac{\text{Ca}^{2+} + 0,6\text{Mg}^{2+}}{2}\right]^{1/2}} \quad (2.7)$$

Динамика изменения CROSS и SAR вдоль русла реки Сырдарья на территории Таджикистана представлена на рисунке 2.5.



**Рисунок 2.5.**– Значений показателей CROSS и SAR в пунктах отбора воды из реки Сырдарья

Было установлено, что содержание щелочного элемента калия в реке Сырдарья незначительное, вероятно связанное с вымыванием пород (рис.2.6).



**Рисунок 2.6.**– Значений показателей ESP и PAR в пунктах отбора воды из реки Сырдарья

Таким образом, в результате проведения комплексных исследований гидрохимии реки Сырдарья на территории Республики Таджикистан было установлено, что река по основным показателям применимости воды для орошения соответствует стандартам Международной продовольственной и сельскохозяйственной организации. Исследованием динамики изменения концентрации химических элементов вдоль русла реки Сырдарья на территории Таджикистана установлено, что в Кайраккумское водохранилище происходит накопление химических элементов и веществ.

## 2.2. Химический состав и степень применимости воды канала Ходжабакирган для орошения сельскохозяйственных земель

Для орошения сельскохозяйственных земель Б. Гафуровского и Дж. Расуловских районов в Согдийской области с общей площадью более 8000 га важное место занимает Ходжабакирганский канал на одноименной реке. Канал Ходжабакирган с плотинным водозабором и протяженностью 23 км и водопроемкостью 32м<sup>3</sup>/ч функционирует с 50-годов двадцатого века на реке Ходжа-Бакирган с плотинным водозабором (рис.2.7).



Рисунок 2.7. – Площади орошаемых земель подвешенных к каналу  
Ходжабакирган

До 10 км канала со стороны Республики Таджикистан расположены населенные пункты: некоторые дома построены в 3-5 метрах от воды.

На 16 км канала производится сброс с сельскохозяйственных полей в канал с левой стороны (со стороны Республики Кыргызстан). В зоне канала точки экологического мониторинга и контроля, сеть наблюдательных скважин отсутствует.

Тревогу вызывает тот факт, что с антропогенным действием происходит загрязнение воды канала Ходжабакирган. Качество воды ухудшается из-за размещения твердо - бытовых отходов в водоохраной зоне канала. По всей протяженности канала, со стороны Кыргызской Республики и Республики Таджикистан вдоль берегов местным населением размещены различные твердо бытовые и промышленные отходы. Особенно большой объем мусора наблюдается по левому берегу со стороны Кыргызской Республики.

Наличие большой антропогенной нагрузки на канал Ходжабакирган качество воды в нем меняется в результате изменения химических ингредиентов в широких пределах концентрации. В таблице 2.13 представлены пределы изменения концентрации некоторых химических составляющих канала Ходжабакирган за последние пять лет.

**Таблица 2.13.** – Изменение концентрации химических элементов в канале Ходжабакирган за период 2020–2024 гг

Химические ингредиенты	Ед. изм.	Концентрации
Азот аммонийный	мг/л	от 0.2 до 7.4
Азот нитритный		от 0.11 до 0.04
Азот нитратный		от 2.1 до 5.1
Растворенный кислород		от 11.4 до 7.9
Фосфаты		от 0.02 до 0.44
Хлориды		от 89.1 до 102
БПК 5		от 2.8 до 3.2

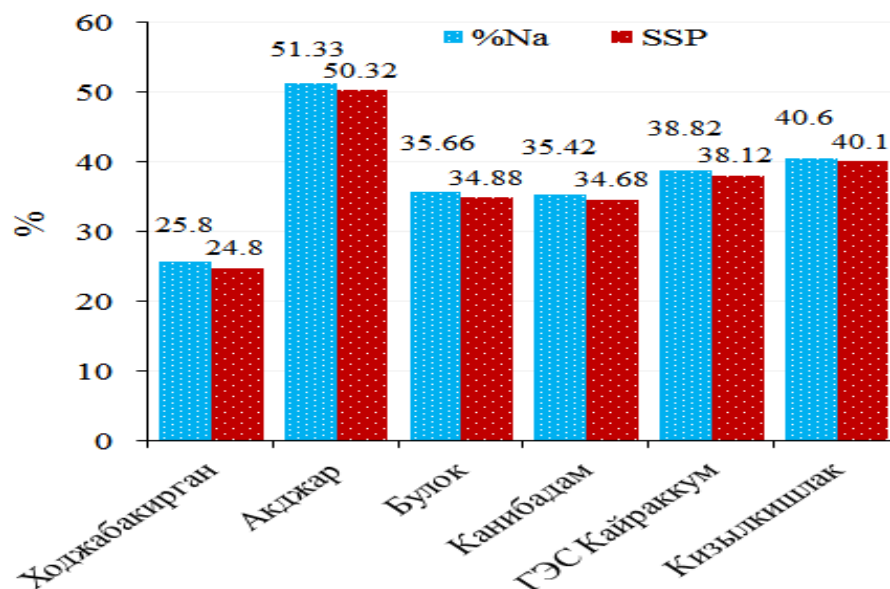
Для определения степени применимости и определения катионного и анионного состава проводились отбор проб из канала Ходжабакирган в период вегетации в течение 2023-2024 гг., результаты которых обобщены в таблице 2.14.

**Таблица 2.14.** – Катионный и анионный состав воды канала Ходжабакирган

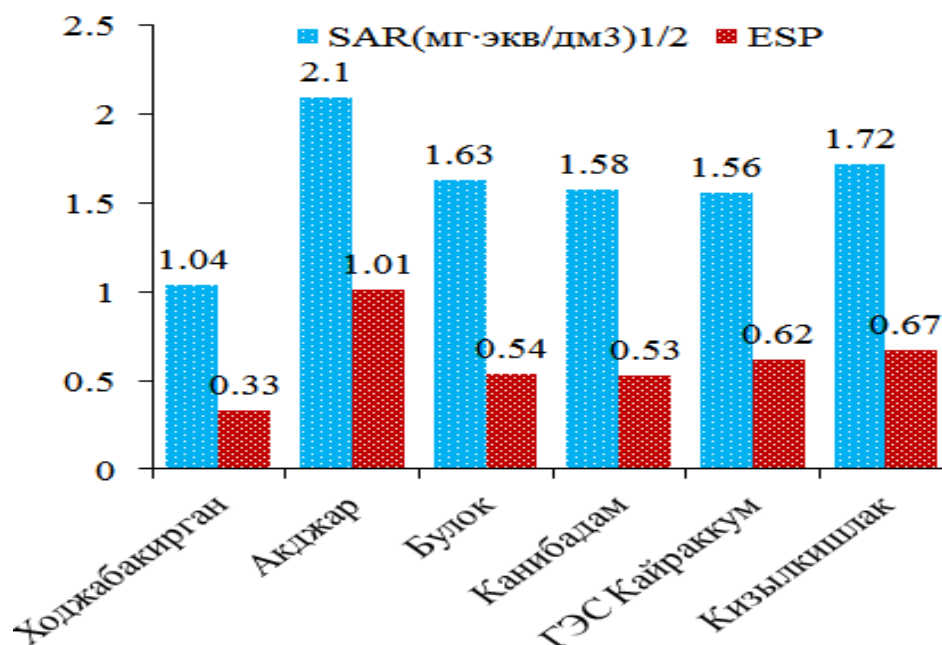
Ионный состав	Единица измерения	Концентрация
Ca <sup>2+</sup>	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0.95
Mg <sup>2+</sup>		4.08
Na <sup>+</sup>		1.66
K <sup>+</sup>		0.09
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		5.25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0.01
Cl <sup>-</sup>		0.39
NCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1.84

Сравнительный анализ данных процентного содержания катионов натрия (%Na) и доли растворимого натрия (SSP) в створе реки Ходжабакирган с данными анализа реки Сырдарья представлено на рис.2.8. Как следует из рис.2.8 река Ходжабакирган характеризуется сравнительно низкими значениям катионов натрия и степени растворимости по сравнению с рекой Сырдарья воды. Наряду с этим основываясь на рис.2.8 можно утверждать, что река Сырдарья переносит достаточное количество соединений щелочного элемента натрия из территории Кыргызстана, так как содержание натрия и ее растворимость характеризуются высокими значениями в пробах воды отобранных на приграничном посту Акджар. Увеличение содержания катионов натрия после водохранилище Кайраккум в

Кызылкишлаке вероятно связано с поступлением использованных вод из орошаемых земель.



**Рисунок 2.8** – Сравнительный анализ данных процентного содержания катионов натрия (%Na) и доли растворимого натрия(SSP) в стволе реки Ходжабакирган с данными анализа реки Сырдарья



**Рисунок 2.9.** – Значений доли адсорбируемых (SAR) и обменных (ESP) натрия в реках Ходжабакирган и Сырдарья

Естественно ожидать, что высокая растворимость хлорида натрия в водной среде отражается на значениях других индексов, определяющих степень применимости вод для орошения. На рис.2.9 представлены результаты значений доли адсорбируемых (SAR) и обменных (ESP) натрия реки Ходжабакирган и реки Сырдарья. Значений названных индексов для реки значительно ниже, чем в реке Сырдарья и высокие значения доли адсорбируемых (SAR) и обменных (ESP) натрия наблюдается в Акджаре благодаря высокой концентрации хлорида натрия.

Перечень катионов, которые оказывают существенное положительное влияние на агрегацию и процессов диспергирования почвы устанавливается коэффициент структурной стабильности почвы (CROSS).

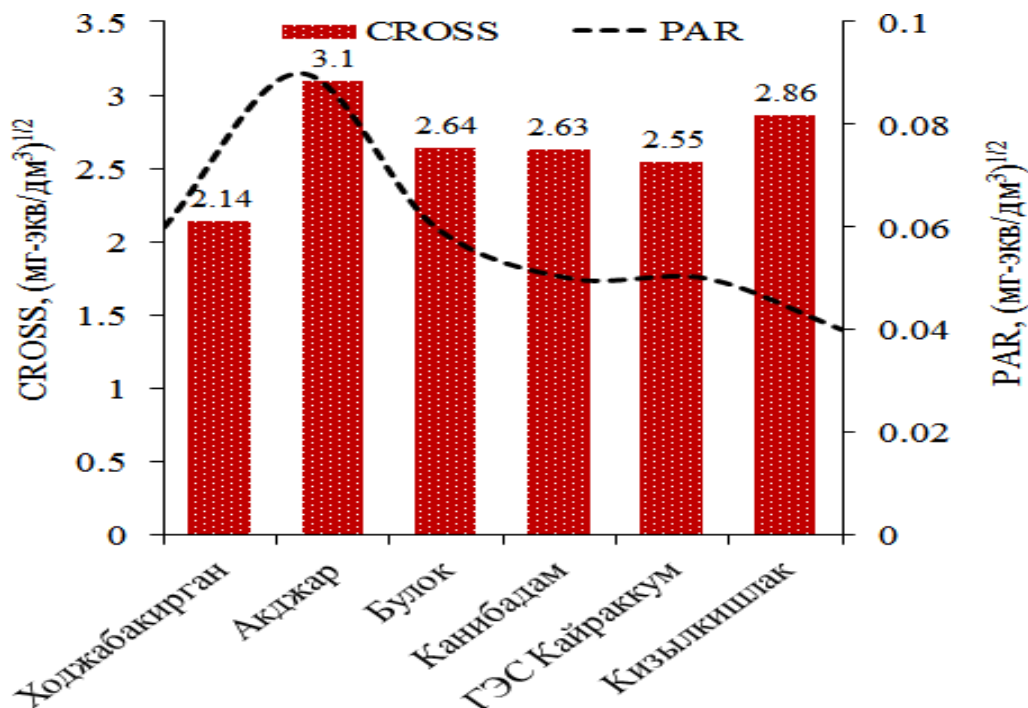
Одним из ключевых элементов, способствующих развитию растений, регуляции процессов осмоса и синтеза белков и углеводов, повышающий устойчивости растений к низким температурам и засухе является калий.

Катионы калия определяют фундаментальные физико-химические процессы в клетке, обеспечивая функционирования биологических систем. Катионы калия ( $K^+$ ) и натрия ( $Na^+$ ) могут сосуществовать в водной среде, при этом их свойства отличаются, что связано с различием в плотности положительного заряда на поверхности ионов.

В связи с этим определение калия и коэффициента структурной стабильности почвы (CROSS) в составе оросительной воде представляется важным.

На рис.2.10 представлены значений содержания катионов калия и коэффициента структурной стабильности почвы в водах рек Ходжабакирган и Сырдарья. Из рис.2.10 видно, что содержание катионов калия и коэффициент структурной стабильности почвы (CROSS) как и в случае катионов натрия, преобладают в Акджаре.

На основе полученных результатов можно утверждать, что река Сырдарья формирует свой химический состав в зоне формирования, в результате вымывания горных пород и по направлению течения реки меняется содержание химических составляющих речной воды.



**Рисунок 2.10.** – Значений доли адсорбируемых калия и коэффициента структурной стабильности почвы (CROSS) в реках Ходжабакирган и Сырдарьи

### 2.3. Динамика концентрации тяжелых металлов вдоль реки Сырдарья

Для регулирования стока реки Сырдарья и обеспечения водой сельскохозяйственных земель Узбекистана в период вегетации и генерации электрической мощности на равнинной части бассейна реки был возведен Кайраккумское водохранилище, в створе его плотины которого среднемноголетний сток реки Сырдарья чуть более 500 м<sup>3</sup>/с.

В наследство от военно-промышленного комплекса Советского союза Республике Кыргызстан остались достаточное количество хвостохранилищ с радиоактивными и тяжелыми металлами. В бассейне реки Сырдарья в Кыргызстане основные хвостохранилища находятся в бассейнах притоков

реки Сырдарья, что не исключает возможности транспортировки и поступления тяжелых металлов на территории Таджикистана.



Источник: [www.hydrotechsafety.kz](http://www.hydrotechsafety.kz)

**Рисунок 2.11.** – Вид на Кайраккумское водохранилище из космоса

К сожалению, по истечению времени происходили существенные изменения состояние ограждающих дамб хвостохранилищ постепенной деградации защитных сооружений, дренажных и водоотводящих систем и ныне они не отвечают установленным требованиям. Просачивание вод через ограждающие дамбы и загрязнения притоков и далее реки Сырдарья происходят систематически в особенности из хвостохранилищ в бассейне реки Майлуу-Суу. “В природных водах тяжелые металлы (ТМ) могут находиться в различных состояниях (в растворе, на взвесах, в форме коллоидов), что определяет их разную способность к миграции” [187].

С учетом схемы миграции тяжелых металлов от почвы в растения и далее в организм человека предложенной Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) в 1982 можно ожидать, что радиоактивные и тяжелые металлы хвостовых вод из хвостохранилищ будет распространяться по руслу реки и станет очагом массовых заболеваний населения. Миграция радиоактивных элементов по руслу реки и их перенос в организм человека по

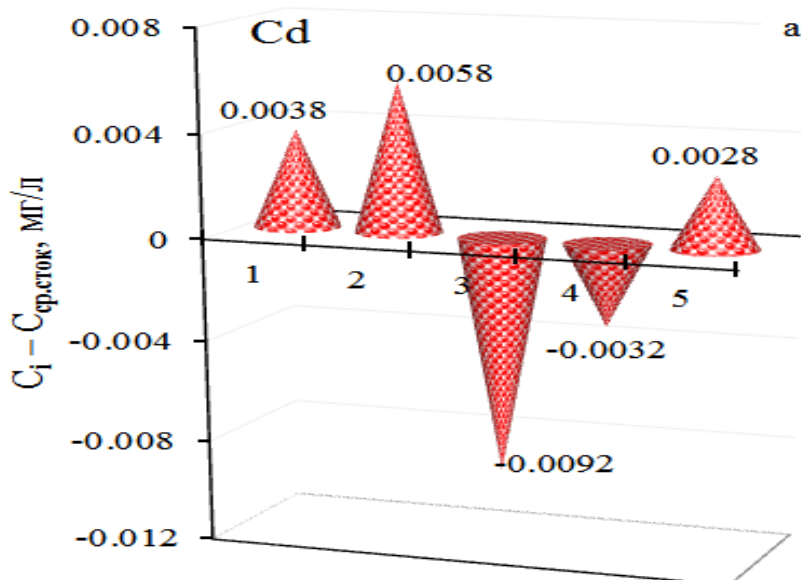
схеме, предложенной МАГАТЭ вполне реализуема и для других токсичных химических ингредиентов.

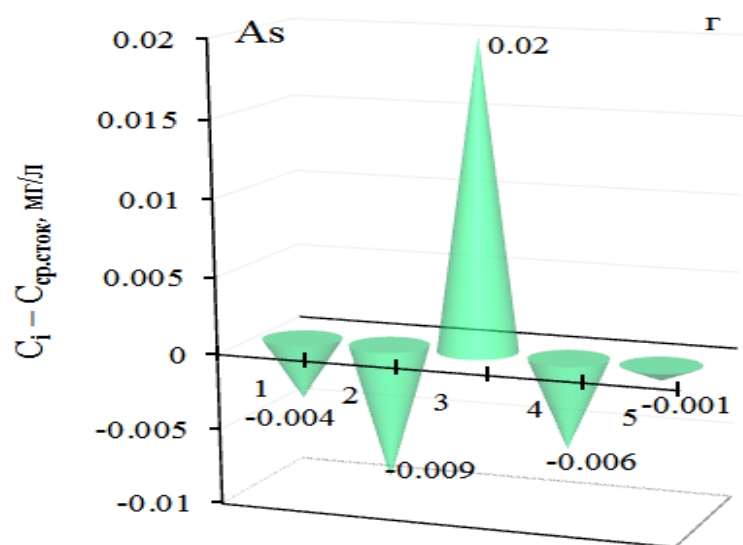
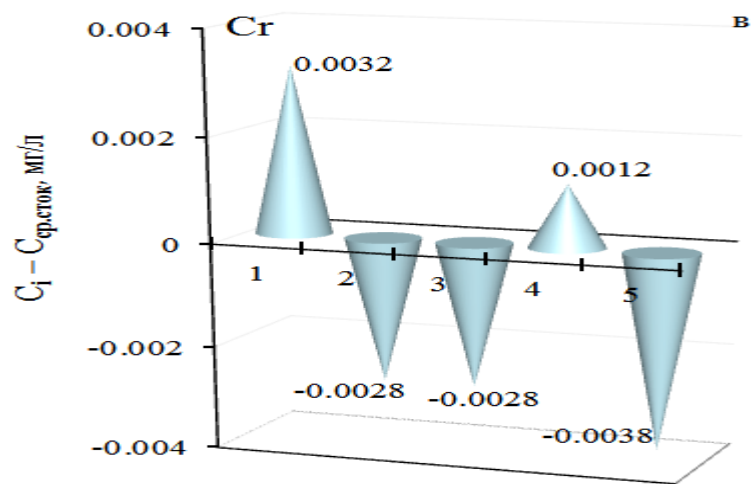
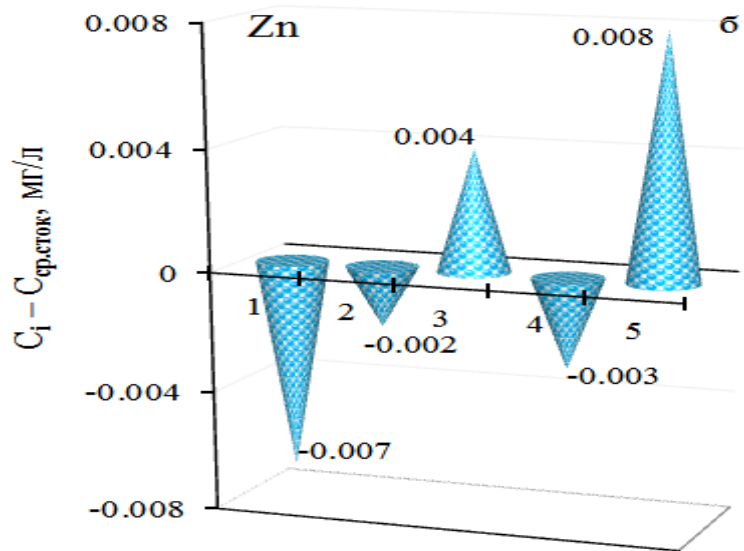
Степень и скорость переноса химических элементов из воды и почвы в компоненты биосферы характеризуется коэффициентом переноса. Состояние и агрохимия почв, pH, содержание щелочноземельных элементов и органического вещества состава почвы, химический состав оросительной воды и метеорологические условия местности являются основными факторами определяющих значений коэффициента переноса.

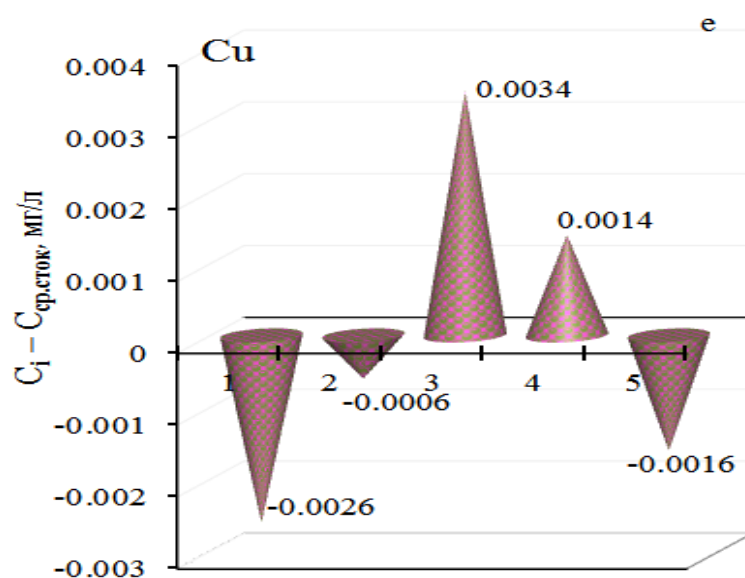
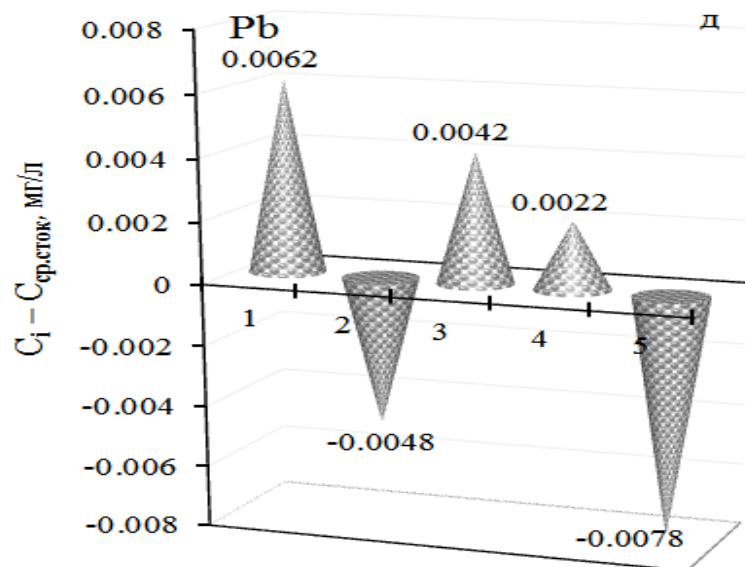
В настоящем разделе диссертации представлены результаты по исследованию процессов миграции тяжелых металлов по реки Сырдарья на территории Таджикистана.

Анализы проб вод на содержание тяжелых металлов проводились на атомно-абсорбционном спектрометре “А Analyst 800”.

Разностное значение концентрации тяжелых металлов (Cd, Zn, As, Pb, Cu и Cr) от среднего их значения в реке для пунктов отбора проб воду представлено на рисунке 2.12.







**Рисунок 2.12.** – Разностное значение концентрации тяжелых металлов (Cd, Zn, As, Pb, Cu и Cr) от среднего их значения в реке для пунктов отбора проб ВОДЫ

Было обнаружено отсутствие определенной закономерности изменения содержания тяжелых металлов Cd и Zn вниз по течению реки Сырдарья (рис. 2.12, а, б).

Миграционная способность в водной среде тесно связано и определяется в зависимости от состояний нахождения тяжелых металлов в растворе,

коллоидной форме и на взвесах в природных водах. “Следует отметить, что распространенной формой нахождения тяжелых металлов в водной среде являются их комплексные соединения с неорганическими лигандами и растворенными органическими веществами (РОВ). Важно отметить, что емкостью связывающих центров в РОВ определяет концентрация тяжелых металлов в их составе” [188].

Результаты химических анализов проб воды в каждой из пунктов отбора проб представлены в таблице 2.15.

**Таблица 2.15.** – Результаты титриметрического анализа проб воды

Показатели	Ед. изм	1	2	3	4	5
pH		7.71	7.28	7.33	7.81	7.39
Растворенный O <sub>2</sub>	мг/л	5.38	4.06	6.58	6.27	6.57
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	68.2	76.0	72.1	56.4	52.3
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	33.6	38.4	38.4	26.4	28.8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	164.7	207.4	176.9	134.2	137.9
Cl <sup>-</sup>	мг/л	39.7	22.6	34.0	19.8	19.7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	340	386	386	370	266
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	4.37	3.11	3.12	0.42	0.97

Главным фактором формы существования тяжелых металлов и их возможности связывания к химическим веществам в водной среде является водородный показатель (pH). Например, для цинка и кадмия необходимым условием связывания с органическими веществами является значение водородного показателя от 6 до 9 [188].

При этом следует отметить, что проблема нахождения форм в водной среде является сложной, и до сих пор нет единой концепции. Вся сложность заключается в том, что форма нахождения тяжелых металлов в водной среде зависит от множества факторов. Данная проблема становится сложнее в речной системе включающий ряд притоков к главной реке. Каждый из притоков главной реки протекает по местностям с присущей геологической формацией и формирование ее стока происходит в зависимости от метеорологических условий бассейна реки и все эти особенности притоков отражается на гидрохимию главной реки. В условиях ледниково-снежного питания рек прибавляется проблема внесение химических загрязнителей из ледникового стока, так как ледники и снежный покров являются аккумуляторами атмосферных загрязнителей [4,189,190].

Тяжелые металлы в составе природных вод участвуют в различных химических процессах и форма их нахождения, наряду с их свойствами определяется химизмом вод и наличия гумусовых веществ состава вод. Форма нахождения, способности к миграции или осаждение тяжелых металлов в водной среде во многом зависит от комплекса физико-химических свойств воды (минерализация воды, температурный режим, содержание растворенного кислорода, кислотно-основные условия (pH), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и от степени окисления и способности к комплексообразованию металлов. При этом следует отметить, что в спектре физико-химических процессов, протекающих в природных водах гидролиз, считается преобладающим процессом в определении формы существования тяжелых металлов.

Участие тяжелых металлов в процессах комплексообразования (нахождение в ионной форме) и степень подвижности и их осаждения главным образом определяется кислотно-основными и окислительно-восстановительными условиями. Увеличение кислотно-основных условий (pH) способствует перехода растворимых форм к нерастворимым катионным

формам металлов и адсорбции их на взвешенных веществах состава воды с последующим осаждением. Тяжелые металлы, поступающие в водную среду, вовлекаются в цепь разнообразных превращений и миграционных процессов под влиянием многочисленных факторов [191].

Характер окислительно–восстановительных процессов в водной среде изменяется в зависимости от сезона года. “Весной из-за обогащения слоев воды кислородом будет доминировать окислительные условия, а летом из-за биохимических процессов и больших расходов растворенного кислорода будут преобладать восстановительные условия” [191].

Наиболее часто наблюдаемые формы тяжелых металлов в водной среде приведены в таблице 2.16

**Таблица 2.16.** - Зависимость образования формы тяжелых металлов от водородного показателя [192]

Элемент		Форма нахождения
Zn	pH < 7	Zn <sup>2+</sup> aq
	pH = 7–8	[Zn(OH)] <sup>+</sup>
	pH > 8	[Zn(OH) <sub>2</sub> ] <sup>0</sup>
Cu	pH < 7	Cu-Лиганд Cu <sup>2+</sup> aq
	pH < 4	[Cu(HPO <sub>4</sub> )] <sup>0</sup>
	pH > 8	[Cu(OH) <sub>2</sub> ] <sup>0</sup> [Cu(OH) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>
	pH > 5	[Cu(CO <sub>3</sub> )] <sup>0</sup>
Ni	pH < 7	Ni <sup>2+</sup> aq
	pH < 9	Ni-Лиганд
	pH = 6–9	[Ni(CO <sub>3</sub> )] <sup>0</sup> [Ni(OH)] <sup>+</sup> [Ni(OH) <sub>2</sub> ] <sup>0</sup>
Pb	pH < 4	Pb <sup>2+</sup> aq
	pH = 5–7	Pb-Лиганд
	pH = 6–10	[Pb(OH)] <sup>+</sup>

**Окончание таблицы 2.16**

	pH > 10	[Pb(OH) <sub>2</sub> ] <sup>0</sup>
	pH = 5 – 7	[Pb(CO <sub>3</sub> )] <sup>0</sup>
Cd	pH < 7	Cd <sup>2+</sup> aq
	pH 5–7	Cd-Лиганд
	pH = 6–10	[Cd(OH)] <sup>+</sup> , [Cd(OH) <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>
	pH > 8	[Cd(OH) <sub>2</sub> ] <sup>0</sup> , [Cd(CO <sub>3</sub> )] <sup>0</sup>

В образовании формы тяжелых металлов наряду с кислотно-основными и окислительно-восстановительными условиями могут оказать существенное влияние также карбонатная жесткость воды, которая оценивается значениями константы устойчивости гидрокарбонатных и карбонатных комплексов. Устойчивые гидрокарбонаты и карбонаты металлов характеризуются высокими значениями константы устойчивости.

Математическая модель для определения содержания и описания динамики тяжелых металлов на основе уравнения конвекции – диффузии ныне приобрела широкое применение:

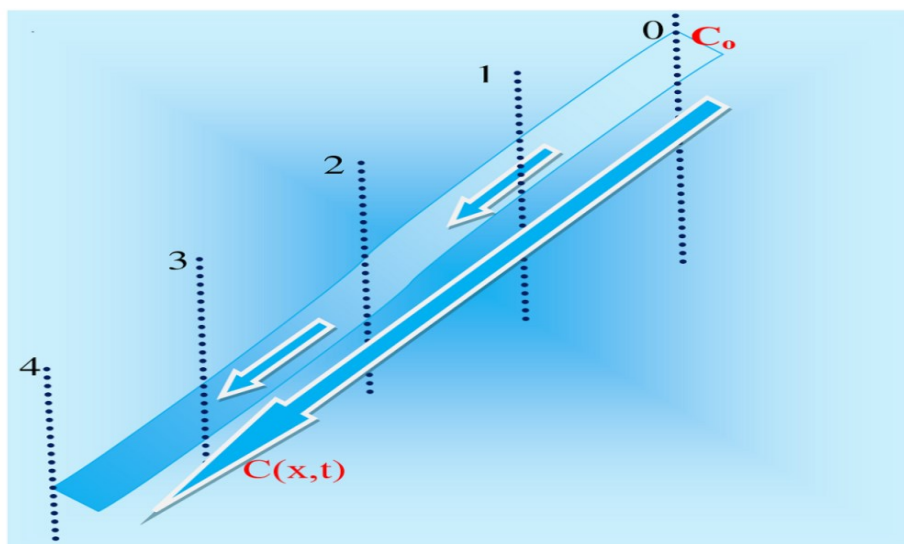
$$u \cdot \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = -k \cdot C(x,t) \quad (2.9)$$

где  $u$  – средняя скорость течения в живом сечении (м/с);  $C(x,t)$  – концентрация тяжелого металла, мг/л;  $k$  – скорость осаждения (1/с);  $x$  – длина пути миграции, м;  $t$  – продолжительность миграции (с).

При заданных значениях содержания тяжелых металлов скорость их осаждения можно вычислить с помощью уравнения (2.9):

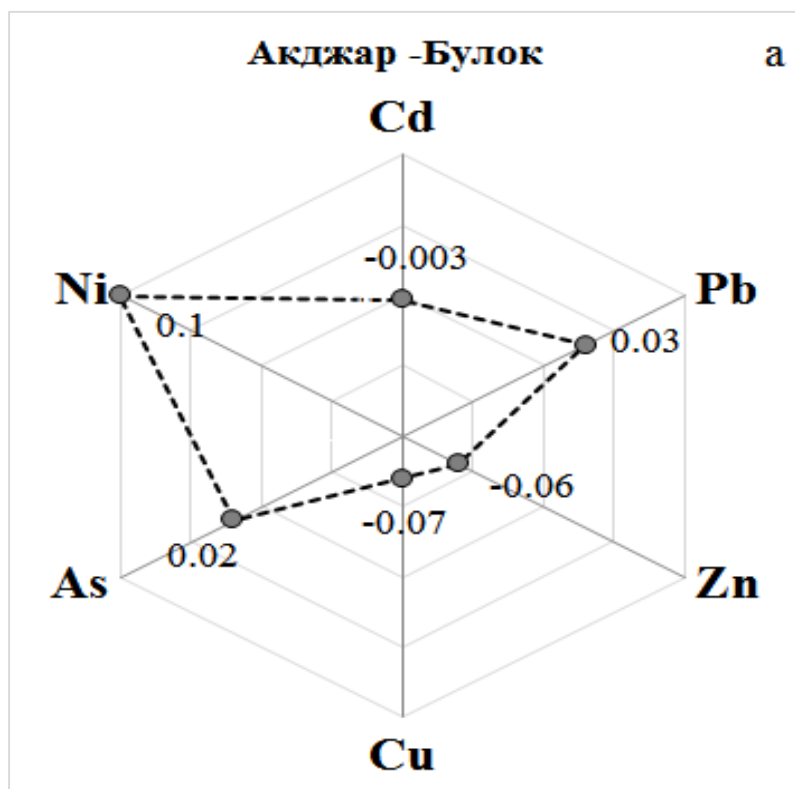
$$k = \frac{u}{x_{n+1} - x_n} \cdot \ln\left(\frac{C_n}{C_{n+1}}\right) \quad (2.10)$$

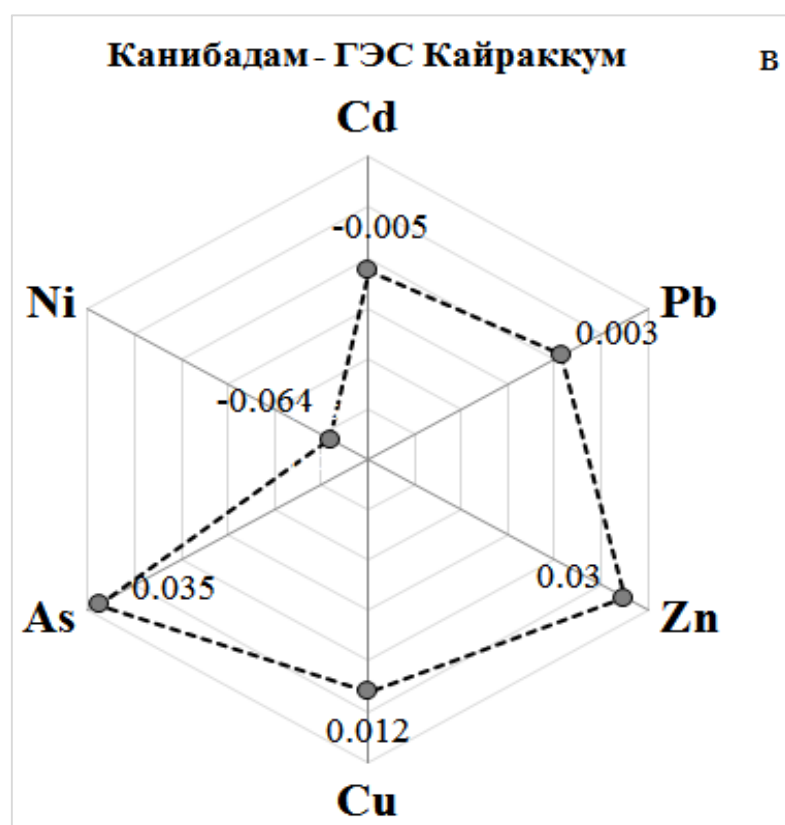
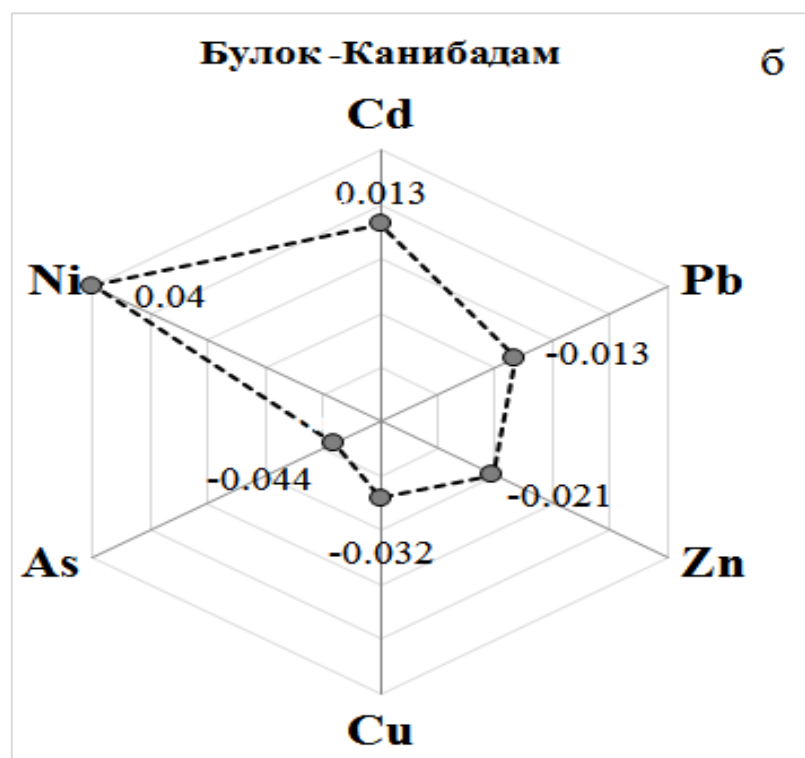
Формальная схема миграции тяжелых металлов представлена на рисунке 2.13, которая может показать этапы расчета скорости их седиментации

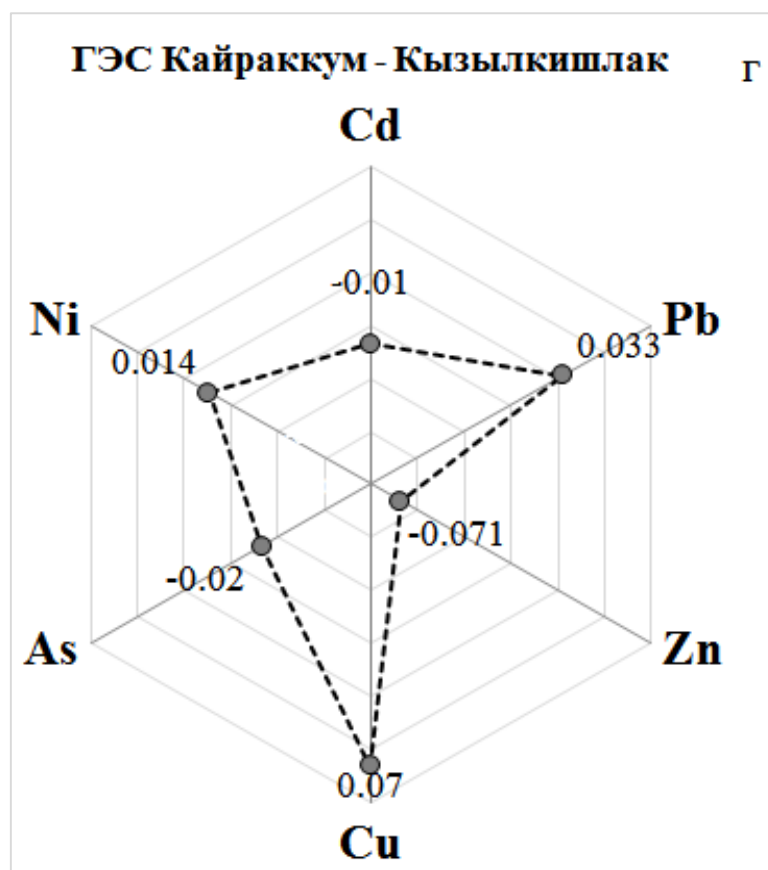


**Рисунок 2.13.** – Формальная схема миграции тяжелых металлов

Значение скоростей осаждения тяжелых металлов в водной среде между точками отбора проб воды реки Сырдарья представлено на рисунке 2.14.







**Рисунок 2.14.**– Значений скорости осаждения металлов (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) в водной среде между точками отбора проб воды из реки Сырдарья

Для объяснения полученных результатов можно воспользоваться данными таблицы 2.7 по влиянию кислотно - основных условий (pH) на образование формы металлов в водной среде.

С учетом значений скорости осаждения тяжелых металлов на рисунке 2.14 и данных таблицы 2.16 можно утверждать, что основная форма образования комплексов изученных тяжелых металлов в водной среде является гидроксиды. В участке реки Сырдарья между точками отбора проб Канибадам-ГЭС Кайраккум pH водной среды равно 7.57, что благоприятствует процессу гидролиза комплексов Zn с образованием  $[Zn(OH)]^+$ . С другой стороны, в отличие от исследуемых тяжелых металлов в среде с высокими значениями pH Zn находится в свободной форме. В отличие от цинка медь проявляет высокую склонность к адсорбции к различным взвешенным частицам. Наблюдаемое осаждение цинка и меди

только в низовьях реки на участке Канибадам – ГЭС Кайраккум вероятно связано именно с увеличением гумуса и наличием различных взвешенных веществ как следствие антропогенного влияния и уменьшением значения скорости потока.

Из рисунка 2.14 видно, что осаждение свинца происходит в участке реки Сырдарья между точками отбора проб Акджар-Булок, Канибадам-ГЭС Кайраккум и ГЭС Кайраккум-Кызылкишлак характеризуемые соответственно рН 7.50, 7.57 и 7.60, т.е. высокими значениями по всему руслу реки на территории Таджикистана. При рН >7 основной формой существования свинца является его карбонатные комплексы  $[Pb(CO_3)]^0$  и  $[Pb(CO_3)_2]^{2-}$ . Однако нестабильность данных комплексов приводят к тому, что в стоке поверхностных вод свинец обнаруживается в составе взвесей.

### **ГЛАВА 3. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ЧКАЛОВСКА (БУСТОНА), ГАФУРОВА И МЕХАНИЗМЫ ИХ МИГРАЦИИ**

#### **3.1. Комплексная оценка содержания тяжелых металлов в почвах хвостохранилищ с радиоактивными отходами Чкаловска (Бустон) и индексов загрязнения окружающей среды**

Республика Таджикистан также унаследовала от времен бывшего союза более десяти хвостохранилищ с общей площадью более двухсот га с более двухсот млн. отходов, из которых, более пятьдесят млн. тонн урановых. Естественно проводятся соответствующими профилирующими организациями требуемые мероприятия по восстановлению защитных дамб, консервации открытых отвалов и рекультивации с целью вовлечения территории хвостохранилищ в производстве сельскохозяйственных культур. Места расположения хвостохранилищ характеризуются наличием высокой степени риска, так они являются сейсмоопасными и испытывают формирования селевых потоков.

Хвостохранилище Чкаловска близко примыкает к жилому сектору (1км) и расположено в 200 метрах от гидрометаллургического завода. Три складированных отходов (Дигмай, Гафуров и “Карта 1-9”) с радиоактивными элементами из общего числа хвостохранилищ в Согдийской области находятся на окрестностях г. Чкаловска (ныне г. Бустон). За период функционирования (1945-1963 гг.) Чкаловского хвостохранилища было накоплено 4.0 млн. т урансодержащих отходов на площади 18 га, включающей 9 карт. Защитное покрытие хвостохранилища представляет слой 0.5-0.7 м нейтрального грунта.

На рисунке 3.1 представлена карта расположения хвостохранилищ с радиоактивными элементами в Согдийской области Республики Таджикистан.



**Рисунок 3.1.**– Карта расположения хвостохранилищ с радиоактивными элементами в окрестностях г. Чкаловска (ныне Бустона)

Для проведения анализов почвы на содержание тяжелых металлов осуществляется отбор проб с верхних слоев почвы до 5 см, проводится измельчение и просеивание из сита с размером ячеек не более 1 мм. Далее пробы прессуются в специальные кюветы. Пробы почвы отбирались согласно методике программы ICP-Forests с июня 2013 г. Элементный анализ проб проводился в лаборатории физики атмосферы Физико – технического института им. С.У. Умарова НАНТ методом рентгенофлуоресцентного по стандартной методике. Измерялось содержание в пробах тяжелых металлов, относящихся к I-III классам

опасности по степени воздействия на организм человека согласно ГОСТу 17319-2019 «Реактивы. Методы определения примеси тяжелых металлов».

Для анализа проб на содержание тяжелых металлов и оксидов использовалась разработанная и аттестованная Госстандартом РФ «Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа» [193]. Методика анализа объектов реализована с помощью рентгенофлуоресцентного кристалл-дифракционного сканирующего спектрометра "СПЕКТРОСКАН МАКС G", имеющем сканирующий канал модели «G» [194]. Проводились также исследования переноса тяжелых металлов из почвы в растения. В качестве объекта исследования использовалось растение Мята азиатская (лат. *Mentha asiatica*) — вид растений рода Мята (*Mentha*) семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) и Верблюжья колючка (*Alhagi*) зарастающие соответственно в почвах Чкаловского и Гафуровского хвостохранилищ (рис.3.2, рис 3.3).

Растения для удаления посторонних ингредиентов выдерживались в среде дистиллированной воды и после высушки в сушильном шкафу до сухого состояния озольялась в муфельной печи при температуре 150 °С.



**Рисунок 3.2.** - Мята азиатская (*Mentha asiatica*) вид растений рода Мята (*Mentha*) семейства Яснотковые (*Lamiaceae*)



**Рисунок 3.3.** - Верблюжья колючка (Alhagi)

Для оценки состояния загрязненных тяжелыми металлами почв и оценки степени риска в функционировании компонентов биосферы, а также для выявления степени перехода тяжелых металлов к растениям, в настоящее время разработаны ряд индексов. Основными индексами являются индивидуальный индекс загрязнения (PI), общий индекс загрязнения (PLI), показатель потенциального экологического риска (RI), индекс загрязнения Nemerow (NPI) и индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ).

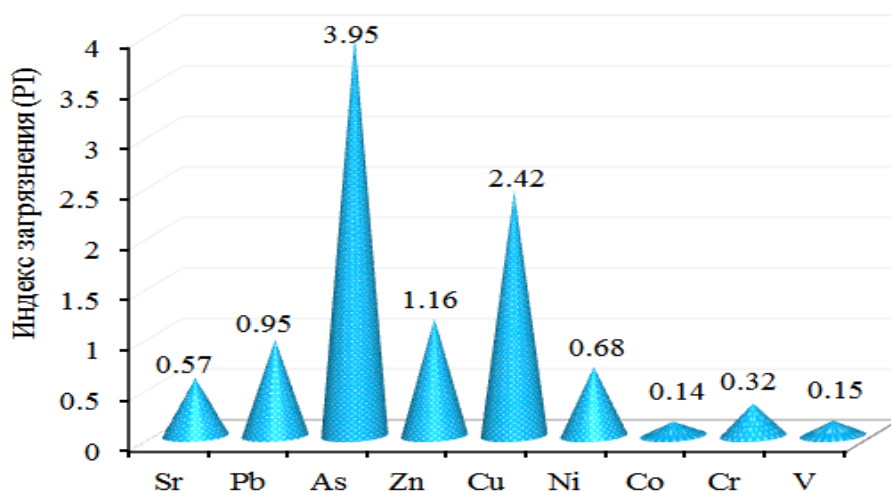
Следует отметить определение количественных значений выше перечисленных индексов важно в планирование мероприятий по обеззараживанию территорий с вовлечением их для производства сельскохозяйственных продуктов.

Для идентификации видов тяжелых металлов в составе почв загрязненных территорий, широко применяется единый индекс загрязнения (PI). Данный индекс используется также для количественной оценки индексов (PI Nemerow) [195], PLI и выражается следующим выражением:

$$PI=C_n/G_B \quad (3.1)$$

где,  $C_n$  – содержание металла в верхнем горизонте;  $G_B$  – фоновое содержание тяжелого элемента.

Для каждого из тяжелых металлов стронция, свинца, мышьяка, цинка, меди, никеля, хрома и ванадия на рис.3.4 приведен значений индивидуального индекса загрязнения (PI).



**Рисунок 3.4.** – Значений единого индекса загрязнений почвы территории хвостохранилища Чкаловск

В таблице 3.1 приведена классификация почв загрязненных территорий в зависимости от значений индивидуального индекса загрязнений.

**Таблица 3.1.** - Классификация почв загрязненных территорий в зависимости от значений индивидуального индекса загрязнений [196]

Значение индивидуального индекса загрязнения (PI)	Класс почвы
$PI < 1$	незагрязненная
$1 < PI < 2$	слабо загрязненная
$2 < PI < 3$	средне загрязненная
$3 < PI < 5$	сильно загрязненная
$PI > 5$	Очень сильно загрязненная

Из сравнения значений единого индивидуального индекса загрязнений тяжелых металлов (рис. 3.4) с классификацией почв (таблица 3.1) следует, что почва хвостохранилища Чкаловска по мышьяку (As) соответствует классу сильно загрязненной. По цинку (Zn) слабо загрязненной, по меди (Cu) средне загрязненной, а по остальным тяжелым металлам (Sr, Pb, Ni, Co, Cr, V) незагрязненному классу почв.

Индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) позволяет оценить загрязнение почвы тяжелыми металлами и определяется соотношением:

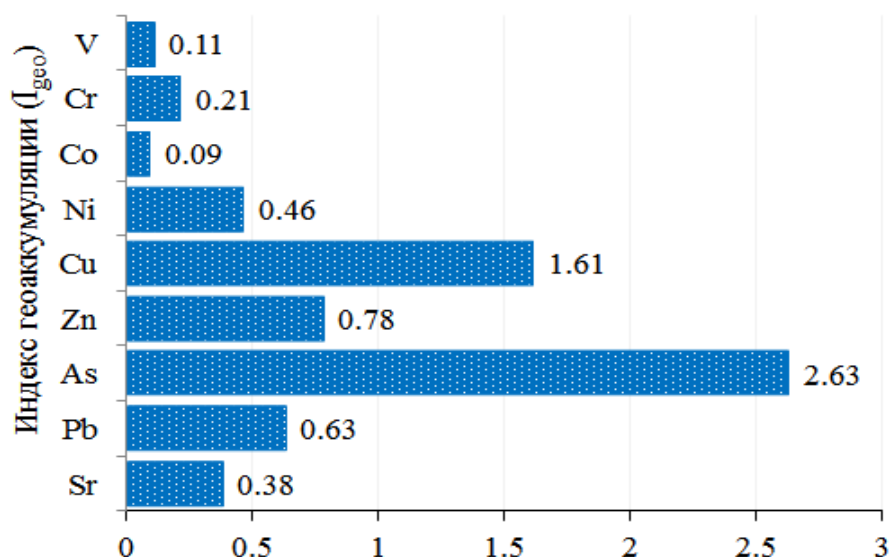
$$I_{geo} = C_n / 1.5GB \quad (3.2)$$

Известно ныне также определенная классификация почв загрязненных тяжелыми металлами по значениям индекса геоаккумуляции почвы [197,198], представленная в таблице 3.2.

**Таблица 3.2** - Классификация почв, загрязненных тяжелыми металлами по значениям индекса геоаккумуляции почвы [197,198]

Значение индекса геоаккумуляции ( $I_{geo}$ )	Класс почвы
$I_{geo} < 0$	чистая
$0 < I_{geo} < 1$	от слабого до среднего загрязнения
$1 < I_{geo} < 2$	средней степени загрязнения
$2 < I_{geo} < 3$	от среднего до сильного загрязнения
$3 < I_{geo} < 4$	сильное загрязнение
$4 < I_{geo} < 5$	от сильного до очень сильного загрязнения
$5 < I_{geo}$	очень сильное загрязнение

Количественное значение индекса геоаккумуляции тяжелых металлов хвостохранилища Чкаловска представлено на рисунке 3.5.



**Рисунок 3.5.** - Значений индекса геоаккумуляции тяжелых металлов почвы хвостохранилище Чкаловск

Из рис.3.5 следует, что почва хвостохранилища Чкаловск по значения индекса геоаккумуляции тяжелых металлов V, Cr, Co, Ni, Zn, Pb и Sr относится к классу от слабого до средней степени, по меди (Cu) к средней степени загрязнения и по мышьяку (As) к классу от среднего до сильного загрязнения.

Для учета и оценки фактора антропогенного загрязнения почвы тяжелыми металлами разработан индекс, так называемый фактором обогащения (EF), который определяется следующей формулой:

$$EF = (C_n / C_s) / (G_{Bn} / G_{Bs}) \quad (3.3)$$

где,  $C_s$  - содержание стабильного эталонного элемента,  $G_{Bs}$  – кларк металла - эталона.  $C_n$  – содержание металла в верхнем горизонте;  $G_{Bn}$  – кларк металла в почве.

Для расчета фактора обогащения в качестве металла – эталона обычно используют титана, марганца, алюминия, кальция.

В зависимости от значений аккумуляции тяжелых металлов (EF) в почве подразделяются следующие уровни накопления: минимальное ( $EF < 2$ ), среднее (2–5), значительное (5–20), очень высокое (20–40), чрезвычайно высокое ( $> 40$ ) [199]. Происхождение тяжелых металлов состава почвы, т.е.

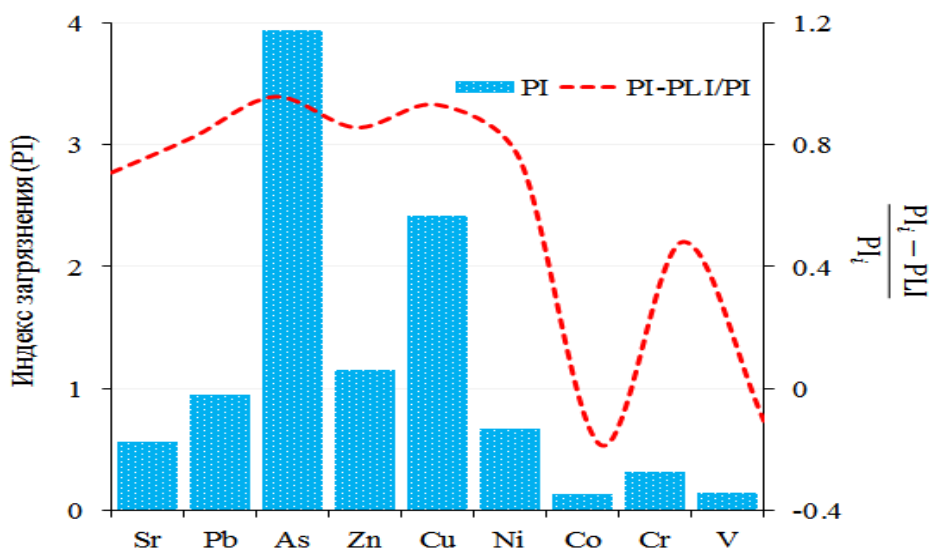
факторы, благодаря которым тяжелые металлы попадают в почву, определяются значениями EF. Отличаются две основные каналы поступления тяжелых металлов в почву: естественные ( $0.5 \leq EF \leq 1.5$ ) и антропогенные ( $1.5 \leq EF$ ). Пространственное распределение тяжелых металлов указывает на зоны потенциального риска вредных тяжелых металлов в городской среде, что способствует разработке плана действий по восстановлению и защите городской среды [200,201].

Изменение общего состояния территории благодаря процессам обогащения тяжелыми металлами оценивается индексом нагрузки (PLI) расчет которого производится соотношением [196]:

$$PLI = (PI_1 \cdot PI_2 \cdot PI_3 \cdot \dots \cdot PI_n)^{1/n} \quad (3.4)$$

где, n - количество анализируемых тяжелых металлов, а PI - расчетные значения единого индекса загрязнения.

Условием отсутствия загрязнения почвы тяжелыми металлами является  $PLI < 1,0$  [198,202].



**Рисунок 3.6.** – Индивидуальный индекс загрязнений тяжелых металлов и их вклад в общее состояние загрязненности почвы хвостохранилища

На рис.3.6 приведен общее состояние загрязненности территории хвостохранилища путем учета вклада каждого из тяжелых металлов в виде от

отношения разницы индивидуального индекса загрязнения и индекса нагрузки к индивидуальному индексу загрязнения металлов. Данное соотношение, как следует из рисунка 3.4, имеет положительное значение только для As, Zn, Cu, Sr, Ni, и почти нулевое значение для Pb, а для Co, Cr и V отрицательное значение. Это является свидетельством того что в почвах территории хвостохранилища Чкаловск преобладают As, Zn, Cu Sr, и Ni и среди них наибольшую концентрацию имеет мышьяк (As).

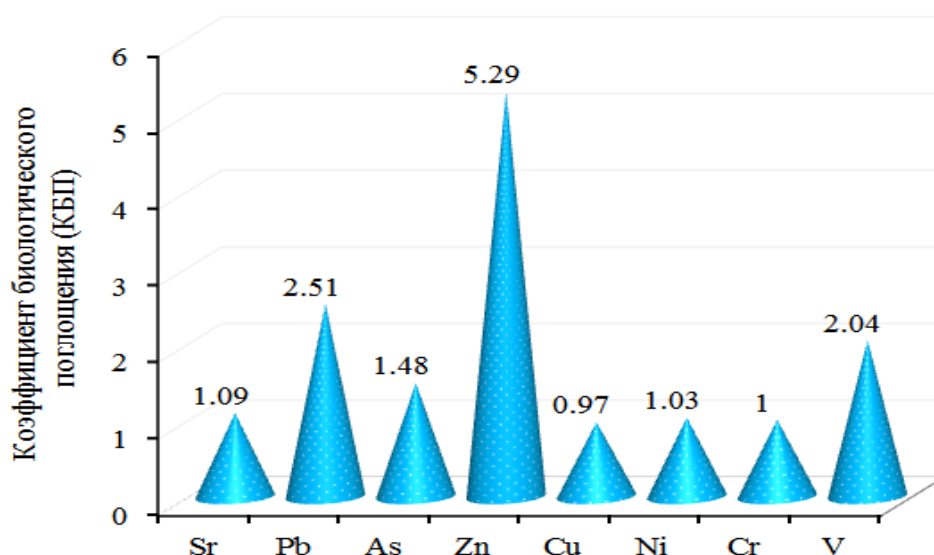
### **3.2. Механизмы переноса тяжелых металлов из почвы хвостохранилище Чкаловска (Бустона) в растения**

На пути перехода химических элементов в организм человека и главным звеном биохимического круговорота веществ являются растения отличающихся высокой поглотительной способностью. Тяжелые металлы своими физико-химическими свойствами, токсичностью, высокой миграционной стабильностью вызывают широкую обеспокоенность в плане переноса в живые организмы. Данная проблема в последние годы приобретают особую актуальность в связи с нарастанием антропогенной нагрузки на компонентов экосистемы. Исследование процессов миграции и переноса, тяжелых металлов в живые организмы и установление их закономерностей важны с практической точки зрения разработки методов защиты от их попадания в сельскохозяйственные культуры и далее по цепочке “почва-растение-живой организм”. Наряду с этими растения могут послужить индикатором загрязненной тяжелыми металлами среды. “В современных условиях сельскохозяйственные товаропроизводители нередко сталкиваются с необходимостью вести производство продукции на землях, в разной степени загрязненных тяжелыми металлами (ТМ)” [203]. Для количественного описания степени переноса элементов в растения используется «интенсивность поглощения», определяемого как отношение количества элемента зола растения к его количеству в почве и называемым «коэффициентом биологического поглощения» (КБП):

$$\text{КБП} = \frac{m}{M} \quad (3.5)$$

где,  $m$  - содержание элемента  $X$  в золе растений,  $M$  - содержание элемента  $X$  в почве, на которой произрастает данное растение.

На рисунке 3.7 представлены значения коэффициента биологического поглощения Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Cr и V. Из рисунка 3.7 видно, что значений коэффициентов биологического поглощения для всех тяжелых металлов почвы хвостохранилища Чкаловск равны и больше единицы. Тяжелые металлы с коэффициентом биологического поглощения больше единицы накапливаются в растениях, металлы с коэффициентом биологического поглощения меньше единицы захватываются растениями.



**Рисунок 3.7.** – Значений коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что по значениям коэффициента биологического поглощения почва хвостохранилища Чкаловска относится к классу загрязненной почвы. По содержанию мышьяка (As) к сильно загрязненному классу почв.

Тяжелые металлы с коэффициентом биологического поглощения больше единицы накапливаются в растениях, металлы с коэффициентом биологического поглощения меньше единицы захватываются растениями.

Нарушение естественного цикла биогеохимических процессов и функционирование компонентов экосистемы, обусловленное антропогенными воздействиями, приводят к увеличению частоты чрезвычайных ситуаций в динамике нормальной жизнедеятельности живых организмов, уязвимости окружающей среды, ухудшение состояния и структуры почв и ее продуктивности. Обострение процессов нарушения налаженного механизма функционирования экосистемы происходят под влиянием агроэкологических факторов. Агроэкологические факторы более ощутимо проявляется в сельскохозяйственном производстве, так как главное звено в общем цикле в питание необходимыми ингредиентами для развития растений почва подвержена благодаря внешним воздействиям процессам деградации. С другой стороны, почва характеризуется высокими значениями адсорбции к многим химическим соединениям, влаги и выступает в качестве акцепторов тяжелых металлов. Высокая миграционная способность тяжелых металлов, прежде всего, определяется их содержанием в гуминовых кислотах закрепленные на почвенных частицах. Исходя из того, что высокая подвижность тяжелых металлов проявляется в их комплексах с органическими соединениями и благодаря тому, что органические вещества богаты на верхних слоях почвы, можно утверждать, что подвижные тяжелые металлы концентрируются в основном на верхних слоях почвы.

Следует отметить, что кислотность почвы является основным фактором, предопределяющим подвижность тяжелых металлов. Гидрохимические характеристики воды указывают на климат и окружающую среду в районе, где протекает река [204,205]. Катионообразующие тяжелые металлы (Cu, Zn, Ni, Hg, Pb) и анионообразующие (Mo, Cr, V) тяжелые металлы проявляют разные свойства при увеличении кислотности почвы, заключающего в том, что у анионообразующих увеличивается миграционная способность, а у катионообразующих сорбционная способность. Соединения Zn, V, As, Se характеризуются высокой подвижностью в нейтральных почвах [206].

Миграционная способность тяжелых металлов генерирует работу цепочку - почва - растение - организм человека и возможности перехода в человеческий организм через сельскохозяйственные продукты и проявляет зависимость от характеристики почвы, вида растений и условия среды [207-209].

Для создания благоприятных условий биодоступности тяжелых металлов в корневую часть растений во многом зависит от свойств почвы. Формирование связи тяжелых металлов с органическими соединениями состава почв приводит к ослаблению миграции и соответственно к поглощаемости их растениями. “Кислая среда является фактором повышенной растворимости и поглощения тяжелых металлов” [210].

Исследования всех возможных каналов переноса тяжелых металлов в растения показали, что наряду с корневой частью в данном процессе активный вклад вносят также другие компоненты (листья, цветы и плоды). Но главным звеном в переносе тяжелых металлов в растения остается его корневая часть [211].

Стойкость к биодоступности, токсичность и продолжительность времени пребывания наряду с миграционными способностями в компонентах экосистеме многих тяжелых металлов представляют серьезную угрозу для живых организмов и могут вызывать, например, кадмий к раку легких, дисфункции почек и гипертонии [212].

Трудновыводимость и метаболизм тяжелых металлов, связанных с отложением их в разных частях вызывают осложнения в организме человека. Тяжелые металлы отличаются также свойством замещения других солей и минералов в организме человека и пополнения недостающих металлов. Такие процессы становятся причиной потери памяти, анорексии, артрита, выпадения волос, остеопороза [213].

Основным путем миграции ТМ в окружающей среде является поступление их в почвы, где они становятся доступными для растений [214].

Токсичность тяжелых металлов проявляется в торможении роста растений, т.е. уменьшение линейных размеров корней и побегов, снижение накопления биомассы [215]. А также задержке развития растений, увеличению продолжительности вегетационного периода и в большинстве случаев к появлению преграды для перехода растения к генеративному развитию, несмотря на вполне благоприятные природно-климатические условия [216].

Процессы переноса тяжелых металлов в растения ныне в условиях нарастания антропогенной нагрузки приобретают особую актуальность в связи с появлением ряд практических аспектов. Не вызывает сомнений, что в цепочке перехода тяжелых металлов в организм человека растения и почва являются промежуточными элементами цепи. Глубокое исследование и выявление закономерностей процессов передвижения тяжелых металлов позволяет разработать научно-обоснованные методы предохранения или, в крайнем случае, резкого сокращения попадания тяжелых металлов в сельскохозяйственные продукты и далее в организм человека [203]. С другой стороны, это открывает хорошую перспективу для использования растений в роли индикаторов для определения загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [217]. Нахождение в той или иной форме в составе почвы тяжелые металлы представляют серьезную угрозу и определенный экологический риск. Для определения степени риска разработан индикатор, так называемый показатель потенциального экологического риска, определяемый следующим соотношением [185]:

$$RI = \sum_i^n E_r^i \quad (3.6)$$

$$\sum_r^i = T_r^i \cdot PI_i \quad (3.7)$$

где  $T_r^i$  – коэффициент токсичности тяжелого металла,  $PI$  – расчетные значения индивидуального индекса загрязнения.

Количественная оценка поглощения элементов растениями осуществляется значениями коэффициента биологического поглощения,

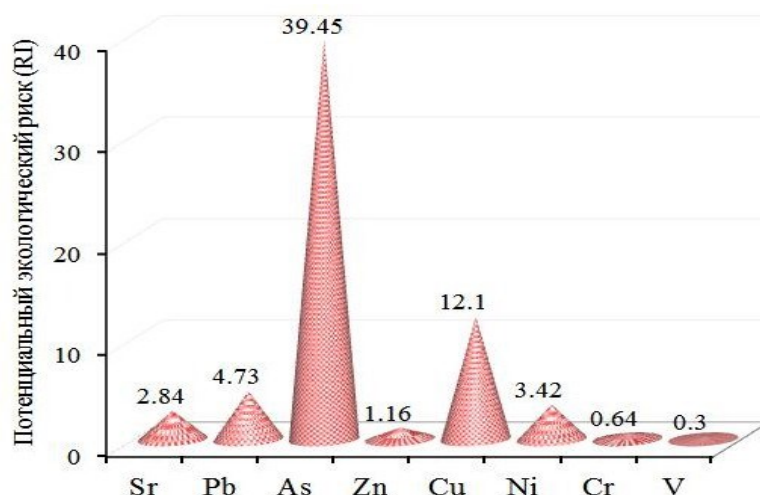
определяемая соотношением:

$$\text{КБП} = m/M \quad (3.8)$$

где,  $m$ ,  $M$  – содержание тяжелых металлов в золе растений и в почве соответственно.

На рисунке 3.8 представлены значения показателя экологического риска для Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Cr и V почвы территории хвостохранилища Чкаловска, который показывает, что все они значительно ниже 90 при среднем значении RI по всей территории отбора проб равного 64.64.

Следовательно, почва территории хвостохранилища Чкаловска, а именно почва место отбора проб характеризуется низким показателем экологического риска по перечисленным металлам.



**Рисунок 3.8.** – Значений потенциального риска тяжелых металлов на территории хвостохранилища Чкаловска

В зависимости от значений RI подразделяются низкий ( $RI < 90$ ), средний ( $90 \leq RI \leq 180$ ), высокий ( $180 \leq RI \leq 360$ ), очень высокий ( $360 \leq RI \leq 720$ ) и чрезвычайно высокий ( $> 720$ ) уровень экологического риска [197].

Следовательно, на основе полученных результатов можно утверждать, что уровень экологического риска на территории хвостохранилища Чкаловск по значениям RI для Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Cr и V является низкой.

Для оценки качества почвы и определения вклада каждого находящегося

в составе почвы тяжелых металлов и выявление потенциально-опасного преобладающего по концентрации тяжелого металла широко применяется индекс загрязнения Nemerow (Nemerow Pollution Index, NPI), который рассчитывается соотношением [196]:

$$NPI = (0.5(\frac{1}{n} \sum_i^n PI_{\text{сред}})^2 + (PI_{\text{max}})^2)^{1/2} \quad (3.9)$$

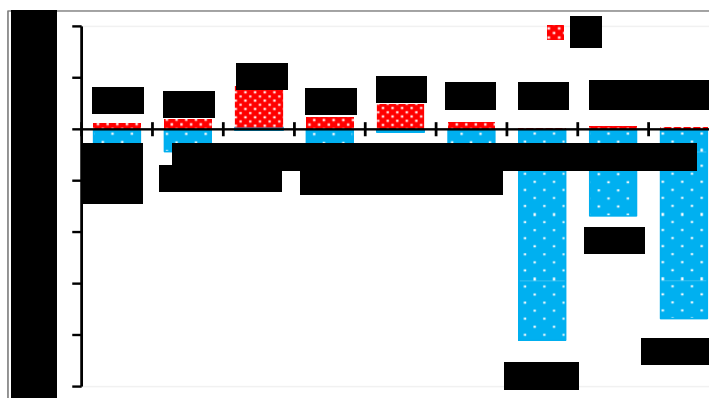
где,  $PI_{\text{max}}$  – максимальное значение PI среди n металлов, а  $PI_{\text{сред}}$  – среднее значение PI.

Соотношение (3.9) нами было использовано для расчета значения  $PI_{\text{Nemerow}}$ , которое равнялось 4.11. Сравнением данного значения с предложенного в [218] значений для классов загрязнения почв и представленные в таблице 3.3 было установлено, что территория хвостохранилище Чкаловск, где отбирались проб почв, характеризуется сильным уровнем загрязнения. ( $3 < NPI$ ).

**Таблица 3.3** – Класс почв по значениям индекса загрязнения Немеорова

Значение индекса загрязнений Немеорова ( $PI_{\text{Nemerow}}$ )	Класс почв
$\leq 0.7$	Не загрязненная
$0.7 < PI_{\text{Nemerow}} \leq 1$	Незначительно загрязненная
$1 < PI_{\text{Nemerow}} \leq 2$	Слабо загрязненная
$2 < PI_{\text{Nemerow}} \leq 3$	Умеренно загрязненная
$3 < PI_{\text{Nemerow}}$	Сильно загрязненная

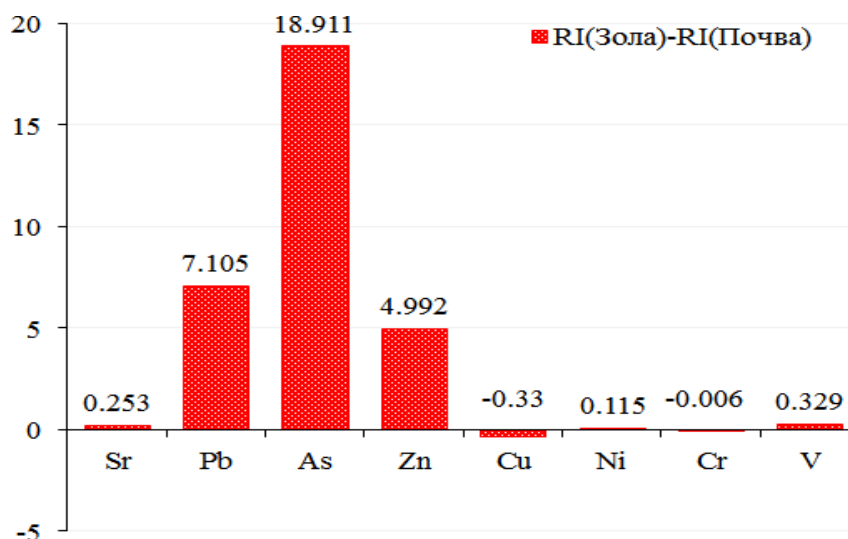
На рисунке 3.9 представлено отношение разницы индивидуального индекса загрязнения и индекса загрязнения Nemerow к индивидуальному индексу загрязнения, показывающего о доминировании As, Zn и Cu на территории хвостохранилище в г. Чкаловске по месту отбора проб.



**Рисунок 3.9.** - Соотношение между индексами индивидуального загрязнения и загрязнений Немерова (PNI)

Не вызывает сомнения, что попадание многих химических элементов включая радионуклидов и тяжелых металлов в человеческий организм происходит по цепочке —почва-растение-человек

На рисунке 3.10 представлена разница значений потенциального риска растения и почвы на территории хвостохранилища Чкаловск. Из рисунка 3.10 видно, что разница потенциальных рисков золы растения и почвы наибольшая для As и Zn, свидетельствующая о значительных концентрациях этих элементов на территории хвостохранилища Чкаловск по месту отбора пробы.

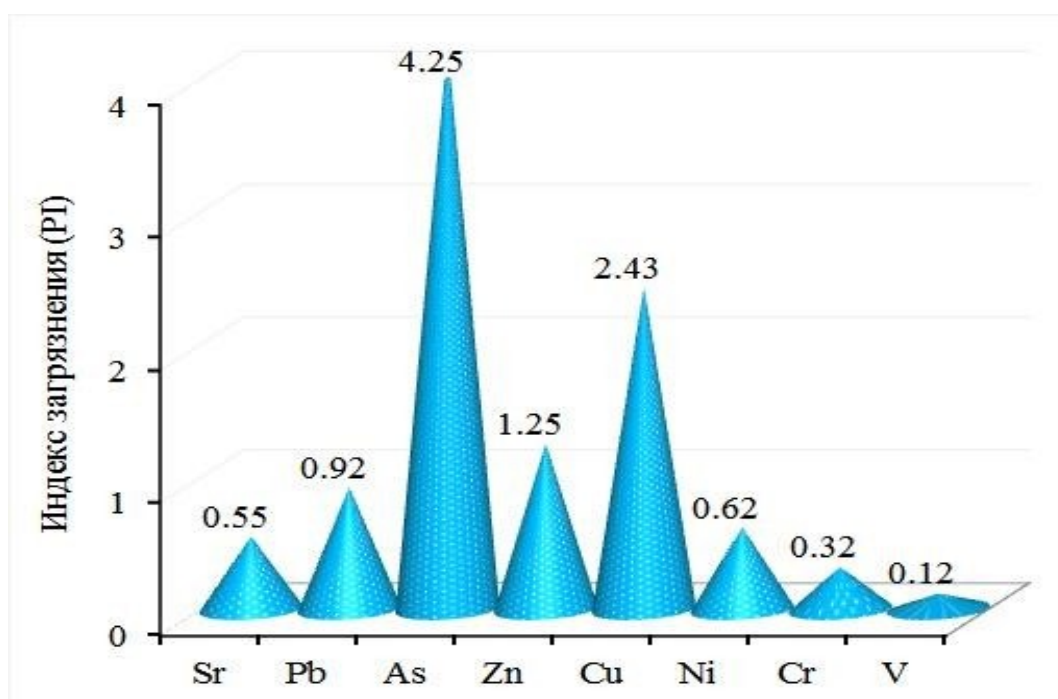


**Рисунок 3.10.** – Разница между значениями потенциального экологического риска золы растения и почвы

Эксплуатация хвостохранилище в Гафурове начиналась с 1942 года для хранения отходов завода по добыче радия, который был приостановлен в 1958 году. Площадь хвостохранилища – примерно 5.0 га и высота отходов до 15 м. В хвостохранилище захоронены в основном радиоактивные отходы с содержанием радионуклидов уран-238, торий-232, радий-226. На хвостохранилище суммарная активность оценивается в 6,9 ТБк.

На рисунке 3.11 представлены значения индекса загрязнений тяжелых металлов почвы Гафуровского хвостохранилища. Из рис. 3.11 следует, что по индексу загрязнения почвы Гафуровского хвостохранилища, преобладают мышьяк и медь, далее идут свинец и цинк.

В таблице 3.4 и на рисунке 3.12 для сравнения представлено значений единого индекса загрязнений тяжелых металлов почв Чкаловского и Гафуровского хвостохранилищ.



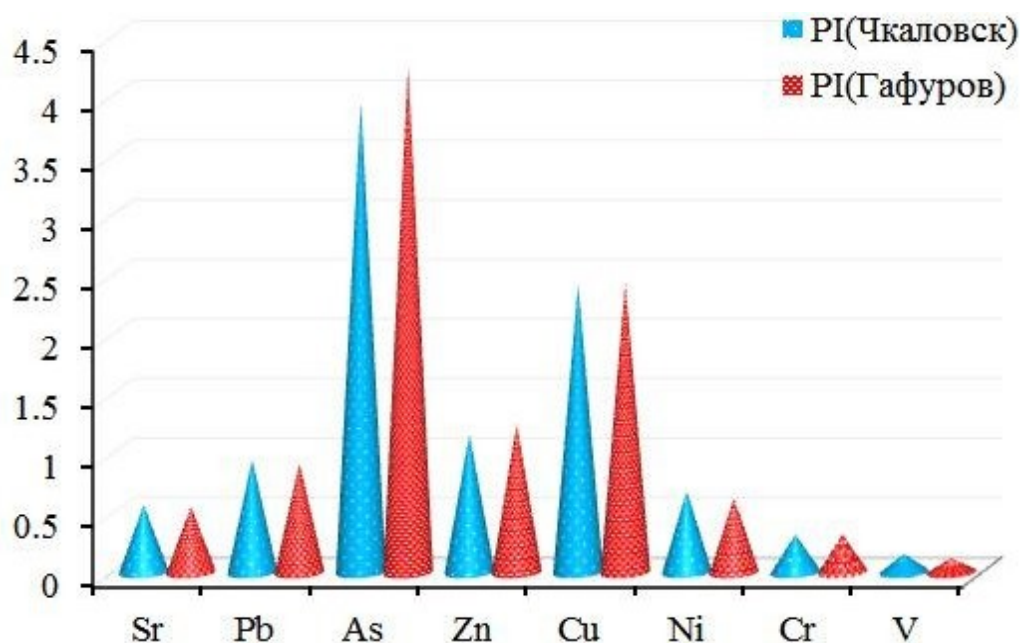
**Рисунок 3.11.** – Индексы загрязнения тяжелых металлов почвы Гафуровского хвостохранилища

**Таблица 3.4** – Значений единого индекса загрязнений почв  
Гафуровского и Чкаловского хвостохранилищ тяжелыми  
металлами

Хвостохранилище	Единый индекс загрязнения (PI)			
	As	Cu	Zn	Pb
Чкаловское	3.95	2.42	1.16	0.95
Гафуровское	4.25	2.43	1.25	0.92

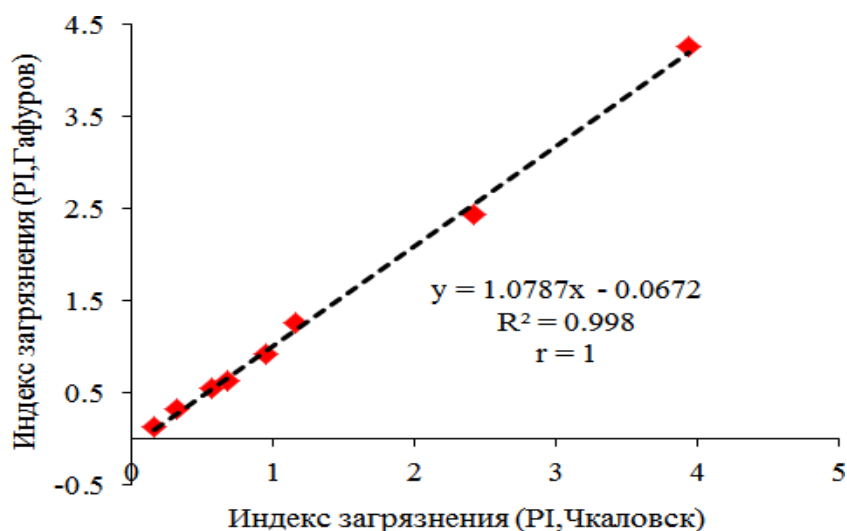
Из таблицы 3.4 и рисунка 3.12 видно, что по значениям единого индекса загрязнения основные тяжелые металлы хвостохранилищ в Чкаловске и Гафуровском районе отличаются незначительно.

Об этом также свидетельствует корреляционная зависимость значений единого индекса загрязнений двух хвостохранилищ с коэффициентом корреляции равного единице (рис. 3.12).



**Рисунок 3.12.** – Значение единого индекса загрязнений  
Гафуровского хвостохранилища в сравнение со значениями  
Чкаловского хвостохранилища

Об этом также свидетельствует корреляционная зависимость значений единого индекса загрязнений двух хвостохранилищ с коэффициентом корреляции равного единице (рис. 3.13).



**Рисунок 3.13.** – Корреляционная зависимость значений индекс загрязнения Чкаловского и Гафуровского хвостохранилищ

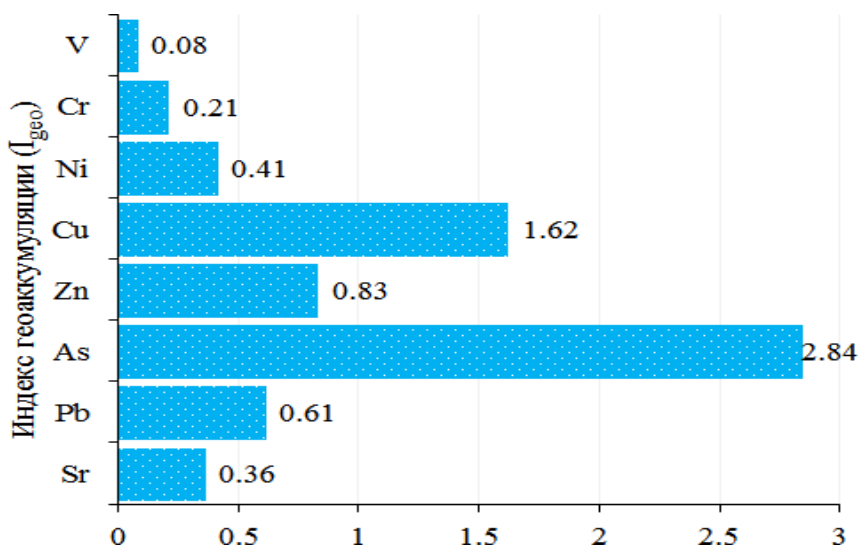
Как было отмечено выше для оценки степени аккумулированных тяжелых металлов и соответственно загрязненности почв широко применяется индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ), который в системе почва-растение характеризует также миграционную подвижность тяжелых металлов. Следует отметить, что высокие значения индекса аккумуляции свидетельствует о снижении миграционной подвижности металлов и перехода в растения.

Наряду с этим индекс геоаккумуляции позволяет оценить степень обогащения почвы тяжелыми металлами с концентрациями выше фоновых значений, и является бесценным инструментом по выявлению территорий подлежащее рекультивации

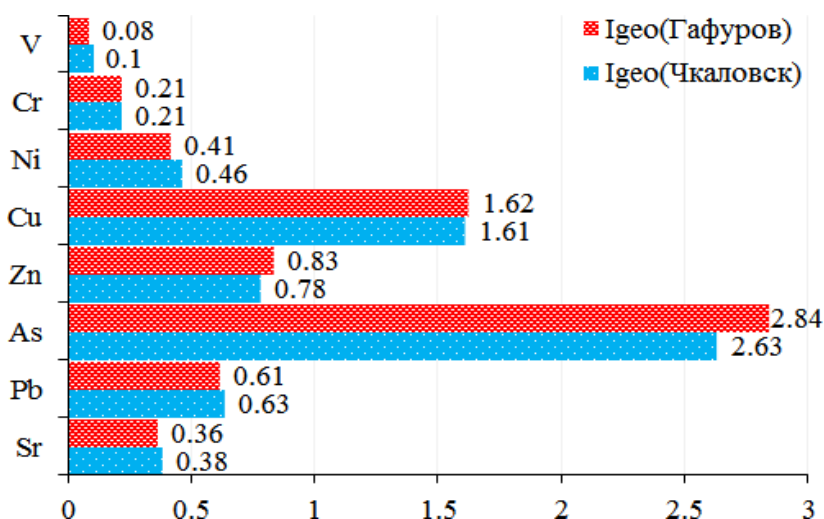
На рисунке 3.14 представлено значений индекса геоаккумуляции стронция, свинца, мышьяка, цинка, меди, никеля, хрома и ванадия в почве Гафуровского хвостохранилища и на рисунке 3.14 их значений в сравнение со значениями в хвостохранилище Чкаловск. Как следует из рисунка 3.14,

в почве Гафуровского хвостохранилища наиболее высокие значения индекса геоаккумуляции обладают мышьяк и медь и за ними следуют цинк и свинец. Как было показано выше, эти тяжелые металлы доминировали и по значениям единого индекса загрязнения.

Из рис.3.14 следует, что разница значений индексов геоаккумуляции стронция, свинца, мышьяка, цинка, меди, никеля, хрома и ванадия в почвах Гафуровского и Чкаловского являются незначительными.

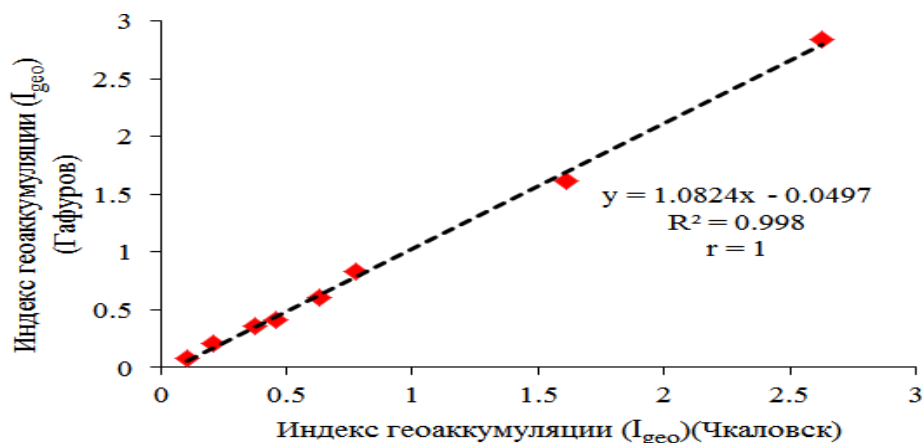


**Рисунок 3.14.** - Индекса геоаккумуляции стронция, свинца, мышьяка, цинка, меди, никеля, хрома и ванадия в почве Гафуровского хвостохранилища



**Рисунок 3.15.** – Сравнение индексов геоаккумуляции тяжелых металлов в Гафуровском и Чкаловском хвостохранилищах

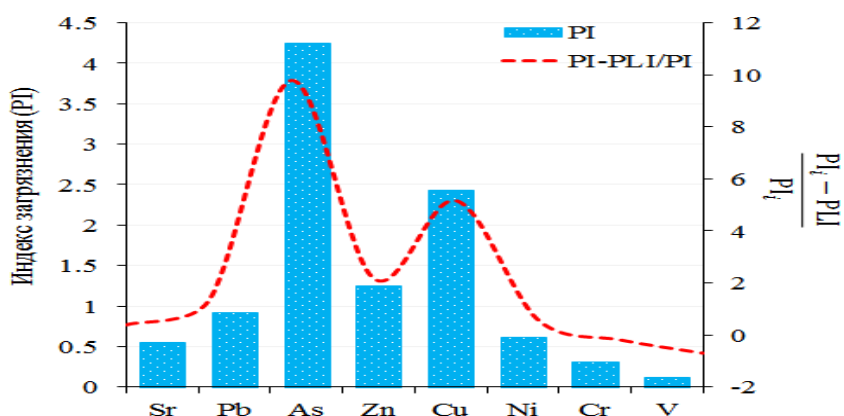
Значения индекса геоаккумуляции тяжелых металлов Гафуровского и Чкаловского хвостохранилищ, как видно из рисунка 3.16 тесно коррелируют между собой, что является подтверждением их близких значений.



**Рисунок 3.16.** – Корреляционная зависимость значений индексов геоаккумуляции тяжелых металлов хвостохранилищ Чкаловска и Гафурова

Ухудшение состояние почвы при аккумуляции тяжелых металлов оценивается коэффициентом загрязнения (PLI, Pollution Load Index) рассчитываемого выражением (3.4).

Расчеты, проведенные с использованием (3.4) показали, что коэффициент загрязнения почвы Гафуровского хвостохранилища составляет 0.394 и почти 2.4 раза выше, чем в Чкаловском хвостохранилище.



**Рисунок 3.17.** – Изменение единого индекса загрязнений в зависимости от значений коэффициента загрязнения

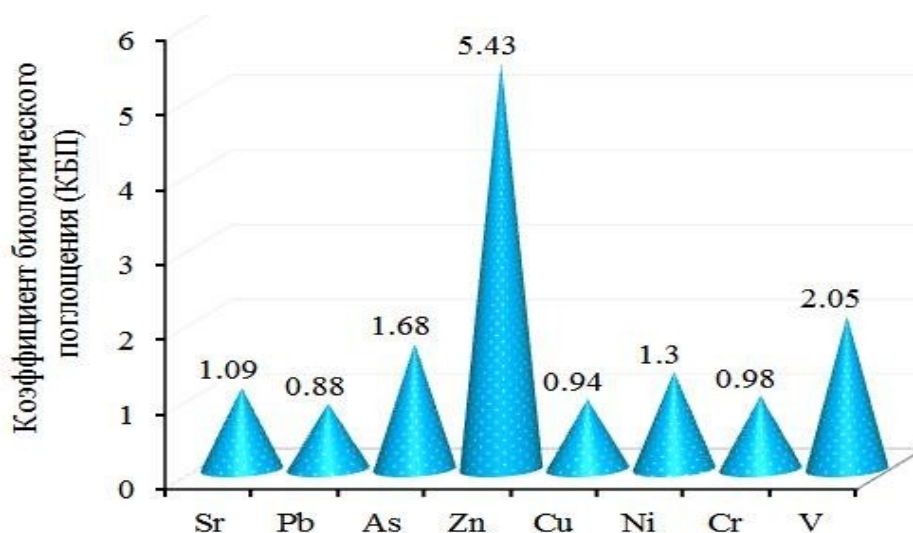
Эффективность перехода тяжелых металлов из почвы в растения оценивается специальным показателем, таким как коэффициентом биологического поглощения (КБП) и определяется как отношение содержания тяжелого металла в растении к его содержанию почвы вблизи корневой системы растения.

Среди класса тяжелых металлов в большинстве случаев более высокие значения коэффициента биологического поглощения характерны биогенным металлам цинка, меди и никеля. Данный показатель может меняться еще в зависимости от класса растений и агрохимических свойств почвы.

Из биогенных тяжелых металлов цинка, меди и никеля растением, зарастающий в Гафуровском хвостохранилище Верблюжье колючка (*Alhagi*) цинк характеризуется высоким значением коэффициента биологического поглощения. Следовательно, цинк больше накапливается в растении, а низкое значение коэффициента биологического поглощения меди и никеля вероятно связано с физиологическими свойствами растения и агрохимических свойств почвы корневой системы (рис.3.17).

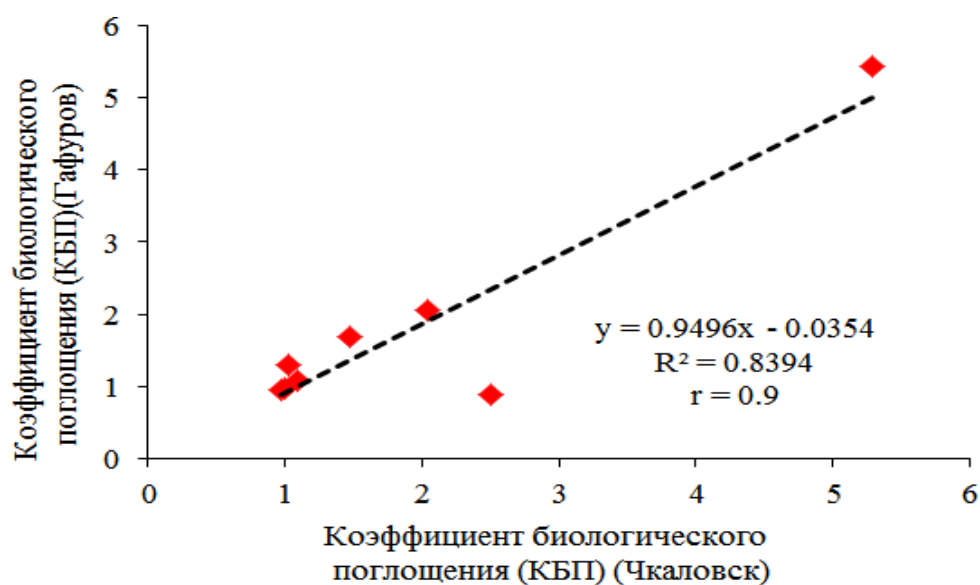
Аналогичная картина наблюдалась на Чкаловском хвостохранилище, когда цинк со значением коэффициента биологического поглощения равного 5.24 доминировала среди остальных тяжелых металлов почвы хвостохранилища.

Из рисунка 3.18 видно, что значение коэффициента биологического поглощения цинка Верблюжьей колючкой в хвостохранилище Гафуровском (5.43) мало отличается от соответствующего значения в Чкаловском хвостохранилище (5.24).



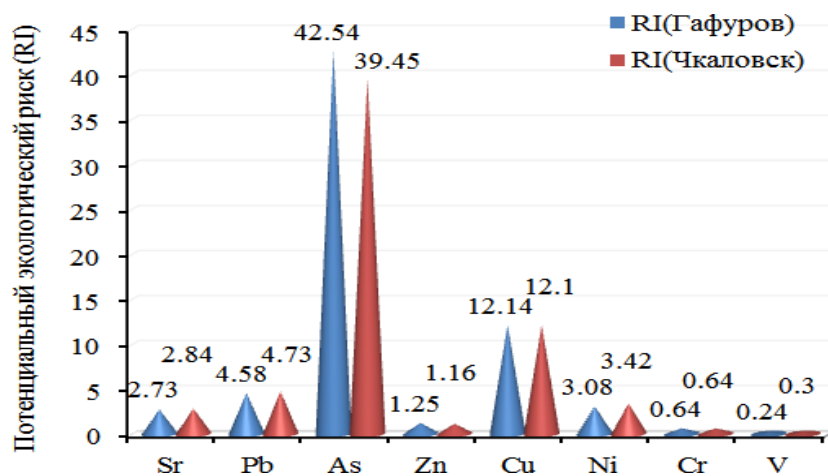
**Рисунок 3.18.** – Значение коэффициента биологического поглощения Верблюжьего колючка (Alhagi) из почвы Гафуровского хвостохранилища

Корреляционная зависимость значений коэффициентов биологического поглощения Гафуровского и Чкаловских хвостохранилищ указывают об их тесном взаимосвязи характеризуемой высоким коэффициентом корреляции равного 0.9 (рис. 3.19).



**Рисунок 3.19.** - Корреляционная зависимость значений коэффициентов биологического поглощения Гафуровского и Чкаловских хвостохранилищ

На рисунке 3.20 представлено значений потенциального риска хвостохранилищ Чкаловска и Гафуровского района.



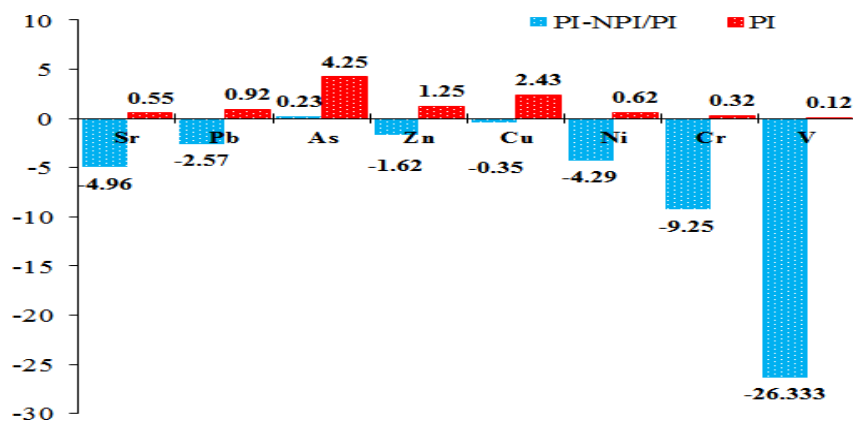
**Рисунок 3.20.** - Потенциальный риск почв Чкаловского и Гафуровского хвостохранилищ

Для оценки экологического риска, связанного присутствием тяжелых металлов в почве, используется индекс экологического риска (RI). Индекс экологического риска учитывающий степень токсичности тяжелых металлов и состоит из трех частей, так называемых степень загрязнения, фактор токсического воздействия и потенциальный фактор экологического риска.

Из рисунка 3.19 видно, что в хвостохранилищах Чкаловском и Гафуровском наиболее высокий потенциальный экологический риск представляют мышьяк медь.

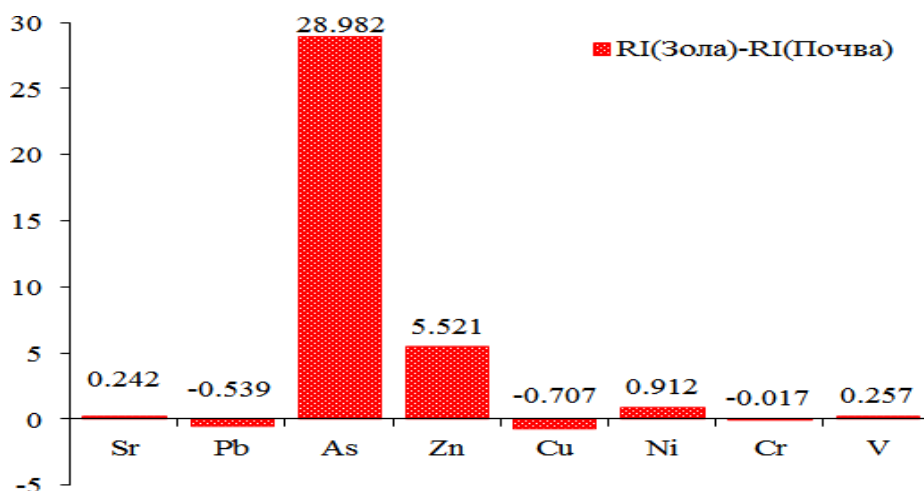
Для мониторинга состояния загрязненных территорий важным аспектом является оценка интегральной степени загрязнения почвы с учетом доли каждого тяжелого металла и в особенности угрозы металла загрязнителя с максимальной концентрацией в почве. Для реализации таких мероприятий разработан показатель, так называемый индекс загрязнения Немерова (NPI). С использованием формулы (3.9) рассчитывалось индекс загрязнения почв Гафуровского хвостохранилище равного 3.28.

На рисунке 3.21 представлена взаимная зависимость единого индекса загрязнения и индекс загрязнения Немерова (PINemerow).



**Рисунок 3.21.** – Взаимная зависимость единого индекса загрязнения и индекс загрязнения Немерова (PINemerow)

Выявление разницы содержания тяжелых металлов в золе растений и почвы хвостохранилища представляет информацию об избирательности и накопительной способности растения к определенным видам тяжелых металлов. На рисунке 3.22 приведены разностные значения потенциального экологического риска между золой растения (верблюжья колючка) и почвы по тяжелым металлам.



**Рисунок 3.22.** – Значения разности между потенциальными экологическими рисками тяжелых металлов золы растения (верблюжья колючка) и почвы

Как следует из рисунка 3.22 наиболее потенциальны экологическим риском в растения хвостохранилища представляют мышьяк и цинк.

## **ГЛАВА 4. МОНИТОРИНГ ЗАСУХИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНАХ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Длительное климатическое состояние характеризуемое пониженным количеством осадков в течение длительного периода приписывается к засухе, возникновение которых обусловлены высокой температурой, дефицитом влажности, неравномерным пространственным распределением атмосферных осадков и ряд другими климатическими факторами. Обостренное внимание климатологов и метеорологов к засухе как к одной из видов стихийных бедствий с обширными негативными последствиями обусловлено тем, что она оказывает наиболее осязаемое влияние на жизненно важные аспекты существования человечества как здоровье, сельское хозяйство, продовольственную безопасность, водоснабжение.

Возникновение метеорологической засухи генерирует сельскохозяйственных, гидрологических и социально – экономических засух благодаря интенсификации процессов испарения, нарастания потребности на воду и обострения проблемы продовольственной обеспеченности населения.

Физические процессы, связанные с дефицитом атмосферных осадков при метеорологической засухе, нехватки влаги в почве при сельскохозяйственной засухе и маловодье рек, и недостаточность уровня воды в озерах при гидрологической засухе входит в сферу концептуального определения засухи. Получение фактической информации и на их основе разработка систем раннего оповещения описываются операционным определением засухи. В зависимости от употребления термина “засуха” в различных отраслях экономики, в ее понятие вкладывается различные аспекты и масштабы наряду с применением различных климатических параметров для мониторинга засухи, которые приводят часто к двусмысленности при разработке стратегии по ослаблению и предотвращению последствий засухи. Установлено, что индексы засухи,

значений которых дают точные цифровые значения служат механизмом согласованности различных определений засухи.

Сельское хозяйство является одним из приоритетных отраслей экономики Согдийской области Республики Таджикистан. Это обусловлено, прежде всего богатым потенциалом земельных ресурсов и благоприятным климатическим условием. Например, для развития хлопководства и производства зерна, о чем свидетельствует функционирование более 140 и 240 хозяйств для производства хлопка-сырца и зерна соответственно. В структуре аграрного сектора Согдийской области хлопководство занимает 40%, производство зерна - 24%, коконы и табак - 8%, овощеводство - 7%, садоводство - 3%, животноводство - 11%, прочее -7%. Согдийской области производит более 29,6% продукции сельского хозяйства и занимает более 69,6% сельхозугодий страны [219].

Об опасности засухи в разрушении экологической устойчивости экосистемы свидетельствует нынешний тренд интенсивно проводимых научно - прикладных исследований по разработке способов резкого сокращения последствий засухи и сценариев и моделей по ее прогнозу. Это привело к разработке многочисленных критериев и индексов для оценки и мониторинга засухи. Благодаря простоте и удобности в использовании наиболее широко во всем мире используются стандартизированный индекс осадков (SPI) и стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI).

Для количественной оценки распределения многолетнего значения атмосферных осадков предложен стандартизированный индекс осадков. Предложенный индекс предназначен для выявления степени увлажнения и дефицита осадков по отношению к многолетним значениям принимая соответственно положительные и отрицательные значения. Недостатком стандартизированного индекса осадков (SPI) заключается в то, что не рассматривает температурного фактора при определении засухи. В аридных

и полуаридных климатических зонах и в засушливые годы возникает необходимость учета температурного режима местности [220,221]. Для устранения недостатков стандартизированного индекса осадков (SPI) был разработан стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI) рекогносцировочный индекс засухи (RDI), использующий данные двух ключевых метеорологических параметров как температуры, так и атмосферных осадков. Данный индекс отличается от других индексов универсальностью основанного на расчетах суммарного дефицита между испарением и атмосферными осадками и легкостью его связи с разными видами засухи, сопоставимостью с индексом аридности местности и самое главное возможности его использования в пределах большой географической области.

Рекогносцировочный индекс засухи (RDI) состоит из начального ( $a_0$ ), нормализованного ( $RDI_H$ ) и стандартизированных значений ( $RDI_{\text{стандарт}}$ ) которые рассчитываются следующими выражениями:

$$a_0 = \frac{\sum P_{ij}}{\sum PET_{ij}} \quad (4.1)$$

$$RDI_H = \frac{a_0^{(i)}}{a_0} \quad (4.2)$$

$$RDI_{\text{стандарт}} = \frac{y_k^i - \bar{y}_k}{\sigma_{y_k}} \quad (4.3)$$

где  $P_{ij}$  и  $PET_{ij}$  — количество осадков и потенциальная эвапотранспирация  $j$ -го месяца  $i$ -го года,  $\bar{a}_0$  — среднее арифметическое значений  $a_0$ ,  $y_i = \ln(a_0^i)$ ,  $\bar{y}_k$  - среднее арифметическое значений  $y_i$ ,  $\sigma$  - стандартное отклонение.

#### **4.1. Стандартизированный индекс осадков и испаряемости к мониторингу засухи в районе Джаббора Расулова Согдийской области**

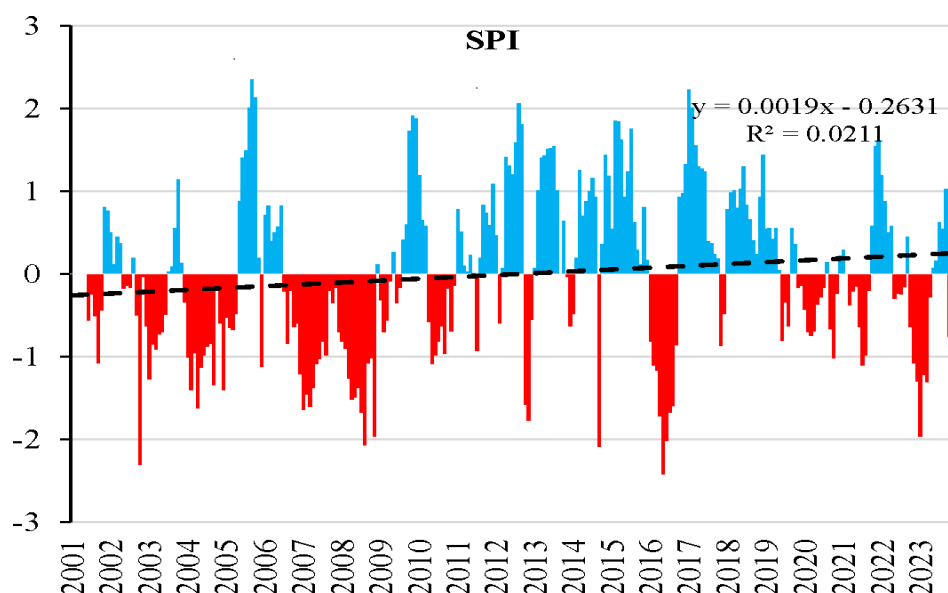
Район Дж. Расулова Согдийской области Республики Таджикистан является одним из важных районов Ферганской долины с площадью 328,5 км<sup>2</sup>. Район относится к экономически развитым территориям республики. Основным направлением сельскохозяйственной деятельности района

является выращивание хлопка, зерновых, овощей, бахчевых и садовых культур и шелководство.

Субтропический и засушливый климат района формирует мягкую зимнюю погоду со средней температурой от 3 до 5°C. Проявляются иногда годы с экстремальными погодными явлениями, когда температура ночью зимой достигает до – 20°C. Лето в Дж. Расуловском районе жаркое и засушливое со средней температурой в июле 31-33 °С. В среднем в году выпадает до 140 мм осадков, которые приходится в раннюю весну.

Следует отметить, что район Дж. Расулова имеет широкие возможности расширения посевных площадей за счет освоения залежных и предгорных земель. Дигмайское плато, например, с площадью около 5 000 га с частью на территории Б. Гафуровского района на котором последние годы восстанавливаются насосы, прокладка трубопроводов и реабилитация ирригационной системы.

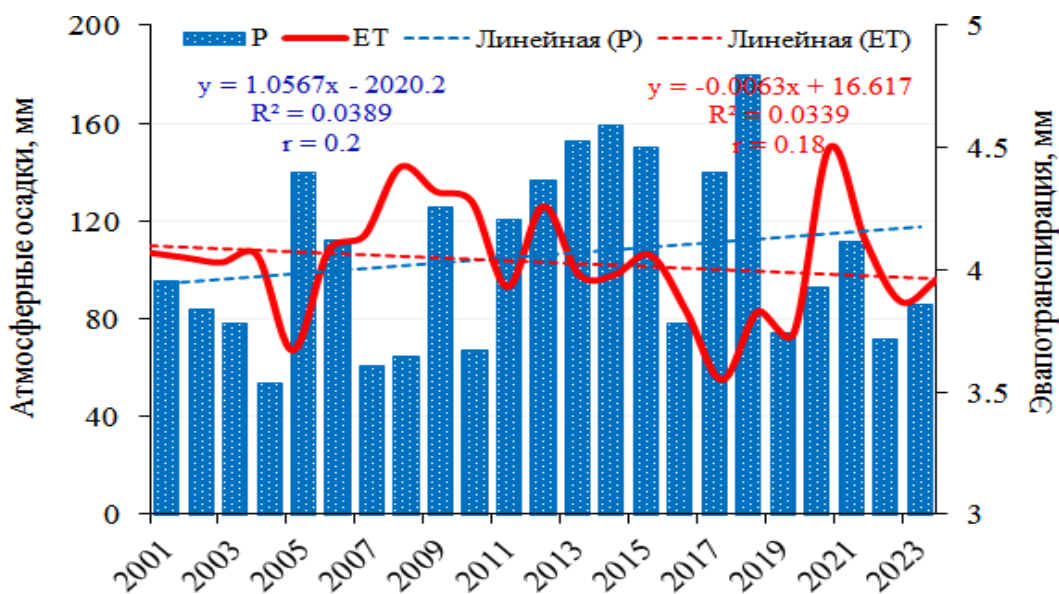
Графическое отображение изменения SPI и SPEI района Дж. Расулова за период 2001 – 2023 гг. представлены на рис. 4.1 и рис. 4.3 соответственно.



**Рисунок 4.1.**– Значение стандартизованного индекса осадков для района Дж. Расулова за период 2001-2023 гг

Красным цветом отображены отрицательные значения индексов, а положительные значения – синим цветом.

Из рисунка 4.1 следует, что SPI характеризуется возрастающим трендом, свидетельствующего о нарастания увлажнения территорий и уменьшения количество засухи. После 2014 года проявление экстремальной засухи в районе не обнаруживается.

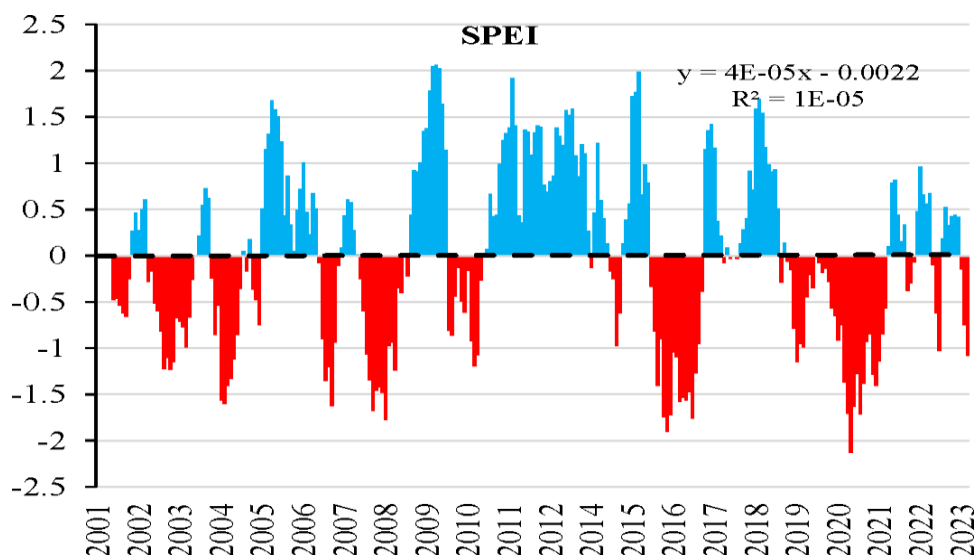


**Рисунок 4.2.** – Динамика изменения атмосферных осадков и эвапотранспирации в Дж. Расуловском районе за период 2001–2023 гг

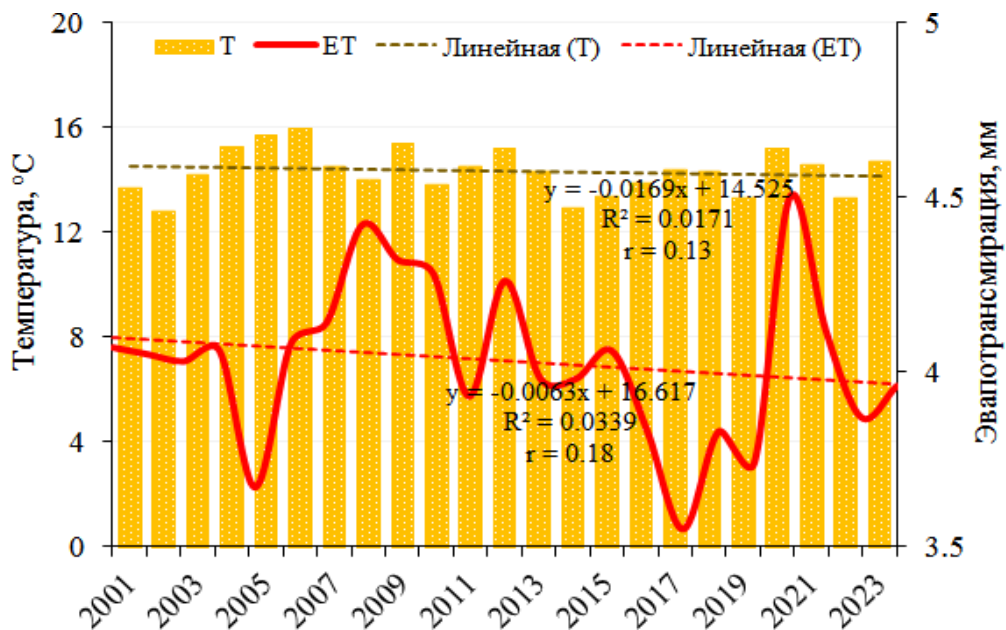
Динамика изменения атмосферных осадков в Дж. Расуловском районе за период 2001-2023 гг. как видно из рисунка 4.2, имеет нарастающий характер и этим связано увлажнения территорий района и соответственно уменьшающий тренд эвапотранспирации.

На рисунке 4.3 приведено графическое изображение стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI) Дж. Расуловского района за период 2001-2023 гг. Для объяснения тренда изменения SPEI воспользуемся рис.4.4, где представлена динамика изменения температуры и эвапотранспирации района за рассматриваемый период. Возрастающий тренд атмосферных осадков в районе Дж. Расулова

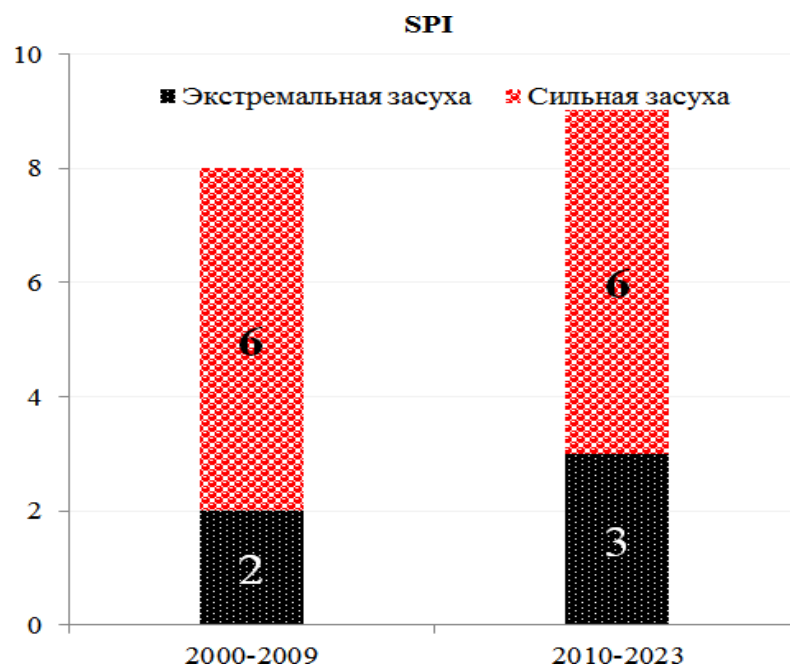
за период 2001-2023 гг. при почти постоянном значении температуры приводило к уменьшению эвапотранспирации (рис.4.4). Возникновение сильных и экстремальных засух наблюдаемых на рис. 4.3 связано, прежде всего, локальными годовыми значениями метеорологических условий



**Рисунок 4.3.**– Значение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для района Дж. Расулова за период 2001-2023 гг



**Рисунок 4.4.** – Динамика изменения температуры и эвапотранспирации в районе Дж. Расулова за период 2001–2023 гг



**Рисунок 4.5.** – Количество сильных и экстремальных засух в Дж. Расуловском районе за периоды 2000-2009 и 2010-2023 годов по SPI

Потенциальная эвапотранспирация (ПЭТ) считается прямым показателем относительной сухости и является исходным параметром для количественной оценки засухи рекогносцировочным индексом засушливости (RDI) и стандартизированным индексом осадков и эвапотранспирации.

Главными параметрами и закономерности их изменений, определяющие климат географических широт, являются температура, влажность, атмосферное давление, скорость ветра, атмосферные осадки осадков. Среди них температура и атмосферные осадки являются доминирующими факторами в установление климата местности и существование различия в трендах их изменений в разных географических широтах, позволяет получить целостную картину климата и динамику их изменения в любом регионе земного шара. Репрезентативность и как основное звено в гидрологическом цикле и расчете водного баланса эвапотранспирация часто заменяет

температуру.

Однако в вопросах управления водными ресурсами необходимо рассмотрения комбинации влияющих параметров, например, сочетание оптимальных значений атмосферных осадков и эвапотранспирации. Следовательно, для ответа на вопрос о степени водообеспеченности и возникновения засухи приходится провести параллельное исследование динамики изменения осадков и эвапотранспирации. В данном случае возникает разработки единого индекса учитывающий вклад этих параметров. Многочисленными исследованиями было установлено, что рекогносцировочный индекс засушливости (RDI) вполне подходит для корректной оценки засухи.

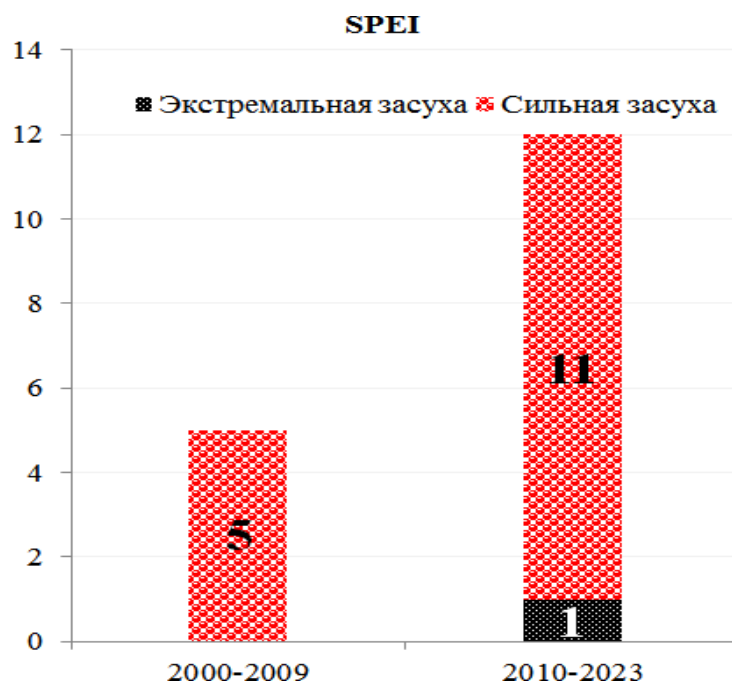
Рекогносцировочный индекс засушливости (RDI) принимает значений в зависимости от класса засухи: для умеренной, тяжелой, сильной и экстремальной засухи соответствуют значений рекогносцировочного индекса засушливости (-0,5 до -1,0), (-1,0 до -1,5), (-1,5 до -2,0) и ( $< -2,0$ ).

Начальное значение ( $\alpha_k$ ) индекса RDI является адекватным индексом для оценки климатических условий региона, поскольку оно основано как на осадках, так и на потенциальном испарении, причем последнее напрямую связано с температурой воздуха.

SPI и SPEI также имеют свои тренды изменения, которые могут различаться в зависимости от времени года и климатических условий. SPI может показывать убывающий характер, особенно в зимний период, когда температура и осадки имеют меньшее влияние на индекс. SPEI, в свою очередь, может показывать более стабильные тренды, особенно в период с апреля по сентябрь, когда температура и осадки имеют большее влияние.

В зависимости от метеорологических условий района Дж. Расулова за периоды 2000 – 2009 гг. и 2010 – 2023 гг количество сильных и экстремальных засух по значениям стандартизированного индекса осадков

(SPI) и стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI) различаются (рис. 4.5, рис.4.6).



**Рисунок 4.6.** - Количество сильных и экстремальных засух в

Дж. Расуловском районе за периоды 2000-2009 и 2010-2023 годов по SPEI

#### **4.2. Мониторинг метеорологической засухи в районе Б. Гафуров районе Согдийской области**

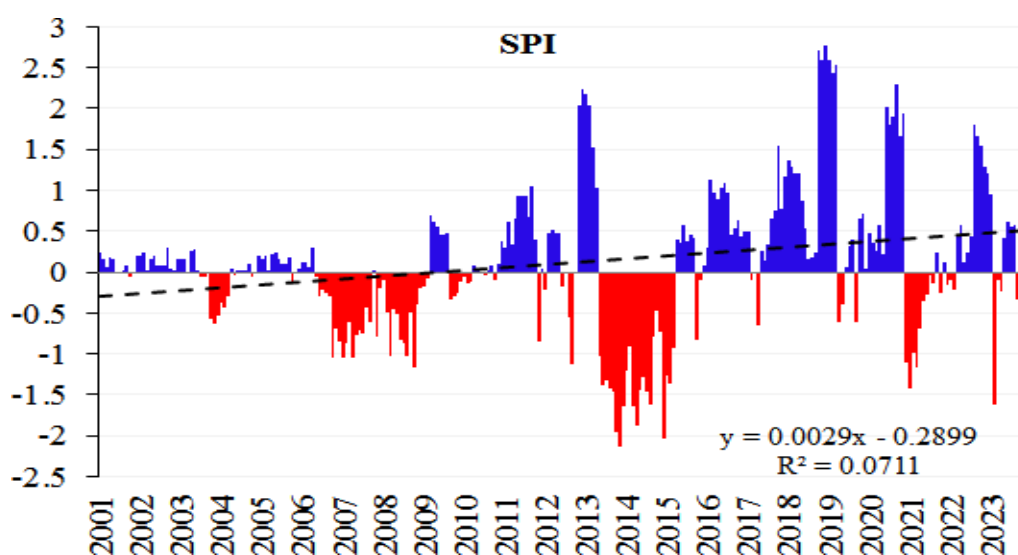
“Район Б. Гафурова расположен на севере Согдийской области с площадью 2651,7 км<sup>2</sup> и географически состоит из двух частей: южной и северной. Южная часть является густонаселенной простирающаяся на равнинной части с интенсивным земледелием для производства хлопка-сырца, овощей и бахчевых культур, фруктов. Северная часть района занимает отроги Кураминского хребта с меньшей плотностью населения, основной деятельностью которой является выращивание сельхозпродуктов, добыча полезных ископаемых. Площадь пахотных земель в Б. Гафуровском районе составляет 20 тыс. га” [222].

Район Б. Гафурова характеризуется субтропическим засушливым климатом. Зима в районе непродолжительная, средняя температура в январе варьируется от -2 до -5 °С. На территории района не образуется

достаточный слой снежного покрова и в отдельные годы вообще не формируется. Атмосферные осадки выпадают в основном ранней весной и со среднегодовым значением от 130 до 220 мм. Лето жаркое, засушливое, палящее солнце в полуденные часы накаляет воздух до +40°C, максимальные значения составляют +52,4°C [223].

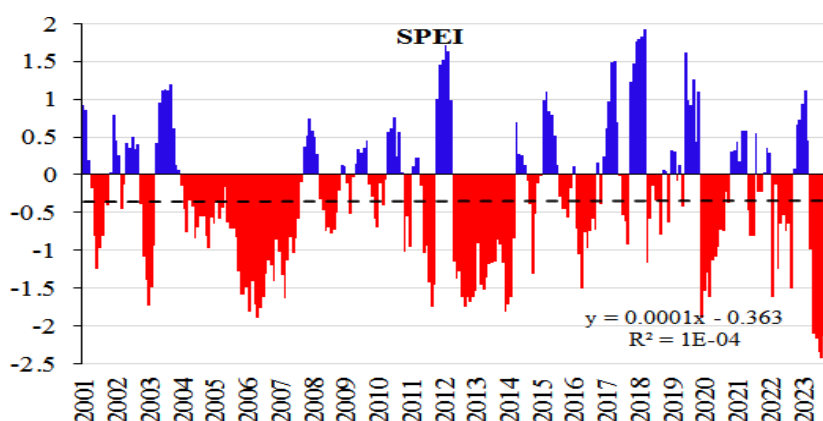
На рис. 4.7 т рис.4.8 соответственно представлен значений стандартизированных индексов осадков (SPI) и стандартизированных индексов осадков и эвапотранспирации (SPEI) для района Б. Гафурова.

Различия между SPEI-6 и SPI-6 обусловлены тем, что в отличие от SPI в SPEI наряду с осадками учитывается и температурный фактор. Эта разница характеризуется потенциальной эвапотранспирацией (ПЭТ), определяемой разницей между атмосферными осадками и испарением. Сходство между SPEI и SPI в зимний период обусловлено тем, что в этот период ПЭТ имеет тенденцию к наименьшему отношению к осадкам. Это приводит к функциональному приближению SPEI к SPI. По тем же принципам наибольшая разница наблюдается в период с апреля по сентябрь, когда ПЭТ наиболее высок по отношению к осадкам.

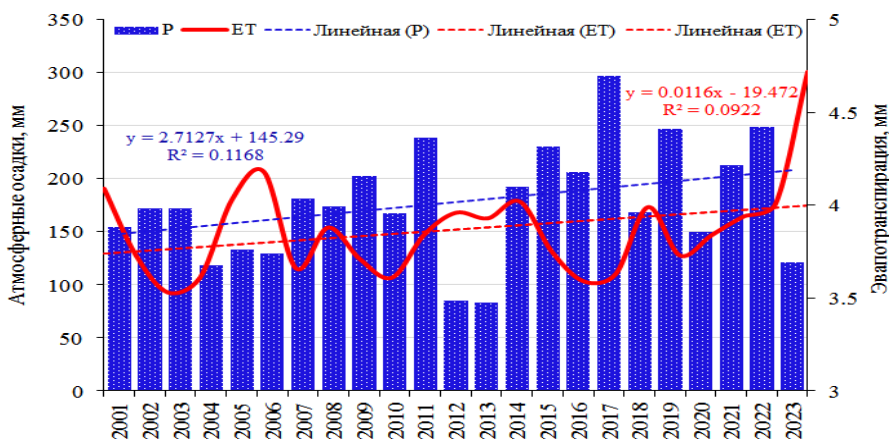


**Рисунок 4.7.**– Значение стандартизированного индекса осадков для района Б. Гафурова за период 2001-2023 гг

Стандартизированный индекс осадков учитывает только многолетнее распределение осадков. Количественная оценка дефицита осадков осуществляется относительно среднего многолетнего значения. Индекс принимает положительные и отрицательные значения. Положительные значения используют для характеристики влажных условий. Отрицательные значения направлены на описание засушливых погодных условий. В частности, если значение индекса менее  $-2$  ( $SPI \leq -2$ ), то его используют для характеристики экстремальной засухи.



**Рисунок 4.8.** - Значение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для района Б. Гафурова за период 2001-2023 гг. Увлажнения территорий района Б. Гафурова обусловлено нарастающим трендом атмосферных осадков за период 2001-2023 гг. (рис.4.9).

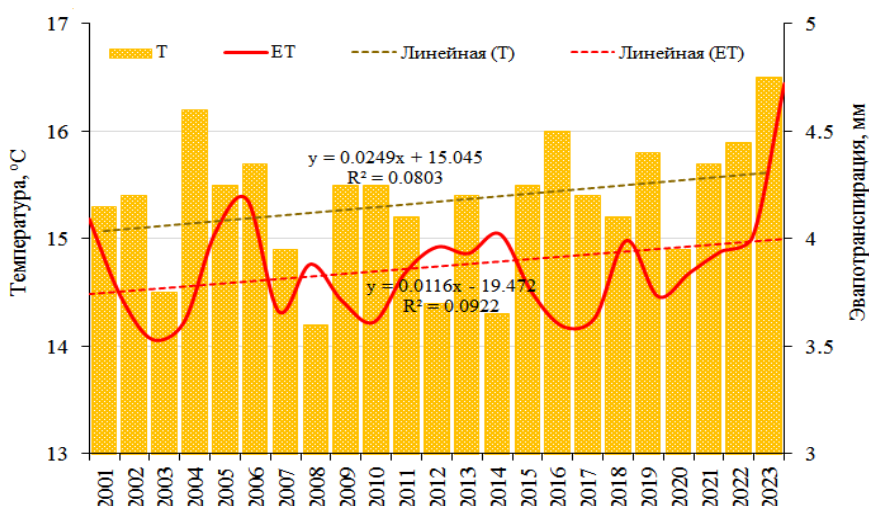


**Рисунок 4.9.** – Тренд осадков и эвапотранспирации Б. Гафуровского района за период 2001–2023 гг

На рис. 4.8 видно, что значение стандартизованного индекса осадков и эвапотранспирации для района Б. Гафурова за период 2001-2023 гг. характеризуется отрицательным значением ( $SPEI = -0.48$ ) характеризующий распространения в районе засухи со слабой интенсивностью.

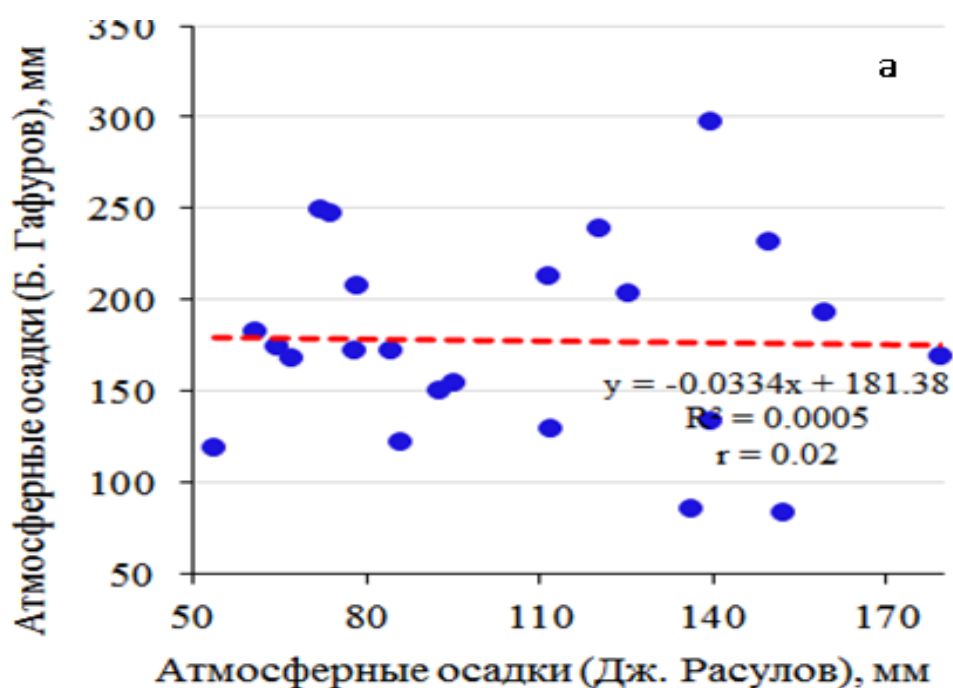
SPI и SPEI также имеют свои тренды изменения, которые могут различаться в зависимости от времени года и климатических условий. SPI может показывать убывающий характер, особенно в зимний период, когда температура и осадки имеют меньшее влияние на индекс. SPEI, в свою очередь, может показывать более стабильные тренды, особенно в период с апреля по сентябрь, когда температура и осадки имеют большее влияние.

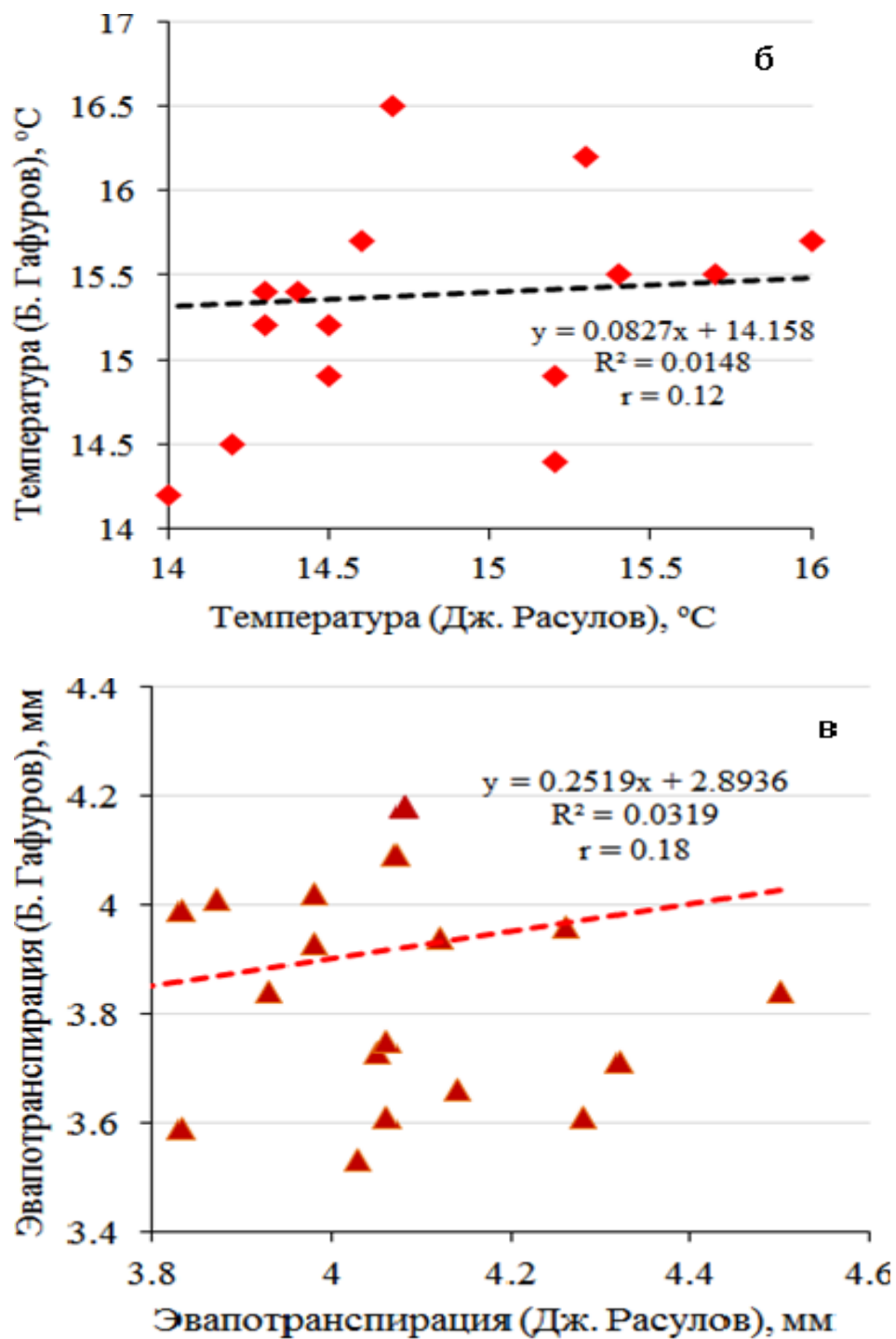
На рис. 4.10 показана динамика изменения среднегодовых значений эвапотранспирации и температуры в районе Б. Гафурова за период 2001-2023 гг. Как видно из рис.4.10 за рассмотренный период наблюдается синхронный возрастающий тренд как температуры, так и эвапотранспирации, которые отражается на соотношении атмосферных осадков к испарению и соответственно на значения потенциальной эвапотранспирации (ПЭТ). В свою очередь, от значений ПЭТ, как было указано выше, формируется значений стандартизованного индекса осадков и эвапотранспирации.



**Рисунок 4.10.** – Динамика изменения температуры и эвапотранспирации в районе Б. Гафурова за период 2001-2023 гг

Представляет значительный научный интерес картина распространения засухи в конкретной географической местности с определенными наборами климатических параметров, на приграничные районы. Учитывая доминирование метеорологических параметров в возникновение засухи, изучались корреляционные зависимости значений температур, атмосферных осадков и эвапотранспирации районов Дж. Расулова и Б. Гафурова, результаты которых приведены на рис. 4.11. Как следует из рис.4.11, а, б, в выпадение атмосферных осадков, температурный режим и значений эвапотранспирации двух районов почти не коррелируются между собой, показывающих об присущих им локальных метеорологических условий. Следовательно, полученные данные могут стать основанием на предположение, что засуха также характеризуется ограниченностью своего распространения, и возникновение ее является локальным.





**Рисунок 4.11.** - Корреляционные зависимости среднегодовых значений атмосферных осадков (а), температуры (б) и эвапотранспирации (в) районов Дж. Расулова и Б. Гафурова

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Река Сырдарья являющейся одной из двух великих водных артерий бассейна Аральского моря, имеет жизненно важно для жизнедеятельности и обеспечения питанием около 25 миллионов жителей бассейна, орошая более 3.4 млн. га земли.

Полученные результаты демонстрируют, что по химическому составу и значениям основных индексов пригодности вод для орошения река водные ресурсы реки Сырдарья могут использоваться в оросительных целях.

В большинстве случаев из-за неэффективности ирригационных систем и водохозяйственной инфраструктуры река Сырдарья загрязняется коллекторно-дренажными водами, сточными водами промышленных объектов и коммунально-бытового хозяйства.

Вызывает особую тревогу загрязнения реки Сырдарья радиоактивными, тяжелыми металлами и другими химическими компонентами хвостохранилищ с радиоактивными и тяжелыми металлами, которые расположены в бассейнах притоков реки на территории Республики Кыргызстан.

Было установлено, что концентрация растворенного кислорода на таджикской части реки Сырдарья варьируется от 4,06 до 6,58 мг/дм<sup>3</sup>, что свидетельствует о ненасыщенности речной воды кислородом, а средние концентрации основных катионов и анионов в воде р. Сырдарья располагаются в таком порядке:  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- >$

$\text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ .

Учитывая важность уровня рН воды для орошения сельскохозяйственных земель, ФАО установлено оптимальное значение рН для ирригационной воды в пределах 6,8–8,4. Было установлено, что таджикская часть реки Сырдарья характеризуется более высоким значением рН, но в пределах допустимого ФАО порога воды для орошения от 6,80 до 8,40. Полученные результаты демонстрируют, что по химическому составу и значениям основных индексов пригодности вод для орошения река водные ресурсы реки Сырдарья могут использоваться в оросительных целях.

Канал Ходжабакирган используется для орошения более 8000 га сельскохозяйственных земель Б. Гафуровского и Дж. Расуловских районов в Согдийской области. Следует отметить, что канал Ходжабакирган испытывает большую антропогенную нагрузку из-за размещения в водоохраной зоне канала твердо - бытовых и промышленных отходов. Проведением комплексных физико-химических анализов вод канала Ходжабакирган и определением содержания адсорбированных, растворимых и обменных долей катиона натрия установлено применимость канала для орошения сельскохозяйственных земель.

Преобладающей формой нахождения тяжелых металлов в водной среде является их соединения с неорганическими анионами и органическими соединениями, независимо от наличия трех форм их существования.

Миграционная подвижность тяжелых металлов определяется их состоянием в водной среде. Зависимость образования комплексных соединений тяжелых металлов с неорганическими и органическими лигандами от химического состава воды проявляется в том, что изменение их концентрации по течению реки не описываются определенной закономерностью. В участке реки Сырдарья между точками отбора проб Канибадам-ГЭС Кайраккум рН водной среды равно 7.57, что благоприятствует процессу гидролиза комплексов Zn с образованием  $[Zn(OH)]^+$ . С другой стороны, в отличие от исследуемых тяжелых металлов в среде с высокими значениями рН Zn находится в свободной форме. В отличие от цинка медь проявляет высокую склонность к адсорбции к различным взвешенным частицам. Наблюдаемое осаждение цинка и меди только в низовьях реки на участке Канибадам – ГЭС Кайраккум вероятно связано именно с увеличением гумуса и наличием различных взвешенных веществ как следствие антропогенного влияния и уменьшением значение скорости потока.

Высокая токсичность, особая склонность к влиянию на морфологию почв и физиологические процессы компонентов биосферы привлекает внимание ученых к тяжелым металлам.

Ныне для оценки степени влияния тяжелых металлов на компонентов биосферы разработаны ряд важных индексов для принятия мер по обеззараживанию заряженных территорий с последующим их

использования в аграрном секторе для выращивания сельскохозяйственных культур.

Исследований процессов миграции тяжелых металлов проводились на растение Мята азиатская (*Mentha asiatica*) — вид растений рода Мята (*Mentha*) семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) и Верблюжья колючка (*Alhagi*) зарастающие соответственно в почвах Чкаловского и Гафуровского хвостохранилищ.

Для оценки состояния загрязненных тяжелыми металлами почв и оценки степени риска в функционировании компонентов биосферы, а также для выявления степени перехода тяжелых металлов к растениям в работе использованы индивидуальный индекс загрязнения (PI), общий индекс загрязнения (PLI), показатель потенциального экологического риска (RI), индекс загрязнения Nemerow (NPI) и индекс геоаккумуляции (Igeo).

Следует отметить определение количественных значений выше перечисленных индексов важно в планирование мероприятий по обеззараживанию территорий с вовлечением их для производства сельскохозяйственных продукции.

Оценка возникновения засухи за период 2001- 2023 гг. в двух сельскохозяйственных районах Согдийской области – Дж. Расуловского и Б. Гафуровского рассматривались в сочетании с метеорологическими условиями районов. За рассмотренный период район Дж. Расулова характеризовалась возрастающим трендом атмосферных осадков и почти

постоянным значением среднегодовых значений температуры при убывающем значении эвапотранспирации. Это способствовало к возникновению незначительных количеств засухи. Несмотря на близкое расположение районов Дж. Расулова и Б. Гафурова, как показали корреляционные зависимости их метеорологических параметров, имеют совершенно разные агроклиматические условия. Это в конечном итоге отражалась на вероятности возникновения засухи в них.

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено необходимость проведения последовательного и систематического мониторинга метеорологических, гидрохимических, агрометеорологических и геоэкологических условий бассейна реки Сырдарья из-за наличия многочисленных антропогенных факторов приводящих к нарушению экологического равновесия бассейна реки.

## ВЫВОДЫ

1. Определением основных индексов пригодности воды для полива (доля адсорбированного, растворимого, обменного и процентного натрия и доли адсорбированного калия) установлено пригодность реки Сырдарья и канала Ходжабакирган для орошения сельскохозяйственных земель [3-А, 4-А, 8-А].

2. Обнаружено отсутствие определенной закономерности динамики изменения концентрации тяжелых металлов (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) вдоль русла реки Сырдарья. Установлено, что основными факторами определяющие процессы миграции и осаждения тяжелых металлов является кислотно-основные и окислительно-восстановительные условия водной среды [2-А, 5-А, 7-А, 9-А].

3. Установлено, что почва хвостохранилище Чкаловска (Бустон) по содержанию цинка (Zn) слабо загрязненной, по меди (Cu) средне загрязненной, а по тяжелым металлам Sr, Pb, Ni, Co, Cr, V соответствует незагрязненному классу почв. По значениям индекса геоаккумуляции тяжелых металлов V, Cr, Co, Ni, Zn, Pb и Sr относится к классу от слабого до средней, по меди (Cu) средней степени и по мышьяку (As) к классу от среднего до сильного загрязнения. Коэффициент загрязнения почвы Гафуровского хвостохранилища составляет 0.394 и почти 2.4 раза выше, чем в Чкаловском хвостохранилище [1-А, 6-А].

4. Использованием коэффициента биологического поглощения (БПК) для описания степени переноса тяжелых металлов (As, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V,

Zn) установлено, что As, Co, V и Zn аккумулируются, а Cu, Ni, Cr, Cu и Sr захватываются растениями [1-А, 6-А].

5. Установлено, что корреляционные зависимости метеорологических параметров районов Дж. Расулова и Б. Гафурова характеризуются низкими значениями коэффициентов корреляции, динамика эвапотранспирации в двух районов имеют противоположный характер изменения. Районы Дж. Расулова и Б. Гафурова относятся к разным климатическим зонам и возникновение засухи в них определяется местным климатическим условием [1-А, 6-А].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Результаты диссертации могут быть использованы для разработки стандартов по оценке экологического состояния прибрежных территорий рек и дифференцированный подход для оценки антропогенной нагрузки отдельных участков береговой части реки. Позволяют корректно установить баланс тяжелых металлов в реке Сырдарья и установить наименований и концентраций тяжелых металлов, поступающих водной артерией на территории Республики Таджикистан. Предложенные в работе основные механизмы переноса тяжелых металлов в растения могут лежать в основу разработки современного метода обеззараживания территорий хвостохранилищ от тяжелых и радиоактивных элементов. Представленные в диссертации результаты по мониторингу засухи могут быть использованы для создания банка многолетних данных возникновения засухи в каждом из районов Республики Таджикистан и тем самым

способствовать созданию сценариев по предупреждению возникновения засухи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Список используемых источников

1. Европейская экономическая комиссия ООН. Международный центр оценки вод. Обзор потенциальных источников загрязнения и определение рисков аварийного загрязнения в бассейне реки Сырдарья. 2023. С.87
2. ЕЭК ООН и РЭЦА. Исследование потребностей качества поверхностных вод в Центральной Азии – Алматы, 2018. С.100
3. Салибаева, З.Н. Распределение микроэлементов в водах основных рек Таджикистана/ З.Н. Салибаева // - Ж. Наука и новые технологии. - 2013. - №7. - С.35-42.
4. Таиров, А.З. Об изучении ионного стока реки Сырдарья в ее нижнем течении / А.З. Таиров // - Вопросы географии и геоэкологии. - 2015. - №1. - С.67-71.
5. Ma, L. Hydrochemical Characteristics and Water Quality Assessment for the Upper Reaches of Syr Darya River in Aral Sea Basin, Central Asia / L. Ma, J. Abuduwaili, Y. Li, S. A. Uulu, S. Mu // - Water. - 2019. - V.11. - P.1893-1909.
6. Schliemann, R. On the relationship between the Indian summer monsoon and river flow in the Aral Sea basin / R. Schliemann, M.G. Glazirina, C. Schär // - Geophys. Res. Lett. - 2007. - V.34. - P. L05706.

7. Abdullaev, I. Spatial and temporal variability of water productivity in the Syr Darya Basin, Central Asia / I. Abdullaev, D. Molden // -Water Resour. - Res. 2004. -V.40. - P. -W08S02.
8. Nezlin, N.P. Interannual variations of the discharge of Amu Darya and Syr Darya estimated from global atmospheric precipitation / N.P. Nezlin, A.G. Kostianoy, S.A. Lebedev // - J. Mar. Syst. - 2004. -V.47. - P.67–75.
9. Ismaiyllov, G.K. Assessment of possible anthropogenic changes in the runoff the Syr Darya River on the basis of a mathematical model / G.K. Ismaiyllov, V.M. Fedorov, S.D.S. Nezhad // -Water Resour. - 2007. - V.34. - P.359–371.
10. Brun, F. A spatially resolved estimate of High Mountain Asia glacier mass balances from 2000 to 2016 / F. Brun, E. Berthier, P. Wagnon, A. Käab, D. Treichler // - Nat. Geosci. 2017. - V.10. - P.668–673.
11. Kriegel, D. Changes in glacierisation, climate and runoff in the second half of the 20th century in the Naryn basin, Central Asia / D. Kriegel, C. Mayer, W. Hagg, S. Vorogushyn, D. Duethmann, A. Gafurov, D. Farinotti // - Glob. Planet. - Chang. - 2013. - V.110. -P.51–61.
12. Sorg, A. Coping with changing water resources: The case of the Syr Darya river basin in Central Asia / A. Sorg, B. Mosello, G. Shalpykova, A. Allan, M. Hill Clarvis, M. Stoffel // - Environ. Sci. Policy. - 2014. - V.43. - P.68–77.
13. Siegfried, T. Estimating the performance of international regulatory regimes: Methodology and empirical application to international water

- management in the Naryn / Syr Darya basin / T. Siegfried, T. Bernauer // -  
Water Resour. Res. - 2007. - V.43. - P.W11406.
14. Indoitu, R. Dust emission and environmental changes in the dried bottom  
of the Aral Sea / R. Indoitu, G. Kozhoridze, M. Batyrbaeva, I. Vitkovskaya,  
N. Orlovsky, D. Blumberg, L. Orlovsky // - Aeolian Res. - 2015. -V.17. -  
P.101–115.
15. Ge, Y. Potential transport pathways of dust emanating from the playa of  
Ebinur Lake, Xinjiang, in arid northwest China / Y. Ge, J. Abuduwaili, L.  
Ma, N. Wu, D. Liu // - Atmos. Res. - 2016.- V.178. - P.196–206.
16. Gibbs R.J. Mechanisms controlling world water chemistry / R.J. Gibbs // -  
Science. - 1970. -.170.- P.1088–1090.
17. Anderson, M.H. Mechanisms Controlling World Water Chemistry:  
Evaporation-Crystallization Process / M.H. Anderson, J.R. Ensher, M.R.  
Matthews, C.E. Wieman, E.A. Cornell // - Science. - 1971. - V.172. -  
P.870–872.
18. Martinez, J.L. Assessment of groundwater–surface water interaction using  
long-term hydrochemical data and isotope hydrology: Headwaters of the  
Condamine River, Southeast Queensland, Australia / J.L. Martinez, M.  
Raiber, M.E. Cox // - Sci. Total Environ. - 2015. - V. 536. - P.499–516.
19. Pant, R.R. Spatiotemporal variations of hydrogeochemistry and its  
controlling factors in the Gandaki River Basin, Central Himalaya Nepal /  
R.R. Pant, F. Zhang, F.U. Rehman, G. Wang, M. Ye, C. Zeng, H. Tang // -  
Sci. Total Environ. -2018. -V.622–623. -P.770 –782.

20. Hill, A.F. Hydrologic Controls and Water Vulnerabilities in the Naryn River Basin, Kyrgyzstan: A Socio-Hydro Case Study of Water Stressors in Central Asia / A.F. Hill, C.K. Minbaeva, A.M. Wilson, R. Satylkanov // - Water. - 2017. - V. 9. - P.325 – 342.
21. Kadyrzhanov, K.K. Radionuclide contamination in the Syrdarya river basin of Kazakhstan—Results of the Navruz Project. / K.K. Kadyrzhanov, D.S. Barber, V.P. Solodukhin, V.L. Poznyak, I.V. Kazachevskiy, B.B. Knyazev, S.N. Lukashenko, S. Khazhekber, J.D. Betsill, H.D. Passell // - J. Radioanal. Nucl. Chem. - 2005. - V.263. - P.197–205.
22. Alvarado, J.C. Radioactive and chemical contamination of the water resources in the former uranium mining and milling sites of Mailuu Suu / J.C. Alvarado, B. Balsiger, S. Röllin, A. Jakob, M. Burger // - J. Environ. Radioact. - 2014. - V.138. - P.1–10.
23. FAO. The Aral Sea Transboundary river Basin. 2012. Available online: [www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/aral-sea/aral.sea-CP\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/aral-sea/aral.sea-CP_eng.pdf) (accessed on 6 January 2019).
24. Gao, Z. Hydrochemistry and controlling mechanism of lakes in permafrost regions along the Qinghai-Tibet Engineering Corridor, China / Z. Gao, Z. Lin, F. Niu, J. Luo, M. Liu, G. Yin // - Geomorphology. - 2017. - V.297. - P.159–169.
25. Wegerich, K. Water Security in the Syr Darya Basin / K. Wegerich, D. Van Rooijen, I. Soliev, N. Mukhamedova // -Water. 2015. - V.7. - P.4657–4684.

26. Nikanorova, A. Optimal Future for the Irrigation Agriculture Under Climate Change in the Fergana Valley, Central Asia / A. Nikanorova, N. Dronin // - Res. Artic. - 2017. - V.3. - P.555607.
27. Bichsel C. Conflict Transformation in Central Asia: Irrigation Disputes in the Fergana Valley / C. Bichsel // - Routledge: London, UK. - 2009. - V.14. – 56p.
28. Gu, X. Hydrogeochemical Characterization and Quality Assessment of Groundwater in a Long-Term Reclaimed Water Irrigation Area, North China Plain / X. Gu, Y. Xiao, S. Yin, Q. Hao, H. Liu, Z. Hao, G. Meng, Q. Pei, H. Yan // - Water 2018. - V.10. - P.1209 –1311.
29. Zhang, W. Hydrochemical characteristics and irrigation suitability of surface water in the Syr Darya River, Kazakhstan / W. Zhang, L. Ma, J. Abuduwaili, Y. Ge, G. Issanova, G. Saparov // - Environ. Monit. Assess. - 2019. - V.191. - P.572-589
30. Han, G. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China / G. Han, C.Q. Liu // - Chemical Geology. - 2004. - V.204 (1-2). - P.1–21.
31. Sadashivaiah, C.R.R., Hydrochemical Analysis and Evaluation of Groundwater Quality in Tumkur Taluk, Karnataka State, India / C.R.R. Sadashivaiah, G. Ranganna // - International Journal of Environmental Research & Public Health. - 2008. - V.5 (3). - P.158–164.
32. Dinka, M. O. Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of

- Oromiya region / M.O. Dinka, W. Loiskandl, J.M. Ndambuki // -Journal of Hydrology: Regional Studies. - 2015. - V. 3. - P. 444–456.
33. Isidoro, D. River water quality and irrigated agriculture in the Ebro basin: an overview / D. Isidoro, R. Aragüés / - International Journal of Water Resources Development. - 2007. - V. 23(1). - P.91–106.
34. Bekbaev, R. K. Water resources management on irrigated lands of the lower reaches of the Syr Darya // Ecological sustainability and advanced approaches to water resources management in the Aral Sea basin / R.K. Bekbaev, G.V. Kazykenova // Central Asian International Scientific and Practical Conference. 2003. Almaty. - P.141. (in Rus).
35. Kenjebayeva, S. S. Hydro-geological conditions of the territory of the lower Syrdarya River flow due to the irrigation of agriculture lands / S.S. Kenjebayeva // - Res. Publica.2015. -V.3. - P.52–62 (in Rus).
36. Amirgaliyev, N. Long-Term Dynamics of Persistent Organic Pollutants in Water Bodies of the Aral Sea–Syrdarya Basin / N. Amirgaliyev, C. Opp, M. Askarova, L. Ismukhanova, A. Madibekov, A. Zhadi // -Appl. Sci. -2023. - V.13. -P.11453-11476.
37. Omarov, K.A. Impact of Anthropogenic Pressures on Water Quality in the Syrdarya Lower Reaches and Ways to Improve it / K.A. Omarov // - Ph.D. Thesis, Institute of Economics CS MES RK Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan. - 2001. - P.27 (In Rus).

38. Kipshakbayev, N.K. Water Resources in the Aral Sea Basin—Formation, Distribution, Water Use / N.K. Kipshakbayev, V.I. Sokolov // Water Resources of Central Asia. Tashkent, Uzbekistan. - 2002. - P.64–73.
39. Пачаджанов, Д.Н. Гидрохимия поверхностных вод Таджикистана. Часть 1. Реки и водохранилища / Д.Н. Пачаджанов, Д.Л. Патица // - Душанбе. -НПИЦентра. -1999. С.35-39.
40. Муртазаев, Х. Радиационно-экологические особенности природных сред Северного Таджикистана / Х. Муртазаев //- Нури маърифат. - 2011. - С.65-66.
41. Prakash, S. Arsenic: its Toxicity and Impact on Human health / S. Prakash, A.K. Verma // - International Journal of Biological Innovations, - IJBI. 2021. - V.3 (1). - P.38-47.
42. Sankhla, M.S. P. Heavy Metals Contamination in Water and their Hazardous Effect on Human Health-A Review / M.S. Sankhla, M. Kumari, M. Nandan, R. Kumar, P. Agrawal // - Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. - 2016.- V. 5(10). - P.759-766.
43. Khanna-Chopra, R. Heavy Metal Toxicity to Plants: From Molecular to Ecosystem Responses / R. Khanna-Chopra // - Springer. - 2013.- P.49-70.
44. Sall, M.L. Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review / M.L. Sall, A.K.D. Diaw, D. Gningue-Sall, A.S. Efremova, J.J. Aaron //- Environmental Science and Pollution Research. - 2020. - V.27. - P.29927-29942.

45. Gao, Yu. Pollution and health risk assessment of heavy metals in soils of Guizhou, China / Yu Gao, F. Chen, H. Zhang, Z. Wang // *Ecosystem Health and Sustainability*. -2021. -V.7 (1). - P.1859948.
46. Leong, Y.K. Bioremediation of Heavy Metals Using Microalgae: Recent Advances and Mechanisms / Y.K. Leong, J. S. Chang // - *Bio resource Technology*. - 2020. - V.303. - P.122886.
47. Jin, Y. Assessment of Sources of Heavy Metals in Soil and Dust at Children's Playgrounds in Beijing Using GIS and Multivariate Statistical Analysis / Y. Jin, D. O'Connor, Y.S. Ok, D.C. Tsang, A. Liu, D. Hou // - *Environment International*. - 2019. - V.124. - P.320–328.
48. Jamal, A. Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soil Surrounding a Lead and Zinc Smelting Plant in Zanjan / A. Jamal, M. A. Delavar, A. Naderi, N. Nourieh, B. Medi, A. H. Mahvi // - *Intern. J. Human and Ecological Risk Assessment*. - 2019. - V.25 (4). - P.1018–1033.
49. Baltas, H. A. Case Study on Pollution and A Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Agricultural Soils around Sinop Province, Turkey / H. Baltas, M. Sirin, E. Gökbayrak, A. E. Ozcelik // - *Chemosphere*. - 2020. -V.241. - P.125015.
50. James, A. Heavy Metals Pollution Status of the Katima Mulilo Urban Open Land Wastewater Disposal Centre and the Immediate Vicinity / A. James, M. Percy, O. S. Ameh, C. Buggy // - *Cogent Environmental Science*. -2020. -V.6 (1). - P.1726093.

51. Harry, G. M. Mercury Levels in Human Population from a Mining District in Western Colombia / G.M. Harry, S. B. Sujitha, M. P. Jonathan, S. K. Sarkar, M.M. Fairy, A.M. Helcias, M.M. Gladis, A.M. Laura // -Journal of Environmental Sciences - 2018. - V.68 (6). - P.83–90.
52. Yin, D. L. Effects of Soil Properties on Production and Bioaccumulation of Methylmercury in Rice Paddies at a Mercury Mining area, China / D.L. Yin, T.R. He, R.S. Yin, L.X. Zeng // - Journal of Environmental Sciences. - 2018. -V.68 (6). - P.194–205.
53. Anna, E. Metal Accumulation in Eggs of the Red-eared Slider (*Trachemys Scripta Elegans*) in the Lower Illinois River / E. Anna, J. Tryfonas, K. Tucker, E. Paul, K. A. Brunkow, H.S. Johnson, Z. Hussein, M. Lin. //- Chemosphere. - 2006. - V.63 (1). - P.48- 61.
54. Fan, J. Thirty-year Manuring and Fertilization Effects on Heavy Metals in Black Soil and Soil Aggregates in Northeastern China / J. Fan, W. Ding, N. Ziadi // - Communications in Soil Science and Plant Analysis. - 2013. - V.44 (7). - P.1224–1241.
55. Rodrigues, S.M. Risk Assessment for Cd, Cu, Pb and Zn in Urban Soils: Chemical Availability as the Central Concept / S.M. Rodrigues, N. Cruz, C. Coelho, B. Henriques, L. Carvalho, A.C. Duarte, P.F. Römkens //- Environmental Pollution. -2013. - V.183. - P.234–242.
56. Sodango, T. H. Review of the Spatial Distribution, Source and Extent of Heavy Metal Pollution of Soil in China: Impacts and Mitigation

- Approaches / T.H. Sodango, X. Li, J. Sha, Z. Bao // - Journal of Health and Pollution. 2018. - V.221-222(17). - P.53–70.
57. Mishra, S., Heavy Metal Contamination: An Alarming Threat to Environment and Human Health / S. Mishra, R.N. Bharagava, N. More, A. Yadav, S. Zainith, S. Mani, P. Chowdhary // - Environmental Biotechnology for sustainable future. - 2019. - V.23. - P.103–125.
58. He, Y. Evaluation and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Sediments of Hongfeng Reservoir in Guizhou Province, China / Y. He, Q. H. Li, L. Tang, L. M. Wang, Y. Xin, R.X. Liu, F.L. Meng, H.J. Zhang // - Chinese Journal of Ecology. - 2019. - V.38 (3). - P.799–809.
59. Zhao, H. Risk Assessment of Metals in Road- deposited Sediment along an Urban–rural Gradient / H. Zhao, X. Li // - Environmental Pollution. - 2013. -V.174. - P.297–304.
60. Sollitto, D. Assessing Heavy Metal Contamination in Soils of the Zagreb Region (Northwest Croatia) Using Multivariate Geostatistics / D. Sollitto, M. Romic, C. Annamaria, D. Romic, H. Bakic // -Catena. -2010. -V.80. - P.182–194.
61. Mico, C. Assessing Heavy Metal Sources in Agricultural Soils of European Mediterranean Area by Multivariate Analysis / C. Mico, L. Recataka, M. Peris, J. Sánchez // - Chemosphere. - 2006. -V.65. - P.863–872.
62. Yakovets, L. Migration of heavy metals in the soil profile / L. Yakovets // - Norwegian Journal of development of the International Science. -2021. -No 54. - P.8–12.

63. Minkina, T.M. Interaction of heavy metals with organic matter of ordinary chernozem / T.M. Minkina, G.V. Motuzova, O.G. Nazarenko // - Soil science. -2006. -№ 7. -P.804–811.
64. Nikitina, M.V. Ecological and chemical assessment of HM pollution of the main urban landscapes of Arkhangelsk / M.V. Nikitina // - diss.... cand. Chem. Sciences: -03.02.08. -Arkhangelsk. -2011. -174p.-(Rus).
65. Yakovets, L. Agroecological assessment of the state of food photographs of the forest-steppe of the right-bank, depending on the intensity of chemicalization of agriculture / L. Yakovets // -Polish Journal of Science. - 2020. -V.1 (27). -P.9–16.
66. Mazur, V.A. Environmental safety of grain and leguminous products / V.A. Mazur, A.P. Tkachuk, L. Yakovets // -Vinnitsa. -2020. -P.442.
67. Mazur, V.A. Grain storage period as a factor in increasing its environmental safety. Natural resource and energy potentials: directions of conservation, restoration and rational use / V.A. Mazur, O.P. Tkachuk // - Poltava. -2019. -P.172–179.
68. Yakovets, L. Changes in heavy metals content in winter wheat grain and flour under right-bank forest steppe conditions. Agriculture and forestry: collection of articles sciences works / L. Yakovets // -Vinnitsa. -2019. -No 15. - P.214–221.
69. Tkachuk, O.P. The main Environmental Problems in Vinnitsa Region in 2015 / O.P. Tkachuk, O.O. Chernetska // -International youth agricultural

- forum: collection thesis, 12–13 October, -2016. -Vinnitsa: -VNAU, 2016. - P.29–30.
70. Zhovinsky, E.Ya. Geochemistry of heavy metals in soils / E.Ya. Zhovinsky, I.V. Kuraeva // -Kiev: -Naukova Dumka- 2002.- P.214.
71. Laço, A. Transfer factor of metals in soil-plant system / A. Laço, I. Radulov, A. Berbecea, K. Laço, F. F. Crista // -Research Journal of Agricultural - Science. -2012. -V.44 (3). -P.67-72.
72. Aldag, R. Transfer behavior of organic pollutants from sewage sludge into higher plants in field experiments. Urban waste water treatment in the EU: State of play of the implementation of Directive -91/271/EEC. -1991.
73. WHO. Health guideline for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Report of WHO science group, world health organization. Tech Rep Sci 778:10. Geneva, Switzerland. 1998.
74. Jarup, L. Hazards of heavy metal contamination / L. Jarup // -Br. Med. Bull. -2003. -V.68. -P.167–82.
75. Wilson, B. Heavy metal dispersion, persistence and bioaccumulation around an ancient copper mine situated Anglesey, UK / B. Wilson, F.B. Pyatt // -Ecotoxicology. Environ. Safety. -2007. -V.66. -P.224–231.
76. Lokeshappa, B. Assessment of toxic metals in agricultural product / B. Lokeshappa, K. Shivpuri, V. Tripath, A.K. Dikshit // -Food Pub. Heat. - 2012. -V.2 (1). -P.24–29.

77. Jolly, Y.N. Transfer of metals from soil to vegetables and possible health risk assessment / Y.N. Jolly, A. Islam, Sh. Akbar // -Springer Plus -2013.- V.2.- P.385 -393.
78. Barceló, J. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review / J. Barceló, C.H. Poschenrieder // -J. Plant Nutr. -1990. -V.13.- P. 1–37.
79. Сукиасян, А.Р. Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в системе «почва – растение» по индексу геоаккумуляции и коэффициенту транспирации *Zea mays* L / А.Р. Сукиасян // - Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. -2019. - V. 27. - No. 1. - С.39–50.
80. Титов, А.Ф. Тяжелые металлы и растения / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова // -Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, - 2014. -С.194.
81. Seaward, M.R.D. The use of lichens for environmental impact assessment / M.R.D. Seaward. // - Symbiosis. - 2004. - V.37. - P.293–305.
82. Wong, S.C. Min Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China / S.C. Wong, X.D. Li, G. Zhang, S.H. Qi, Y.S. Min // - Environ Pollution. - 2002. - V.119. - P.33–44.
83. Vwioko, D.E. Metal concentration in plant tissues of *Ricinus communis* L. (Castor oil) grown in soil contaminated with spent lubricating soil / D.E. Vwioko, G.O. Nliefo, S.D. Fashemi // J. Applied Environ. Manage. 2006. V.10. P.127–134.

84. Титов, А.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина, Г.Ф. Лайдинен / - под ред. Н.Н. Немова. Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. - 2007. - С.172.
85. Rucinska-Sobkowiak, R. Water relations in plants subjected to heavy metal stresses /R. Rucinska-Sobkowiak // -Acta Physiol Plant. -2016. -V.38. - P.257–269.
86. Казнина, Н.М. Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам / -Н.М. Казнина: дисс. ... д-ра биол. наук. СПб. -2016. -358с.
87. Титов А.Ф. Таланова В.В., Казнина Н.М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина / Учебное пособие // -Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. - 2011.- P.77.
88. Sukiasyan, A.R. Antioxidant capacity of maize corn under drought stress from the different zones of growing/ A.R. Sukiasyan // - International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. - 2016. -V.10. - No.8. - P.413–416.
89. Gorshenina, E. Monitoring of the Migratory Ability of Heavy Metals in the Soil-Plant System / E. Gorshenina, A. Baitelova, N. Rakhimova, L. Bykova, E. Savchenkova // - Biointerface Research in Applied Chemistry. -2021. - V.11 (3). - P.10351-10357.

90. Andráš, P. The interaction of heavy metals and metalloids in the soil-plant system in the São Domingos mining area (Iberian Pyrite Belt, Portugal) / P. Andráš, J.X. Matos, I. Turisová, M.J. Batista, R. Kaanska, S. Kharbish // - Environ Sci Pollut Res Int. -2018. -V.25. - P.20615-20630.
91. ВОЗ. Защита здоровья человека посредством восстановления загрязненных участков. Краткий документ по планированию /-ВОЗ. - 2021. -С.24.
92. Petukhov, A. Heavy Metal Migration in Soil-Plant System in Conditions of Urban Environmental Pollution / A. Petukhov, T. Kremleva, N. Khritokhin, G. Petukhova // -Air, Soil and Water Research. -2025. -V.16. -P.1–14.
93. Nagajyoti, P.C. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review / P.C. Nagajyoti, K.D. Lee, T.V.M. Sreekanth // -Environmental Chemistry Letters. -2010. -V.8. -P.199–216.
94. DalCorso, G. An overview of heavy metal challenge in plants: From roots to shoots / G. DalCorso, A. Manara, A. Furini // -Metallomics. -2013. -V.5. -P.1117–1132.
95. Ghori, N.H. Heavy metal stress and responses in plants / N.H. Ghori, T. Ghori, M.Q. Hayat, S.R. Imadi, A. Gul, V. Altay, M. Ozturk // - International Journal of Environmental Science and Technology. -2019. - V.16. -P.1807–1828.
96. Andresen, E. Trace metal metabolism in plants / E. Andresen, E. Peiter, H. Kupper // -Journal of Experimental Botany. -2018. -V.69 (5). -P.909–954.

97. Edelstein, M. Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops / M. Edelstein, M. Ben-Hur // - *Scientia Horticulturae*. -2018. -V.234. -P.431–444.
98. Rhiyazuddin, R. Comprehensive review on the heavy metals toxicity and sequestration in plants / R. Rhiyazuddin, N. Nisha, B. Ejaz, M.I.R. Khan, M. Kumar, P.W. Ramteke, R. Gupta // - *Biomolecules*. -2022. -V.12 (1). - P.43–52.
99. Bharti, K. R. Sharma R. Effect of heavy metals: An overview / K.R. Bharti, R. Sharma // -*Materials Today: Proceedings*. - 2022. -V.3. - P.134-139.
100. Kupper, H.E. Mechanisms of metal toxicity in plants / H. Kupper, E. Andresen // - *Metallomics*. - 2016. - V.8. - P.269–285.
101. Rai, P.K. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms and management / P.K. Rai, S.S. Lee, M. Zhang, Y.F. Tsang, K. Kim // - *Environment International*. -2019. -V.125. - P. 365–385.
102. Demkova, L. Accumulation and environmental risk assessment of heavy metals in soil and plants of four different ecosystems in a former polymetallic ores mining and smelter area / L. Demkova, J. Arvay, L. Bobulska, J. Tomáš, R. Stanovič, T. Lošák, L. Harangozo, A. Vollmannová, J. Bystrická, J. Musilová, J. Jobbágy // -*Journal of Environmental Science and Health*. -2017. -V.52 (5). -P.479–490.
103. Dong, R. Risk assessment and sources identification of soil heavy metals in a typical county of Chongqing Municipality, Southwest China / R.

- Dong, Z. Jia, S. Li // - Process Safety and Environmental Protection. -2018. -V.113. -P.275–281.
104. Galal, T.M. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution / T. Galal, H.S. Shehata // - Ecological indicators. -2015. -V.48. - P.244–251.
105. Gupta, N. Evaluating heavy metals contamination in soil and vegetables in the region of North India: Levels, transfer and potential human health risk analysis / N. Gupta, K.K. Yadav, V. Kumar, S. Krishnan, S. Kumar, Z.D. Nejad, M.A. Majeed Khan, J. Alam // - Environmental Toxicology and Pharmacology. - 2021. - V.82. - P.103563.
106. Kim, H.S. Influence of road proximity on the concentrations of heavy metals in Korean urban agricultural soils and crops / H.S. Kim, K.R. Kim, W.I. Kim, G. Owens, K.H. Kim // - Archives of Environmental Contamination and Toxicology. - 2016. - V.72. -P.260–268.
107. Noli, F. Concentration of heavy metals and trace elements in soils, waters and vegetables and assessment of health risk in the vicinity of a lignite-fired power plant / F. Noli, P. Tsamos // - Science of the Total Environment. - 2016. - V.563. - P.377–385.
108. Rutigliano, F. A. Human health risk from consumption of two common crops grown in polluted soils / F.A. Rutigliano, R. Marzaioli, S.D. Crescenzo, M. Trifuoggi // -Science of the Total Environment. - 2019. V.691. - P.195–204.

109. Shaheen, N. Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh / N. Shaheen, N.M. Irfan, I.N. Khan, S. Islam, M.S. Islam, M.K. Ahmed // - *Chemosphere*. - 2016. - V.152. - P.431–438.
110. Sulaiman, F.R. Heavy metals accumulation in suburban roadside plants of a tropical area (Jengka, Malaysia) / F.R. Sulaiman, H.A. Hamzah // *Ecological Processes*. - 2018. - V.7. - P.28–38.
111. Swiercz, A. Accumulation of heavy metals in the urban soils of the city Skarzysko-Kamienna (Poland) with regard to land use / A. Swiercz, E. Zajacka // - *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. - 2018. - V. 13(1). - P.249–266.
112. Varol, M. Pollution status, potential sources and health risk assessment of arsenic and trace metals in agricultural soils: A case study in Malatya province, Turkey / M. Varol, K. Gunduz, M.R. Sunbul // - *Environmental Research*. - 2021. - V.202. - P.111806.
113. Wang, M. Accumulation of heavy metals in roadside soil in urban area and the related impacting factors / M. Wang, H. Zhang // - *International Journal of Environmental Research and Public Health*. -2018. -V.15 (6). - P.1064.
114. Wu, J. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau / J. Wu, J. Lu, L. Li, X. Min, Y. Luo // - *Chemosphere*. - 2018. - V.201. - P.234–242.

115. Budovich, L.S. Effects of heavy metals in soil and plants on ecosystems and the economy / L.S. Budovich // -Caspian Journal of Environmental Sciences. - 2021. - V.19 (5). - P.991-997
116. Qayyum, S.A. Review on remediation technologies for heavy metals contaminated soil / S. Qayyum, I. Khan, K. Meng, Y. Zhao, C. Peng //- Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation. - 2020. - No.1. - P.21-29.
117. Zhan, S. A mini-review on functional nucleic acids-based heavy metal ion detection / S. Zhan, Y. Wu, L. Wang, X. Zhan, P. Zhou //- Biosensors & Bioelectronics. - 2016. - V.86. - P.353-368.
118. Lemtiri, A. Earthworms Essential fetid affects the uptake of heavy metals by plants *Vicia faba* and *Zea mays* in metal-contaminated soils / A. Lemtiri, T. Liénard, Y. Alabi, D. Brostaux, F. Cluzeau, G.C. Francis //- Applied Soil Ecology. - 2015. -No.3. - P.65-72.
119. Khan, A. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: A review / - A. Khan, S. Khan, M.A. Khan, Z. Qamar, M. Waqas //- Environ. Sci. Pollut. Res. Int. - 2015. - V.22. - P.13772–13799.
120. Jordão, C.P. Heavy Metal Availability in Soil Amended with Composted Urban Solid Wastes / C.P. Jordão, C.C. Nascentes, P.R. Cecon, R.L.F. Fontes, J.L. Pereira // - Environ. Monit. Assess. - 2006. - V.112. -P.309–326.

121. Petukhov, A. Biochemical Responses of Medicinal Plant *Tussilago farfara* L. to Elevated Heavy Metal Concentrations in Soils of Urban Areas / A. Petukhov, T. Kremleva, G. Petukhova, N. Khritokhin // - *Toxics*. - 2021.- V.9. - P.171-181.
122. Lovynska, V. Heavy metal accumulation by *Acer platanoides* and *Robinia pseudoacacia* in an industrial city (Northern Steppe of Ukraine) / V. Lovynska, K. Holoborodko, I. Ivanko, S. Sytnyk, O. Zhukov, I. Loza, O. Wiche, H. Heilmeyer // - *Biosyst. Divers.* - 2023. - V. 31. - P.246–253.
123. Biswas, T. Heavy metal accumulation efficiency, growth and centelloside production in the medicinal herb *Centella asiatica* (L.) urban under different soil concentrations of cadmium and lead / T. Biswas, O. Parveen, V.P. Pandey, A. Mathur, U.N. Dwivedi // -*Ind. Crops Prod.* -2020. -V. 157. -P. 112948.
124. Nelson, D.M. Heavy Metal Accumulation in Urban Soil: A Phytoextraction Method Review / D.M. Nelson // - Master's Thesis, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA, - 2020. - P.36
125. Zhang, J. Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland soils: A case study in the Pearl River Delta, South China / J. Zhang, H. Li, Y. Zhou, L. Dou, L. Cai, L. Mo, J. You // - *Environ. Pollut.* - 2018.- 235. - P.710–719.
126. Cao, L. Feasibility analysis of waste humus soil for Urban Greening / L. Cao, J. Wu // - *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* - 2020. -V.546. - P.032054.

127. Li, C. Foliar dust as a reliable environmental monitor of heavy metal pollution in comparison to plant leaves and soil in urban areas / C. Li, D. Du, Y. Gan, S. Ji, L. Wang, M. Chang, J. Liu // - Chemosphere. -2022.- V.287. -P.132341.
128. Hu. W. Heavy metals in intensive greenhouse vegetable production systems along Yellow Sea of China: Levels, transfer and health risk / W. Hu, B. Huang, K. Tian, P.E. Holm, Y. Zhang // - Chemosphere. -2017. - V.167. -P.82–90.
129. Chen, Z. Transfer of heavy metals in fruits and vegetables grown in greenhouse cultivation systems and their health risks in Northwest China / Z. Chen, I. Muhammad, Y. Zhang, W. Hu, Q. Lu, W. Wang, B. Huang, M. Hao // -Sci. Total Environ. - 2021. - V.766. - P.142663.
130. Ren, Q. Soil Properties, Heavy Metal Accumulation, and Ecological Risk in Vegetable Greenhouses of Different Planting Years / Q. Ren, S. Ru, K. Zheng, Y.D. Liu, X.L. Ruan, Y.Y. Wang // - Huan Jing Ke Xue Huanjing Kexue. - 2022. - V.43. - P.995–1003.
131. Serbula, S.M. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil / S.M. Serbula, D.D. Miljkovic, R.M. Kovacevic, A.A. Ilic // - Ecotoxicology. Environ. Safe. - 2012. - V.76. - P.209–214.
132. Su, C. Sources and health risks of heavy metals in soils and vegetables from intensive human intervention areas in South China / C. Su, J. Wang, Z. Chen, J. Meng, G. Yin, Y. Zhou, T. Wang // - Sci. Total Environ. - 2023. - V.857 (1) - P.159389.

133. Al-Khashman, O.A. Assessment of Heavy Metal Accumulation in Urban Soil around Potash Industrial Site in the East of the Dead Sea and their Environmental Risks / O.A. Al-Khashman // - Soil. Sediment. Contam. Int. J. -2012. - V.21.-P.276–290.
134. Ullah, H. Health Risk Assessment and Multivariate Statistical Analysis of Heavy Metals in Vegetables of Khyber Pakhtunkhwa Region, Pakistan / H. Ullah, M. Khaliq, N. Ullah, A. Iqbal, I. Ullah //- Biol. Trace Elem. Res. - 2022. -V.200. - P.3023–3038.
135. Chen, J.P. Correlation and safety evaluation of crop heavy metal content in Shaanxi Guanzhong selenium-enriched areas / J.P. Chen, Z.D. Chao, R. Ren, T. Luo, X. Chao, Z.M. Zhang, X.X. Qiao // - Northwestern Geol. - 2021. -V.54. - P.273–281.
136. Petukhov, A. Heavy Metal Migration in Soil-Plant System in Conditions of Urban Environmental Pollution. / A. Petukhov, T. Kremleva, N. Khritokin, G. Petukhova // - Air Soil Water Res. - 2023. -V.16. - P.11786221231184202.
137. Yang, P. Multivariate-statistical assessment of heavy metals for agricultural soils in northern China / P. Yang, M. Yang, R. Mao, H. Shao //- Sci. World - J. 2014. - V.2014.- P.517020.
138. Sun, Q. Amended compost alleviated the stress of heavy metals to pakchoi plants and affected the distribution of heavy metals in soil-plant system / Q. Sun, Y. Zhang, C. Ming, J. Wang, Y. Zhang // - J. Environ. Manag. - 2023. - V.336. - P.117674.

139. Kazantzoglou, A. Interaction of heavy metals in the soil-plant system of urban gardens in Athens, Greece / A. Kazantzoglou, A. Argyraki, S. Papageorgiou, D. Fadel // - Bull. Geol. Soc. Greece - 2017. -V.50. - P.2182.
140. Chen, X. Study on Factors Influencing the Migration of Heavy Metals from Soil to Vegetables in a Heavy Industry City / X. Chen, Y. Ren, C. Li, Y. Shang, R. Ji, D. Yao, Y. He // - Sustainability. - 2024. - V.16. - P.11084-1099.
141. Malandrino, M. Mentasti Accumulation of heavy metals from contaminated soil to plants and evaluation of soil remediation by vermiculite / M. Malandrino, O. Abollino, S. Buoso, A. Giacomino, C. La Gioia, E. Mentasti // - Chemosphere. - 2011. - V.82. - P.169–178.
142. Dahmani-Muller, H. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter / H. Dahmani-Muller, F. van Oort, B. Gélie, M. Balabane / - Environ. Pollut. - 2000. - V.109. - P.231–238.
143. Alghobar, M.A. Evaluation of metal accumulation in soil and tomatoes irrigated with sewage water from Mysore city, Karnataka, India / M.A. Alghobar, S. Suresha // - J. Saudi Soc. Agric. Sci. - 2017. - V.16.- P.49–59.
144. Stasinos S., Zabetakis I. The uptake of nickel and chromium from irrigation water by potatoes, carrots and onions / S. Stasinos, I. Zabetakis // - Ecotoxicology. Environ. Safe. - 2013. - V.91. - P.12–128.
145. Stasinos, S. The Bioaccumulation and Physiological Effects of Heavy Metals in Carrots, Onions, and Potatoes and Dietary Implications for Cr and

- Ni: A Review / S. Stasinou, C. Nasopoulou, C. Tsirikaki, I. Zabetakis // - J. Food Sci. - 2014. - V.79. - P.765–780.
146. Kumar, V. Accumulation of heavy metals in vegetables grown in wastewater irrigated soil in Haridwar (Uttarakhand), India / V. Kumar, A.K. Chopra, S. Srivastava, R.K. Chauhan // - Agric. Sci. Res. J. - 2015.- V.5.- P.146–152.
147. Kumar, V. Health Risk Assessment of Heavy Metals via Dietary Intake of Vegetables Grown in Wastewater Irrigated Areas of Jagjeetpur, Haridwar India / V. Kumar, R.K. Thakur // - Arch. Agric. Environ. Sci. -2018. -V.3. - P.73–80.
148. Tom, M. Heavy Metal Contamination of Vegetables Irrigated by Urban Storm water: A Matter of Time? / M. Tom, T.D. Fletcher, D.T. McCarthy // - PLoS ONE. - 2014. - V.9. - P.e112441.
149. Bose, S. Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge / S. Bose, A. Bhattacharyya // - Chemosphere. – 2008.- V.70. - P.1264–1272.
150. Yoon, J. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site / J. Yoon, X. Cao, Q. Zhou, L.Q. Ma // - Sci. Total Environ. - 2006. - V.368. - P.456–464.
151. Rodríguez-Bocanegra, J. Assessment of heavy metal tolerance in two plant species growing in experimental disturbed polluted urban soil / J. Rodríguez-Bocanegra, N. Roca, A. Febrero, J. Bort // - J. Soils Sediments. - 2018. - V.18. - P.2305–2317.

152. Gebrekidan, A. Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfel river near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia / A. Gebrekidan, Y. Weldegebriel, A. Hadera, B. Van Der Bruggen // - *Ecotoxicology. Environ. Safe.* - 2013. - V.95 - P.171–178.
153. Paradelo, R. Heavy Metal Uptake of Lettuce and Ryegrass from Urban Waste Composts / R. Paradelo, A. Villada, M.T. Barral // - *Int. J. Environ. Res. Public Health*/ - 2020. - V.17.- P.2887.
154. Qureshi, A.S. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater / A.S. Qureshi, M.I. Hussain, S. Ismail, Q.M. Khan // - *Chemosphere.* - 2016. - V.163. - P.54–61.
155. Silapanuntakul, S. Uptake of copper and zinc in lettuce (*Lactuca sativa* L.) planted in sida soil and lignite bottom ash mixtures / S. Silapanuntakul, P. Intrarasaksit, P. Vatanasomboon, K. Tantrakarnapa // - *Naresuan Univ. J. Sci. Techol.* - 2017. - V.25. - P.31–42.
156. McKenna, I.M. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach / I.M. McKenna, R.L. Chaney, F.M. Williams // - *Environ. Pollut.* - 1993. - V.79. - P.113–120.
157. Wolf, M. Copper Zinc Bioaccumulation and the Effect of Phytotoxicity on the Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Non-contaminated, Metal-Contaminated and Swine Manure-Enriched Soils / M. Wolf, D. Baretta,

- V.A. Becegato, V.D.C. Almeida, A.T. Paulino // - *Water Air Soil Pollut.* - 2017. - V.228. - P.152.
158. Eissa, M.A. Heavy metals uptake and translocation by lettuce and spinach grown on a metal-contaminated soil / M.A. Eissa, O.E. Negim // - *J. Soil Sci. Plant Nutr.* - 2018. - V.18. - P.1097–1107.
159. Gharbi, F. Plant Response to Copper Toxicity as Affected by Plant Species and Soil Type / F. Gharbi, S. Rejeb, M.H. Ghorbal, J. Morel //- *J. Plant Nutr.* - 2005. -V.28 - P.379–392.
160. Chopra, A.K. Bioaccumulation and Translocation Efficiency of Heavy Metals in Vegetables Grown on Long-Term Wastewater Irrigated Soil Near Bindal River / A.K. Chopra, C. Pathak // - *Dehradun. Agric. Res.* - 2012.- V.1. -P.157–164.
161. Wan, Y. Heavy Metals in Agricultural Soils: Sources, Influencing Factors, and Remediation Strategies / Y. Wan, J. Liu, Z. Zhuang, Q. Wang, H. Li //- *Toxic.* - 2024. - V.12. - P.3–13.
162. Tiecher, T.L. Effects of zinc addition to a copper-contaminated vineyard soil on sorption of Zn by soil and plant physiological responses / T.L. Tiecher, C.A. Ceretta, T. Tiecher, P.A. Ferreira, F.T. Nicoloso, H.H. Soriani, L.V. Rossato, T. Mimmo, S. Cesco, C.R. Lourenzi // - *Ecotox. Environ. Safe.* - 2016. - V.129. - P.109-119.
163. Rai, P.K. Heave metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management/ P.K. Rai, S.S. Lee, M. Zhang, Y. F. Tsang, K.H. Kim//- *Environ. Int.* - 2019. - V.125. - P.365-385.

164. Zhao, F.J. Arsenic and cadmium accumulation in rice and mitigation strategies/ F.J. Zhao, P. Wang // - Plant Soil. - 2020. - V.446. - P.1-21
165. Honma, T. Optimal soil Eh, pH, and water management for simultaneously minimizing arsenic and cadmium concentrations in rice grains / T. Honma, H Ohba, K. Kaneko-Kadokura, H. Katou // - Environ. Sci. Technol. - 2016. - V. 50. - P.4178-4185.
166. Lahori, A.H. Potential use of lime combined with additives on (im) mobilization and phytoavailability of heavy metals from Pb / Zn smelter contaminated soils / A.H. Lahori, Z. Zhang, Z. Guo, A. Mahar, R. Li, Y. Ma, Z. Yangt // - Ecotoxicol. Environ. Safety. - 2017. - V.145. - P.313-323
167. Yamaguchi, N. Arsenic release from flooded paddy soils is influenced by speciation, Eh, pH, and iron dissolution / N. Yamaguchi, T. Nacamura, D. Dong, Y. Takahashi, S. Amachi, T. Makino // - Chemosphere. -2018. - V.83.- P.925-932.
168. Wang, J. Iron- manganese (oxyhydro) oxides, rather than oxidation of sulfides, determine mobilization of cd during soil drainage in paddy soil systems / J. Wang, P. Wang, Y. Gu, P.M. Kopittke, F.J. Zhao //-Environ. Sci. Technol. - 2019. - V.53. - P.2500-2508.
169. Huang, H. Free radicals produced from the oxidation of ferrous sulfides promote the remobilization of cadmium in paddy soils during drainage / H. Huang, X. Ji, L. Cheng, F. Zhao, P. Wang // - Environ Sci. Technol. -2021.- V.55. -P.9845-9853.

170. Takahashy, Y. Arsenic behavior in paddy fields during the cycle of flooded and nob-flooded periods / Y. Takahashy, R. Minamikawa, K. H. Hattori, K. Kurishima, N. Kihoun, K. Yuita // - Environment Sci. Technol.- 2004. - V.38. - P. 1038-1044.
171. Li, R.Y. Mitigation of arsenic accumulation in rice with water management and silicon fertilization// R.Y. Li, J.L Stroud, J.F. Ma, S.P. McGrath, F.J. Zhao// - Environ. Sci. Technol. - 2009. - V. 43. - P.3778-3783.
172. Stroud, J.L. Assessing the labile arsenic pool in contaminated paddy soils by isotopic dilution techniques and simple extractions // J.L. Stroud, M.A. Khan, G.J. Norton, M.R. Islam, T. Dasgupta, Y. Zhu // - Environ. Sci. Technol. - 2011. - V. 45. - P. 4262-4269.
173. Lado, L.R. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database / L.R. Lado, T. Hengl, H.I. Reuter //- Geoderma. - 2008. - V. 148. -P. 189-199.
174. Hu, Y., Cheng H., Tao S. The challenges and solutions for cadmium contaminated rise in China: A critical review / Y. Hu, H. Cheng, S. Tao//Environ. Int. 2016. V.92. P.515-532.
175. Bunluesin S. Influences of cadmium and zinc interaction and humic acid on metal accumulation in *Ceratophyllum demersum* / S. Bunluesin, P. Pokethitiyook, G.R. Lanza, J.F. Tyson, M. Kruatrachue, B.S. Xing, S. Upatham // - Water Air Soil Pollut. - 2007. - V.180. -P.225-235.

176. Haghghi, M. Effect of humic acid application on cadmium accumulation by Lettuce leaves// M. Haghghi, M. Kafi, A.J. Khoshgoftarmanesh // - Plant Nutr. - 2013. - V.36. - P.1521-1532.
177. Vega, F.A. Relationships between heavy metals content and soil properties in mine soils / F.A. Vega., E.F. Covelo, M.L. Andrade, P. Marcet // - Chim. Acta. - 200. - V.524. - P.141-150.
178. Hussain, B. Cadmium stress in paddy fields: Effects of soil conditions and remediation strategies / B. Hussain, M.N. Ashraf, S.U. Rahman, A. Abbas, J. Lia, M. Farooq // - Sci. Total Environ. - 2021. - V.754. - P. 142-188.
179. Huang, B. Effects of soil particle size on the adsorption, distribution, and migration behaviors of heavy metal (loid)s in soil: A review/ B. Huang, Z. Yuan, D. Li, M. Zheng, X. Nie, Y. Liao // - Environ. Sci. Proc. Imp. - 2020.- V.22. - P.15-96.
180. Zhuang, P. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China / P. Zhuang B. Murray, B. McBride, H. Xia, N. Li, Z. Li // - Science of The Total Environment. - 2009. -V. 407(5). - P.1551-1561.
181. Hossain, M. Affecting Customer Switching Resistance among the Telecommunication Subscribers / M. Hossain, Z. Islam, M. Hossain /- Middle-East Journal of Scientific Research. - 2012. - V.12. - No. 6. -P.1-11.
182. Baker, A.J.M. Terrestrial Higher Plants which Hyperaccumulate Metallic Elements / A.J.M. Baker and R.R. Brooks // -A Review of Their

- Distribution, Ecology and Phytochemistry. Biorecovery. -1989. -V.1. - P.81-126.
183. Baker, A.J.M. Accumulators and Excluders-Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals / A. J.M. Baker // - Journal of Plant Nutrition. - 1981. - V.3. - P.643-654.
184. Бозорова, Н. Н. Оценка степени соответствия качества воды реки Сырдарья индексам применимости для орошения / Н.Н. Бозорова, К.Н. Одинаев // - Вестник педагогического университета, серия естественных наук. - 2024. - № 2-3 (22-23). -С.48-52.
185. Adegbola, G.A. Assessment of the suitability of water quality for irrigation in Ogbomoso, Oyo State / G.A. Adegbola, M. Dauda // - GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. - 2019. - V.9 (2). - P.21-31.
186. Rengasamy, P. Sodic Soil: Distribution, Properties, Management and Environmental Consequences / P. Rengasamy M. E. Sumner // - New York: Oxford University Press. - 1998. - P.35–50.
187. Бозорова, Н.Н. Динамика концентрации тяжелых металлов вдоль реки Сырдарья и возможности накопления их в Кайраккумском водохранилище / Н.Н. Бозорова, А.О. Рахимзода, А.О. Муминов // Вестник педагогического университета, серия естественных наук. - 2025. - № 1 (25). - С.51-56.
188. Смоляков, Б.С. Экологические последствия трансформации химических форм металлов-поллютантов в реальном водоеме / Б.С.

- Смоляков, М.В. Жигула // - Химия в интересах устойчивого развития.-  
2001.- № 9. - С.283–291.
189. Кирста, Ю.Б. Системно-аналитическое моделирование ионного стока горных рек / Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов // - Ползуновский альманах. 2018. - №4. - С.113–116.
190. Normatov, I. Hydrochemistry of Mountain Pamir: Tributaries of the Transboundary Pyanj River and their waters applicability for irrigation // -J. Sustainable Develop. Mount. Terr. -2021. -V.13(1). - P. 53-57
191. Давыдова, О.А. Физико-химические аспекты миграционных процессов тяжелых металлов в природных водных системах / О.А. Давыдова, Е.В. Коровина, Е.С. Ваганова, И.Т. Гусева, Б.А. Красун, М.А. Исаева, Т.Ю. Марцева, В.В. Мулюкова, Е.С. Климов, М.В. Бузаева // - Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». - 2016. - Т. 8, - № 2.- С.40–50.
192. Moore, J.M. Inorganic contaminants of surface water: research and monitoring priorities / J. M. Moore // - New York: Springer-Verlag; - 1991. -P.302-307.
193. Qureshi, A.S. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater / A.S. Qureshi, M.I. Hussain, S. Ismail, Q.M. Khan // - Chemosphere 2016. - V.163. - P.54–61.
194. Barceló, J. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review / J. Barceló, C.H. Poschenrieder // - J. Plant Nutr. - 1990. -V.13. - P.1–37.

195. Guan, Y. Heavy metal contamination assessment and partition for industrial and mining gathering areas / Y. Guan, Ch. Shao, M. Ju // - International Journal of Environmental Research and Public Health. - 2014. - V.11. - P.7286–7303.
196. Varol, M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques / M. Varol // - Journal of Hazardous Materials. - 2011. - V.195. - P. 355–364.
197. Kowalska, J.B. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review / J.B. Kowalska, R. Mazurek, M. Gasiorek, T. Zaleski // - Environmental Geochemistry and Health. - 2018. - V.40. - P.2395–2420.
198. Muller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River / G. Muller // - GeoJournal. - 1969. - V.2. - P.108–118.
199. Tong, S. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019 – a systematic review / S. Tong, H. Li, L. Wang, M. Tudi, L. Yang // - International Journal Environmental Research and Public Health. - 2020. - V.17.- P. 1232-1244.
200. Elias P., Gbadegesin A. Spatial relationships of urban land use, soils and heavy metal concentrations in Lagos mainland area / P. Elias, A. Gbadegesin // -Journal of Applied Sciences and Environmental Management. -2011. -V.15 (2). - P.391–399.

201. Weissmannová, H.D. Indices of soil contamination by heavy metals – methodology of calculation for pollution assessment (mini-review) / H.D. Weissmannová, J. Pavlovský // -Environ Monit Assess. -2017. - V.189. - P.616-641.
202. Tomlinson, D.C. Problems in the assessment of heavy metals in estuaries and the formation pollution index / D.C. Tomlinson, J.G. Wilson, C.R. Harris, D.W. Jeffrey // -Helgoland Marine Research. -1980. -V.33. -P.566–575.
203. Минкина, Т.М. Накопление тяжелых металлов в системе почва – растение в условиях загрязнения / Т. М. Минкина, М.В. Бурачевская, В. А. Чаплыгин, С.Ю. Бакоев, Е.М. Антоненко, С.С. Белогорская //- Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. - 2011. - № 4(04). - С.1-17.
204. Normatov, P. I. Hydrochemistry of high-mountain Pamir rivers: formation, changes and influence on the chemical composition of irrigation water / P.I. Normatov, I. Normatov, A. Karimzoda, R. Eshankulova, A. Normatov, N. Shermatov // - Journal of Environmental Science and Sustainable Development. -2022. - V.5 (1). - P.19-47.
205. Yakovets, L.A. Migration of heavy metals in the soil profile / L.A. Yakovets // - Norwegian Journal of development of the International Science. - 2021. - V.54. - P.8-12.
206. Yakovets, L.A. Agroecological assessment of the state of food photographs of the forest steppe of the right-bank, depending on the

- intensity of chemicalization of agriculture / L.A. Yakovets // -Polish Journal of Science. -2020. -V.1 (27). - P.9–16.
207. Petukhov, A. Biochemical Responses of Medicinal Plant *Tussilago farfara* L to Elevated Heavy Metal Concentrations in Soils of Urban Areas / A. Petukhov, T. Kremleva, G. Petukhova, N. Khritokhin // -Toxics. -2021.- V.9. -P.171-189.
208. Lovynska, V. Heavy metal accumulation by *Acer platanoides* and *Robinia pseudoacacia* in an industrial city (Northern Steppe of Ukraine) / V. Lovynska, K. Holoborodko, I. Ivanko, S. Sytnyk, O. Zhukov, I. Loza, O. Wiche, H. Heilmeyer // - Biosyst. Divers. - 2023. - V.31. - P.246–253.
209. Biswas, T. Heavy metal accumulation efficiency, growth and centelloside production in the medicinal herb *Centella asiatica* (L.) urban under different soil concentrations of cadmium and lead / T. Biswas, O. Parveen, V.P. Pandey, A. Mathur, U.N. Dwivedi // - Ind. Crops Prod. - 2020.- V.157. - P. 347- 411.
210. Cao, L. Feasibility analysis of waste humus soil for Urban Greening / L. Cao, J. Wu // - IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. - 2020. - V.546. - P.1321-1335.
211. Ma, Ch. Influence mechanism of awns on wheat grain Pb absorption: Awns' significant contribution to grain Pb was mainly originated from their direct absorption of atmospheric Pb at the late grain-filling stage / Ch. Ma, Y. Yu, F. Liu, L. Lin, K. Zhang, N. Liu, H. Zhang // - Ecotoxicology. Environ. Safety. - 2023. -V.257. - P.114957.

212. Yu, G. Pollution and health risk assessment of heavy metals in soils of Guizhou, China /G. Yu, F. Chena, H. Zhang, Z. Wang // - Ecosystem health and sustainability. - 2021. - V.7 (1). - P.1-12.
213. Zhang, Q. Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: A review / Q. Zhang, C. Wang //-Water, Air & Soil Pollution. - 2020. - V.231. - P.1-13.
214. Титов, А.Ф. Тяжелые металлы и растения / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова // - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, - 2014. - С.194
215. Титов, А.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина, Г.Ф. Лайдинен // - Петрозаводск: КарНЦ РАН, - 2007. - 1 - С.70
216. Khudsar, T. Zinc-induced changes in morpho-physiological and biochemical parameters in Artemisia annual / T. Khudsar, Mahmooduzzafar, M. Iqbal, R.K. Sairam // - Biol. Plant. - 2004. -V.48. - (2). - P.255–260.
217. Минкина, Т.М. Качество зерна пивоваренного ячменя при техногенных загрязнениях чернозема обыкновенного / Т.М. Минкина, В.С. Крыщенко, С.В. Федосеенко // - Научная мысль Кавказа. - 2003. - Вып. 2. - С.119-123.
218. Gong, Q. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing / Q. Gong, J.

- Deng, Y. Xiang, Q. Wang, L. Yang // - Journal of China University of Geosciences. - 2008. - V.19. - P.230-241.
219. Хожиматова, Х.Р. Анализ состояния использования земель сельскохозяйственного назначения согдийской области, Республики Таджикистан / Х.Р. Хожиматова, С.А. Мирсаидов, Р. Усмонов // -Ж. Фотинские чтения. - 2016. - Т.2(6). - С.194-198.
220. Muse, N.M. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia / N.M. Muse, G. Taufur, M.J.S. Safari // - Sustainability. -2023. - V.15. - (13).
221. Li, L. Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China / L. Li, D. She, H. Zheng, P. Lin, Z.L. Yang // - Journal of Hydrometeorology. -2020. - V.21(7). - P.1513-1530.
222. Приоритеты развития Б. Гафуровского района // <https://www.slideserve.com/amir-woods/6817793>.
223. Район им. Б. Гафурова [https://tojiston.ucoz.ru/index/rajon\\_im\\_b\\_gafurova/0-50](https://tojiston.ucoz.ru/index/rajon_im_b_gafurova/0-50)

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

**Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендуемых ВАК**

**при Президенте Республики Таджикистан:**

[1-А]. **Бозорова, Н.Н.** Применение индексов экологического риска для оценки загрязненности территории хвостохранилищ / И.Ш. Норматов, Н.С. Хакимзода, **Н.Н. Бозорова**, Авази Мирзо // - Вестник таджикского национального университета, Серия естественных наук. -2025. - №.2. - С. 141-150. -ISSN 2413-452X

[2-А]. **Бозорова, Н.Н.** Динамика концентрации тяжелых металлов вдоль реки Сырдарья и возможности накопления их в Кайраккумском водохранилище / **Н.Н. Бозорова**, А. О. Рахимзода, А.О. Муминов // - Вестник педагогического университета, серия естественных наук. - 2025. - № 1 (25). - С.51-56.- ISSN 2707-9996

[3-А]. **Бозорова, Н. Н.** Оценка степени соответствия качества воды реки Сырдарья индексам применимости для орошения / **Н.Н. Бозорова**, К.Н. Одинаев // - Вестник педагогического университета, серия естественных наук. - 2024. -№ 2-3 (22-23). - С.48-52. - ISSN 2707-9996

[4-А]. **Bozorova, N.** Hydrochemistry and Quality of Irrigating Water in the Middle Reaches of the Syr Darya River in the Territory of the Republic of Tajikistan / I. Sh. Normatov, V. V. Goncharuk, **N. Bozorova**, Karomatullo Kurbonali, D. M. Bobokalonov, R. Anderson // - Journal of Water Chemistry and Technology. - 2025. - V. 47 (2). - P. 204–211 -ISSN 1063-455x.- DOI: 10.3103/S1063455X25020079. (SCOPUS).

[5-A]. **Bozorova, N.** Heavy Metal Migration and Sedimentation in Syrdarya River (Tajikistan) and Possibility Accumulation in Kayrakkum Reservoir / I. Normatov, **N. Bozorova**, A. Rahimzoda // - Intern. J. Atmos. & Oceanic Sci. - 2025. - V. 9. - No1. - P. 58-65. - DOI: 10.11648/j.ijaos.20250901.16

**Статьи и тезисы, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:**

[6-A]. **Bozorova, N.N.** Environmental risk of geoaccumulation and transmission of heavy metals in tailing dumps with radioactive elements / I. Sh. Normatov, **N.N. Bozorova**, Avazi Mirzo, N.S. Hakimzoda // - Proc. Intern. Conf.” Fundamental and applied research in physics”. - 16-17 May 2025. Tashkent, Uzbekistan. - P. 94-96.

[7-A]. **Бозорова, Н.Н.** Мониторинг миграции и осаждения тяжелых металлов по руслу реки Сырдарья на территории Таджикистана / **Н.Н. Бозорова**, И.Ш. Норматов //- Мат-лы Международная научно-практическая конференция “Основные направления гидрологических исследований в условиях изменения климата: современные подходы и технологии”. - 23-24-мая 2025 г., - Ташкент, -Республика Узбекистан. -С.127-130.

[8-A]. **Бозорова, Н.Н.** Гидрохимия и индексы применимости Сырдарьи для орошения на территории Таджикистана/ **Н.Н. Бозорова**, И.Ш. Норматов // - Материалы Международной научно - практической конференции “Изменение климата и его влияние на окружающую среду: проблемы и их решение”. - 28 октября 2024 г., -Ташкент, Узбекистан. - С.130-133.

[9-А]. **Бозорова, Н.Н.** Мониторинг миграции тяжелых металлов по реке Сырдарья и возможности накопления их в Кайраккумском водохранилище / **Н.Н Бозорова**, А.О. Рахимзода, А.О. Муминов, И.Ш. Норматов // - Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития физики», -Худжанд, Таджикистан, 11-12 марта 2025 года. - С.23-26.