

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский государственный аграрный университет»

Факультет лесного хозяйства и экологии
Кафедра «Таксации и экономики лесной отрасли»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на соискание квалификации (степени) «бакалавр»

**ТЕМА: «ИЗУЧЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ
РАСТЕНИЯХ РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП»**

Направление подготовки: 05.03.06 - Экология и природопользование
Направленность (профиль): «Экология»

Обучающийся: Кудерметова Ангелина Альбертовна



подпись

Руководитель: Гибадуллин Радик Зифарович к.б.н., доцент

Ф.И.О.

ученое звание



подпись

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите (протокол № 11 от 17
июня 2020 г.)

И.о. зав. кафедрой: Губейдуллина Алсу Харисовна к.б.н., доцент

Ф.И.О.

ученое звание



подпись

Казань – 2020 г

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	3
1.	<i>ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</i>	4
2.	<i>ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</i>	19
2.1.	<i>ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</i>	19
2.2.	<i>ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ</i>	22
3.	<i>РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ</i>	24
3.1.	<i>СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ, МАРГАНЦА И СВИНЦА В ВОДНЫХ РАСТЕНИЯХ</i>	24
3.2	<i>ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ, МАРГАНЦА И СВИНЦА В МАКРОФИТАХ</i>	27
3.3	<i>ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ, МАРГАНЦА И СВИНЦА В МАКРОФИТАХ</i>	28
	<i>ВЫВОДЫ</i>	41
	<i>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</i>	42
	<i>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</i>	43

РЕФЕРАТ

Ключевые слова: загрязнение воды, биодоступность, транслокация, тяжелые металлы.

Аннотация: накопление тяжелых металлов в растительных компонента водных экосистем имеют научный интерес в связи с тем, что водные растения более других биоагентов учувствуют в миграции элементов внутри системы. Это происходит и из-за их обилия в водных экосистемах и обширная ризосфера водно-болотных растений обеспечивает обогащенную культурную зону для микробов, участвующих в транзите элементов и деградации вещества. Зона водных отложений обеспечивает редуцирующие условия, способствующие удалению тяжелых металлов из оборота. Водные экосистемы показали свою эффективность для борьбы с загрязнением тяжелыми металлами при кислотном дренаже шахт; фильтрата свалок; тепловой энергии; а также коммунальных, сельскохозяйственных, нефтеперерабатывающих и хлорщелочных сточных вод. Физико-химические свойства водных экосистем обеспечивают многие положительные свойства для рекультивации тяжелых металлов. Создание дополнительных площадей для фиторемедиации также может способствовать сохранению водно-болотных угодий. Расширение биоразнообразия и находящихся под угрозой исчезновения водно-болотных растений являются важными перспективами на будущее в отношении сохранения водных экосистем. Объектами исследований являлись высшие водные растения водоемов города Казань с прилегающей рекреационной зоной. Целью работы было определение уровней накопления меди, марганца и свинца в высших водных растениях в водоемах города Казань с прилегающей рекреационной зоной.

Keywords: air pollution, bioavailability, translocation, heavy metals.

Abstract: accumulation of heavy metals in plant components of aquatic ecosystems is of scientific interest due to the fact that aquatic plants more than other bioagents participate in the migration of elements within the system. This is also due to their abundance in aquatic ecosystems and the vast rhizosphere of wetland plants provides an enriched cultural zone for microbes involved in the transit of elements and degradation of substances. The zone of water deposits provides reducing conditions that facilitate the removal of heavy metals from circulation. Water ecosystems have been shown to be effective in controlling heavy metal pollution from acid mine drainage; landfill filtrate; thermal energy; and municipal, agricultural, oil refining, and chlor-alkali wastewater. The physical and chemical properties of aquatic ecosystems provide many positive properties for heavy metal remediation. Creating additional areas for phytoremediation can also help preserve wetlands. Increasing biodiversity and endangered wetland plants are important future prospects for the conservation of aquatic ecosystems. The objects of research were higher water plants of reservoirs of the city of Kazan with the adjacent recreational zone. The aim of the work was to determine the levels of accumulation of copper, manganese and lead in higher aquatic plants in reservoirs of the city of Kazan with the adjacent recreational zone.

Введение

В настоящей работе рассматривается глобальная проблема загрязнения тяжелыми металлами водных объектов, возникающая в результате усиления индустриализации и урбанизации. Загрязнение водных экосистем тяжелыми металлами в результате сброса промышленных сточных вод может представлять серьезную угрозу для здоровья человека. Накопление тяжелых металлов в растительных компонента водных экосистем имеют научный интерес в связи с тем, что водные растения более других биоагентов участвуют в миграции элементов внутри системы. Это происходит и из-за их обилия в водных экосистемах и обширная ризосфера водно-болотных растений обеспечивает обогащенную культурную зону для микробов,

участвующих в транзите элементов и деградации веществ. Зона водных отложений обеспечивает редуцирующие условия, способствующие удалению тяжелых металлов из оборота. Водные экосистемы показали свою эффективность для борьбы с загрязнением тяжелыми металлами при кислотном дренаже шахт; фильтрата свалок; тепловой энергии; а также коммунальных, сельскохозяйственных, нефтеперерабатывающих и хлорщелочных сточных вод. Физико-химические свойства водных экосистем обеспечивают многие положительные свойства для рекультивации тяжелых металлов. Создание дополнительных площадей для фиторемедиации также может способствовать сохранению водно-болотных угодий. Расширение биоразнообразия и находящихся под угрозой исчезновения водно-болотных растений являются важными перспективами на будущее в отношении сохранения водных экосистем.

Объектами исследований являлись высшие водные растения водоемов города Казань с прилегающей рекреационной зоной.

Целью работы было определение уровней накопления меди, марганца и свинца в высших водных растениях в водоемах города Казань с прилегающей рекреационной зоной.

1. Обзор литературы

Несмотря на низкие уровни тяжелых металлов в окружающей среде, эти четыре водных растения обладают способностью накапливать значительные количества, что делает их полезными в качестве биологических индикаторов. Значение BCF для *Ceratophyllum demersum* указывало на то, что этот вид является гипераккумулятором кадмия.

Макрофиты играют важную экологическую роль в водных экосистемах из-за многочисленных функций, которые они играют в циклах микроэлементов, таких как удаление металлов из водной толщи, взвешенных

веществ, донных отложений и перенос металлов в пищевые цепи [1]. Кроме того, химические реакции, которые корни растений вызывают в отложениях, в которых они растут, увеличивают способность отложений поглощать металлы [2].

Фитопланктон демонстрирует высокую скорость накопления тяжелых металлов, поступающих в водные экосистемы [3, 4]. Концентрация микроэлементов в растениях иногда достигает уровней концентрации на шесть порядков выше, чем в окружающей среде [5]. Как следствие, ряд определенных видов были признаны полезными индикаторами качества воды [6] или в качестве растворов для очистки сточных вод с помощью процессов фиторемедиации [7, 8], поскольку аборигенные растения обладают преимуществом адаптации к стрессовым условиям целевых загрязнителей [9].

Поглощение металлов растительностью может быть элементным, видовым [10, 11] и тканеспецифичным [12, 13]. Например, *Ceratophyllum demersum* был идентифицирован как вид-гипераккумулятор кадмия [14], *Salvinia minima* обладает способностью удалять свинец из водных растворов [15], а *Cladophora* sp. способен к гипераккумуляции мышьяка [16]. На способность растений к гипераккумуляции микроэлементов оказывают влияние наличие гуминовых веществ или других хелатирующих веществ [17, 18], температура и соленость [19] или количество металла, выделяемого через листья [20].

Река Дунай является трансграничным водным объектом, испытывающим высокую антропогенную нагрузку по своему течению [21] и пик загрязнения донных отложений тяжелыми металлами в районе Железных Ворот [22].

Имеется мало информации о количестве тяжелых металлов в водных видах растений из экосистем реки Дунай в Румынии и ограничена Дельтой Дуная [23, 24]. Широкое исследование, включающее нашу целевую область

интереса, было проведено на сербской стороне Дуная с использованием образцов рода *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton*, собранных с 36 участков на участке протяженностью 573 км [25].

На анализируемом участке были проведены детальные исследования уровней концентрации тяжелых металлов в донных отложениях, поскольку значительные источники загрязнения находятся в этом районе уже более четырех десятилетий [26]. Они представляли собой отправную точку в нашем исследовании для определения конкретных элементов.

Концентрация тяжелых металлов в анализируемых нами пробах воды значительно ниже румынских стандартов качества пресной воды [28]. Значения концентрации (приведенные как среднее значение результатов четырех кампаний) приведены в таблице 2. Уровень свинца-единственный, который может создать возможную угрозу качеству воды в точке отбора проб.

Как общее наблюдение, большинство измеренных концентраций показывают большую дисперсию (высокие значения стандартного отклонения). Это может быть следствием того, что образцы собираются в течение более длительного периода времени (18 месяцев) и в течение различных вегетационных сезонов. Годовой баланс осадков, экстремальные речные условия (наводнение весной, засуха летом) и биологическая активность различной интенсивности также могут влиять на скорость поглощения металлов. Для кадмия в пробах воды высокая дисперсия данных может быть определена низким уровнем концентрации металла (среднее значение составляет 2 нг/л). Из-за высоких значений стандартного отклонения данные следуют за ненормальным распределением. Таким образом, мы решили проанализировать данные с помощью непараметрической статистики.

Ceratophyllum demersum L.- это свободно плавающий многолетний макрофит, растущий в медленно текущих и богатых питательными веществами водоемах. Он представляет собой важный источник пищи для

беспозвоночных, рыб и травоядных водных птиц. Анализируемые виды *Potamogeton* (*Potamogeton perfoliatus* L., *Potamogeton lucens* L. и *Potamogeton pectinatus* L.) представляют собой погруженные, укорененные, цветущие водные растения, произрастающие в щелочных водах. Они образуют ложа, представляющие собой источник пищи и укрытие для видов рыб, водных беспозвоночных, водоплавающих птиц и т. д. Оба рода вносят свой вклад в создание охраняемой среды обитания на европейском уровне - 3150 - естественных эвтрофных озер с Магнопотамионной и Гидрохарионной растительностью [29].

Эти виды были выбраны на основе их предыдущего использования в качестве биоиндикаторов в водных экосистемах и в связи с тем, что они являются одним из наиболее частых видов водных растений из экосистем реки Дунай в природном парке Железные ворота. Концентрации металлов в четырех водных растениях, рассмотренных в нашем исследовании, представлены.

При группировании образцов по родам растений (например, *Ceratophyllum* и *Potamogeton*) и применении критерия Манна–Уитни различия проявляются для всех элементов ($U = 214$, $p=0,008$ для кадмия, $U = 216$, $p=0,007$ для меди, $U = 223$, $p=0,003$ для свинца, $U = 241$, $p<0,001$ для цинка). Роголистник концентрирует большее количество элементов по сравнению с рдест видов, будучи лучше аккумулятор (Таблица 4). Мазей и зародыш [3] упоминают, что медь и цинк равномерно распределяются по всему *Potamogeton nodosus*, в то время как свинец концентрируется в более высоких количествах в корне растения. Следовательно, различия между этими двумя родами для меди и цинка не могут быть отнесены к различиям в поглощении элементов из водного объекта. Различия выявляются между четырьмя видами, за исключением погруженных растений-роголистник и рдест *perfoliatus*, где они не являются статистически значимыми (Dwass-сталь-Chritchlow-Fligner тест = -0.73, $P=0,96$ для кадмия (Dwass-сталь-Chritchlow-Fligner тест = -0.51, $P=0,98$ для меди, Dwass-сталь-Chritchlow-Fligner тест = -

0.87, $P=0.93$ для свинца и Dwass-сталь-Chritchlow-Fligner тест = -1.82, $P=0.57$ для цинка). Наши результаты, выраженные в виде средней концентрации ± 1 Стандартное отклонение для каждого вида, указывают на самую высокую концентрацию всех четырех элементов в *Ceratophyllum demersum* (см. таблицу 3). Среди видов *Potamogeton* наибольшее количество тяжелых металлов зарегистрировано в *Potamogeton perfoliatus* (1,88 мкг/г для Cd; 13,14 мкг/г Для Cu; 13,32 мкг/г Для Pb; 57,96 мкг / г для Zn). Наши данные сопоставимы с данными, полученными для кадмия и меди в тех же видах растений Rajevic et al. [25] на том же участке реки Дунай на сербской стороне.

Мы также сгруппировали образцы растений в соответствии с регионом, из которого они были собраны (с тремя разделенными областями – Базиас, Дивичи, Коронини), и никаких различий между ними не появилось (Крускал-Уоллис = 5,45, $P=0,07$ для Базиаса; Крускал-Уоллис = 4,79, $P=0,09$ для Дивичи; Крускал-Уоллис = 3,22, $P=0,2$ для Коронини). Такой же вывод был сделан для крупных рек Фаузи и др. [30] для накопления кадмия растениями (включая *Ceratophyllum demersum*) из экосистем реки Нил. В нашем случае основной источник загрязнения находится рядом с пробоотборной станцией Коронини, а это комплекс площадью 250 га, включающий отстойники, стерильные месторождения и объекты по переработке руд бывшего комплекса по добыче и переработке руд. Это привело к увеличению концентрации меди в донных отложениях в период с 1996 по 1999 год в десять раз (72 мкг/г и 679 мкг/г соответственно) [26].

Длительное загрязнение водного объекта приводит к высокому содержанию металлов в осадках, которые действуют как отложения тяжелых металлов. В зависимости от физико-химических условий и режима водного объекта (наводнение, засуха) они выделяют металлы в толщу воды, делая их доступными для водной растительности. Удаление металлов из воды растениями - относительно быстрый процесс [31]. Следовательно, металлы

переносятся к растительноядным видам рыб и водным беспозвоночным, попадая таким образом в водные пищевые цепи и создавая экотоксикологический риск для видов, находящихся на более высоких трофических уровнях.

Исходя из гипотезы о синергетическом влиянии уровня цинка на концентрацию кадмия в растениях [17], к нашему набору данных был применен тест Спирмена. Полученные результаты подтверждают, что концентрация кадмия увеличивается вместе с концентрацией цинка (Спирмен $\rho=0,40$, $P=0,02$). Поскольку цинк является тяжелым металлом с наиболее важной концентрацией в регионе [26, 32], он может увеличить поглощение кадмия растениями до значительных уровней, даже если его концентрация в окружающей среде очень низка (0,002 мкг/л).

Выбор вида, который будет использоваться в таком обследовании, очень важен в охраняемой зоне, особенно в среде обитания, имеющей важное значение для сообщества. Поскольку интродукции чужеродных видов следует избегать, биоиндикаторные виды необходимо выбирать из числа коренных. Кроме того, они должны присутствовать в течение более длительного периода времени в течение года, чтобы обеспечить уровни воздействия при различных речных режимах (включая экстремальные условия, такие как засуха и наводнения). Тем не менее они должны присутствовать во всем анализируемом секторе, как это было в случае *Trapa natans*, присутствовавшей в течение периода отбора проб только в Коронини. *Trapa natans* также является видом с самой высокой биомассой, и он защищен директивой по местообитаниям [33].

В масштабах водораздела это первое исследование биоаккумуляции металлов водными растениями для румынской стороны реки Дунай. Это позволяет провести сравнение с исследованиями, проведенными для Сербии [25, 34].

Металлические коэффициенты биоконцентрации для погруженных растений-роголистник

Скорость поглощения металлов растениями из окружающей их среды лучше всего описывается коэффициентом биоконцентрации. Для плавающих видов (*Ceratophyllum demersum* L.) коэффициент биоконцентрации рассчитывался как отношение концентрации металла в растительной ткани к его концентрации в воде (как среднее значение концентрации металла в четырех местах отбора проб) [35].

Значения BCF для *Ceratophyllum demersum* подтвердили нашу гипотезу о том, что этот вид является гипераккумулятором кадмия [14]. Однако значения для других элементов также высоки. Последовательность для BCFs-это $Cd \gg Zn > Pb > Cu$.

Способность быстро поглощать тяжелые металлы из окружающей среды, даже на очень низких уровнях окружающей среды, превращает водные макрофиты в эффективные индикаторы качества водных экосистем. Появляются различия между родами- *Ceratophyllum*, показывающими более высокие концентрации металлов, чем *Potamogeton* – и видами, с *Potamogeton perfoliatus*, являющимся наиболее эффективным аккумулятором микроэлементов.

Кроме того, *Ceratophyllum demersum* доказал свою пригодность для процессов фиторемедиации, поскольку его способность к гипераккумуляции кадмия из водного объекта достигает значений коэффициента биоконцентрации выше 1000. Негативным аспектом их накопительной способности является то, что водные растения представляют собой источники питания для нескольких категорий водных организмов, подвергая их загрязнению токсичными элементами.

К удалению тяжелых металлов из воды подходили с использованием различных технологий. Фитотехнологии, получившие все большее развитие в последние два десятилетия, предполагают использование растений для удаления металлов. Три автохтонных плавающих макрофита, распространенных в пампейских мелководных озерах (Аргентина), *Pistia stratiotes*, *Spirodela intermedia* и *Lemna minor*, были использованы в лабораторных опытах для одновременного удаления нескольких тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr и Pb), образующихся в результате антропогенной деятельности, с целью моделирования естественно загрязненной окружающей среды. Опыты проводились для различных концентраций металлов в течение 15 дней. Высокие проценты удаления металла были получены для 3 видов и металлов. *Л. Минор* не выдержал условий эксперимента. Получена высокая корреляция между конечной водой и концентрацией металлов в макрофитах, отклонения были обусловлены осаждением $PbCrO_4$. Скорость поглощения металла зависела от концентрации металла для 3 изученных видов.

Естественные водно-болотные угодья являются эффективными поглотителями металлов. Процессы удаления и мобилизации металлов включают седиментацию, адсорбцию, комплексообразование, поглощение растениями и микробиологически опосредованные реакции, включая окисление и восстановление. В последнее время были построены водно-болотные угодья для очистки сточных вод и городского стока, а также демонстрируют хороший потенциал для концентрирования металлов из промышленных сточных вод и шахтных просачиваний. Построенные водно-болотные угодья включают в себя открытые водоемы, как правило, покрытые отложениями, содержащие плавающие, погруженные и всплывающие растения. Другая конструкция основана на использовании проницаемых субстратов, таких как гравий, обычно засаживаемый появляющимися водно-болотными растениями, такими как Тайфа, Шеноплект, Фракмиты или циперус. Сточные воды просачиваются через гравий, обеспечивая лучший

доступ к корням и корневищам растений и подвергаясь воздействию насыщенных кислородом условий в ризосфере. Гидравлическая конструкция, по-видимому, имеет решающее значение для производительности этих систем, причем предпочтительным является вертикальный формат восходящего потока. Как правило, эмерджентные растения влияют на хранение металлов косвенно, изменяя субстрат посредством оксигенации, буферизации pH и добавления органического вещества. Общее поглощение растениями обычно составляет $< 50\%$ от поступающей металлической нагрузки, в то время как доля, перемещаемая на надземные части, обычно составляет лишь несколько процентов от входной нагрузки, так что сбор урожая нецелесообразен для удаления металла. Высокие скорости удаления металла, близкие к 100%, были зарегистрированы в экспериментальных системах для сточных вод и модифицированных металлом питательных растворов, имитирующих кислые шахтные дренажные воды, но только в небольших масштабах или в краткосрочной перспективе. Требуется больше информации о процессах эксплуатации и утилизации, чтобы можно было оптимизировать конструкцию системы и с большей уверенностью прогнозировать долгосрочную производительность.

Концентрация микроэлементов была изучена в различных частях погруженных видов *Najas marina* и *Potamogeton lucens* и в плавучих листьях видов *Nuphar lutea* и *Potamogeton nodosus*, а также в соответствующих пробах воды и осадка в искусственном озере Веленьско-езеро, где на дне отложено большое количество золы от бурого угля (около 15 млн тонн). Концентрация микроэлементов в воде была в основном ниже предела обнаружения. В осадочных породах только концентрация As оказалась выше среднеевропейской фоновой концентрации. Он также показал самую высокую степень транслокации из осадка в корни растений, но его подвижность к надземным частям растений была незначительной. Погруженные виды *N. marina* и *P. lucens* демонстрировали сходные концентрации микроэлементов в своих органах. Из видов с плавающими

листьями самые низкие концентрации микроэлементов были обнаружены в *N. lutea* и самые большие-в *P. nodosus*. Значительно более высокие концентрации As, Ni, Pb и Cr были показаны в корнях *N. marina*, *P. lucens* и *P. nodosus* больше, чем в их стеблях и листьях, тогда как Cu и Zn были равномерно распределены по всем их органам. Cr и Ni также показали относительно высокую подвижность от корней к верхним частям *N. lutea*.

Были исследованы эффективность планктона для сорбции / инкорпорации антропогенных металлов, сбрасываемых в загрязненную зону Риа-де-Авейру, и количество, экспортируемое в остальную часть лагуны. Взвешенные твердые частицы и материалы, собранные в планктонных сетках размером 63 и 200 мкм, отбирались ежечасно в течение полудневного весеннего приливного цикла. Собранный материал был проанализирован на содержание общего количества Cu, Cd, Hg и Pb. Более высокие концентрации металлов были зарегистрированы в материале, собранном в период отлива, что указывает на их включение в биомассу планктона, ранее перенесенную в этот район в период паводка. На основе изменения объема воды, биомассы планктона, связанной с сетками размером 63 и 200 мкм, а также концентраций металлов были рассчитаны массовые балансы для Cu, Cd и Hg. Очевидно, что металлы, связанные с планктоном, экспортировались из загрязненной зоны в остальную часть лагуны. Чистые экспортируемые металлы (63 мкм нетто) составляли 223-336% от импортируемых металлов, что соответствует 2,4 г Cd, 67 г Cu и 11 г Hg в течение весеннего приливного цикла.

Сравнивались концентрации Al, Cd, Ca, Cu, Fe, Hg, Pb, Mg, Mn, Ni, P и Zn в воде, растениях и водных насекомых трех подкисленных (pH $\approx$ 5,0) и трех некислых (pH 6,5) построенных водно-болотных угодий. Концентрации Zn в воде и тростнике (*Sparganium americanum*) были выше в подкисленных водно-болотных угодьях, чем в некислых водно-болотных угодьях. Плавающие некорневые растения содержали средние концентрации Fe, Mg и Mn, которые были выше рекомендуемых максимальных уровней для корма

домашней птицы. Средние концентрации всех металлов в насекомых были ниже рекомендуемых максимальных уровней для корма домашней птицы и ниже уровней, вызывающих токсические эффекты у диких птиц. Меньшее, чем ожидалось, увеличение концентрации металлов в воде подкисленных водно-болотных угодий, вероятно, было обусловлено ограниченной мобилизацией металлов из донных отложений и незначительными изменениями в осаждении водных металлов. Кальций был ниже в подкисленной, чем в некислой водно-болотной воде, но содержание Ca у насекомых и тростника было не ниже. Низкие концентрации Ca в водных насекомых из обеих групп водно-болотных угодий указывают на то, что богатые кальцием ракообразные и моллюски, вероятно, важны для самок водоплавающих птиц и их детенышей весной, когда беспозвоночные составляют большую часть рациона. Хотя токсические эффекты от поглощения металлов кажутся маловероятными последствиями подкисления водно-болотных угодий, неблагоприятное воздействие низкого pH на появление ракообразных и моллюсков может угрожать яйценоскости и развитию молодняка.

Концентрации Al, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, V, Zn, N, P, K, Ca, Mg, Fe и S были измерены в воде, донных отложениях рек и в пробах *Elodea canadensis*, отобранных в трех водосборах из водосбора Одры (Rów Polski, Kanał Polski and Rów Śląski). *E. canadensis* был использован для оценки пространственного распределения элементов в исследуемых реках и содержал повышенные уровни металлов Al, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V и Zn, происходящих из городских сточных вод. Значительные корреляции между концентрациями Al, Cr и Cu в донных отложениях рек и растениях доказывают потенциал *E. виды canadensis* для мониторинга загрязнения, особенно для этих металлов в исследуемых реках.

Загрязнение тяжелыми металлами является одной из наиболее серьезных проблем в водной среде. В мире загрязнение окружающей среды с помощью тяжелые металлы - одна из самых больших проблем, с которыми

сталкивается человек. Металлы являются естественными микроэлементами водной среды, но их уровни были увеличены из-за промышленных отходов, геохимической структуры, сельскохозяйственной и горнодобывающей деятельности. Есть определенные тяжелые металлы такие как As, Cd, Cu, Pb, Ni и Zn которые являются общими загрязнителями и поступают из различных природных и антропогенных источников. Металлы рассредоточены среди различных водных компонентов среды (вода, взвешенные твердые вещества, осадки и биота) могут встречаться и в растворенных, твердых частицах или сложных формах. Сообщалось, что металлы влияют на клеточные органеллы и вызывают токсичность и канцерогенность.

Загрязнение окружающей среды считается одной из самых серьезных проблем, что стоит перед обществом во всем мире, особенно в развивающихся странах. Хотя и производится самим человеком и его деятельность, она оказывает пагубное воздействие на окружающую среду человека и ресурсы [1,2]. Итак, рассматриваются загрязнение окружающей среды и его последствия как одно из величайших преступлений человека против самого себя. Загрязняющие вещества может привести к первичному повреждению, с прямым идентифицируемым воздействием на окружающую среду, или вторичный ущерб в виде незначительных возмущений в тонком балансе биологической пищевой сети, которые обнаруживаются только в течение длительных периодов времени [57].

Водные среды обитания, особенно пресноводные экосистемы, являются более подвержены загрязнению, чем другие среды, потому что в процессе водопользования в промышленных процессах, а также сбросов стоки от промышленности и градостроительства возникает загрязнение [6,7]. Водные экосистемы могут справиться с определенной степенью загрязнения, но сильное загрязнение отражается в изменении фауны и климата и флоры сообщества, которое страдает от такого загрязнения. Например, река Нил

является главным источником пресной воды для Египта, обеспечивая почти все потребности в питьевой воде, орошении и промышленности [51]. Загрязнение реки Нил и ее притоков тяжелыми металлами могут оказывать разрушительное воздействие на экологический баланс Земли, водную среду и разнообразие водных организмов. Хорошо известно, что уровень тяжелых металлов в воде и осадки некоторых участков реки Нил превышают предельные значения, установленные египетским Главным управлением по стандартам и качеству. К озерам Северной дельты Египта относятся озеро Эдку, озеро Бороплюс, озеро Манзала и озеро Мариут. Эти озера расположены на Средиземноморском побережье дельты и охватывает около 6% площади не пустынной поверхности Египта. Озера есть важный природный ресурс для производства рыбы в Египте. До тех пор, эти озера всегда вносили больше чем 40% из общего объема производства рыбы в стране, но в настоящее время он снизился менее чем на 12,22% за последние 20 лет [10]. Загрязнение тяжелыми металлами было отмечено в воде, донных отложениях и собранных видах рыб из этих озер [11,12]. Береговая линия Египта простирается на 3000 км вдоль Суэцкого и Акабского заливов. Пляжи Средиземного и Красного морей в дополнение к заливу. К сожалению, большинство египетских заливов загрязнены. Загрязнение тяжелыми металлами является одной из наиболее серьезных проблем в водной среде. В Египте загрязнение окружающей среды с помощью тяжелыми металлами - одна из самых больших проблем, с которыми сталкивается человек. Металлы являются естественными микроэлементами водной среды, но их уровни были увеличены из-за промышленных отходов, геохимической структуры, сельскохозяйственной и горнодобывающей деятельности. Тяжелые металлы являются общими загрязнителями и поступают из различных природных и антропогенных источников. Металлы влияют на клеточные органеллы и вызывают токсичность и канцерогенность.

Прибрежные зоны подвержены интенсивным выбросам загрязняющих веществ от многочисленных антропогенных источников [13]. Некоторые из

прибрежных районов (особенно перед крупными городами) получают различные виды источников загрязнений [42]. В прибрежных экосистемах металлы присутствуют в любом из них. Соли тяжелых металлов находятся в растворенном состоянии в толще воды или осаждаются на слой осадка, в зависимости от природы химического вещества виды и физико-химические факторы, такие как pH, проводимости, солености и органических веществ [15-17]. После индустриализации, неестественные количества металлов, таких как Cd, Cu, Pb, Ni и Zn были выпущены, и продолжают быть выпущенными в водную среду и окружающую среду через ливневые стоки и сбросы сточных вод.

Тяжелые металлы имеют большое экологическое значение, так как они не удаляются из воды в результате самоочищения, но накапливаются в резервуарах и попадают в пищевую цепь [39]. Показано преимущественно повышение уровней металла в пласте за счет увеличения их концентрации в донных отложениях. Соответственно, отложения представляют собой один из предельных поглотителей для тяжелых металлов, выбрасываемых в окружающую среду [49]. Тяжелые металлы поступают в водную экосистему из обоих источников: природных и антропогенных источников.

Важными природными источниками являются вулканическая активность, континентальное выветривание и лесные пожары. Вклад от вулканов могут возникать как крупные, но эпизодические выбросы из-за извержения вулкана или как другие низкие непрерывные выбросы, включая геотермальную активность и дегазацию магмы [22]. То антропогенные источники включают: сточные воды горнодобывающей промышленности, промышленные сточные воды, бытовые стоки и городские ливневые стоки, атмосферные источники, например сжигание ископаемого топлива и нефти деятельности промышленности.

Антропогенные факторы, геохимическая структура и добыча полезных ископаемых металлов создают потенциальные источники загрязнения

тяжелыми металлами в водной среде. Тяжелые металлы являются природными компонентами пород и почв и попадают в окружающую среду как следствие выветривания и эрозии [23]. При определенных условиях окружающей среды, тяжелые металлы могут накапливаться до токсической концентрации и наносят экологический ущерб. Загрязнителями тяжелых металлов становятся часто высокотоксичными для биоты. Это группа токсичных загрязняющих веществ, поскольку известна их высокая токсичности и стойкость во всей водной системе. Cd, Cu, Hg и Zn - это пять металлов с наибольшим потенциалом воздействия, которые попадают в окружающую среду в повышенных концентрациях через ливневые стоки и сбросы сточных вод вследствие сельскохозяйственной и промышленной деятельности. Zn и Cu используются в небольших количествах как удобрение в некоторых почвах с дефицитом этих элементов, в то время как As, Cd и Hg также являются компонентами некоторых фунгицидов и используется в качестве альгицида; а Cd и Zn встречаются в качестве загрязняющих веществ фосфатных удобрений. Из-за того, что концентрации потенциально токсичных веществ в морской воде чрезвычайно малы и значительно различаются в пространстве и времени, так что их определение сложно и полученные данные имеют сомнительное практическое значение и представляют малый интерес.

Для большинства тяжелых металлов антропогенные выбросы больше или равны естественным выбросам. При сгорании, например, этилированного бензина в автомобилях отвечает за широкое распространение свинца в мире [24]. As, Cd, Cu, Hg и Zn - это пять металлов с наибольшим потенциальным токсического воздействия, которые есть в окружающей среде в повышенных концентрациях вследствие сельскохозяйственной деятельности [255]. Например, Нил получает сброс сточных вод из 124 точечных источников, из которых 67 являются сельскохозяйственные стоки и остальные являются промышленными источниками. Общий объем сточных вод, сбрасываемых в основной ствол

объем реки Нил оценивается в 2628 млн кубометров в год, из которых промышленные сточные воды составляют 15% [46]. Большая часть дельты Нила страдает от суровых прибрежных условий, таких как эрозия, хотя адекватные меры защиты и смягчения последствий были рассмотрены. Большинство прибрежных лагун являются озерами, однако в кризис, страдают в первую очередь из-за стока промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод [43]. Вдоль Средиземноморского побережья Египта расположены восемь прибрежные провинции. Они идут с запада на восток. Огромное городское население и прилегающие сельскохозяйственные территории, все способствуют нагрузке загрязнения, достигнув прибрежных вод. Эти производства либо в непосредственной близости от прибрежных городов - пункты разгрузки имеют отвлечение оросительные каналы, дренажные каналы, через которые загрязняющие вещества сбрасываются непосредственно в море, или из прибрежных лагун в море. Александрийская губерния прибрежной зоны получает большую сумму загрязнения металлов из основных отраслей промышленности этого региона включают удобрения, агрохимикаты, целлюлозу, бумагу, электростанции, продукты питания, обработка, моющие средства, волокна, красители, текстиль и строительство материалы где, среднесуточные объемы промышленных выбросов до 30 000 и 128-261 000 м³ в сутки бытовые сточные воды и 1-2 миллион кубометров в сутки сельскохозяйственных отходов [41]. Акабский залив - это большой полузакрытый бассейн Красного моря. Египет, Израиль, Иордания и Саудовская Аравия имеют береговые линии на залив. В настоящее время залив сильно подвержен влиянию городских и промышленное загрязнение [30,31], судоходство и портовая деятельность [42], а также и туризм [53]. В воде сюда входят все формы металлов, начиная от растворенных ионы металлов, или комплексы с коллоидными формами и металлом внутри или адсорбируется на взвешенных частицах. Они также включает твердые тела металлов, которые могут присутствовать в осадке. Свободные ионы металлов

часто получается лишь в небольшом процентном соотношении от общего количества этого металла. Каждый вид металла транспортируется по-разному в воде и осадках и оказывает различное токсикологическое воздействие на окружающую среду [37]. Сравнение распределения тяжелых металлов с размером позволила идентифицировать область, где мелкая фракция осадка появляется под воздействием тяжелых металлов из антропогенного загрязнения [1]. Необходимо учитывать два основных фактора: учитывается оценка риска возникновения загрязненный тяжелыми металлами; общее количество соответствующего тяжелого металла и его химическая связующая форма. Исследования на тему производства удобрений, также может повлиять на присутствие тяжелых металлов. Эти антропогенные виды деятельности повышают концентрацию некоторых загрязняющих веществ в регион [34]. Несмотря на различные источники тяжелых металлов, прибрежные и морские отложения считаются основной средой концентрации для тяжелых металлов и присутствие металлов в водных системах [35]. В осадке эти загрязняющие вещества могут адсорбироваться на несколько фракций, дает хорошо осадок <63 мкм, органическое вещество и глинистые минералы из-за их большой площади поверхности на единицу массы и высокую емкость катионного обмена [36]. Таким образом, дифференциальная адсорбция тяжелых металлов в осадки зависят от содержания мелких зерен, органического вещества и содержание минералов глины.

Тяжелые металлы в водной среде имеют разнообразную природу. Наиболее важным из них является соотношение токсичности в окружающей среде. Однако, поскольку наш земной шар содержит 70% воды, исследования загрязняющих веществ, которые проникают в водную систему, включают: первостепенное значение, в частности, имеются металлы кумулятивного действия Pb и Cd. Естественное содержание металлов в морской воде рассматриваются от геохимического фона. Океаны и моря основные приемники металлов, поступающих из нескольких стоков, как рек,

промышленных, сельскохозяйственных и сточных вод [38]. Попадая в водную среду, металлы разделяются среди различных водных экологических сред (вода, взвешенные вещества, осадки и биота), металл в водной среде может находиться в растворенных, твердых частицах или сложной форме. Основные процессы, регулирующие распределение и разделение: разбавление, рассеивание, седиментацию и адсорбция / десорбция, тем не менее, некоторые химические процессы также могут произойти. Таким образом, образование соединений под различными растворимыми формами регулируется нестабильностью, состоит из различных комплексов и по физико-химическим свойствам воды (pH, растворенные ионы, Eh и температура [39]).

2. Программа, объекты и методы исследований

2.1 объект исследований

Объекты исследования. В работе были исследованы высшие водные растения, произрастающие в различных экологических группах и водоемах с различной экологической нагрузкой, следующих видов:

- рдест пронзеннолистный - *Potamogeton perfoliatus* L.,
- стрелолист обыкновенный - *Sagittaria sagittifolia* L.,
- ряска малая - *Lemna minor* L.,
- элодея канадская - *Elodea canadensis* Rich.,

роголистник - *Ceratophyllum demersum* L.,

частуха подорожниковая - *Alisma plantago-aquatica* L.

сусак зонтичный - *Butomus umbellatus* L.



Рисунок 1 Схема расположения озера в населенном пункте Званка



Рисунок 1 Снимок со спутника озера в населенном пункте Званка



Рисунок 1 Снимок со спутника места отбора растений реки Казанка
(Старое русло)

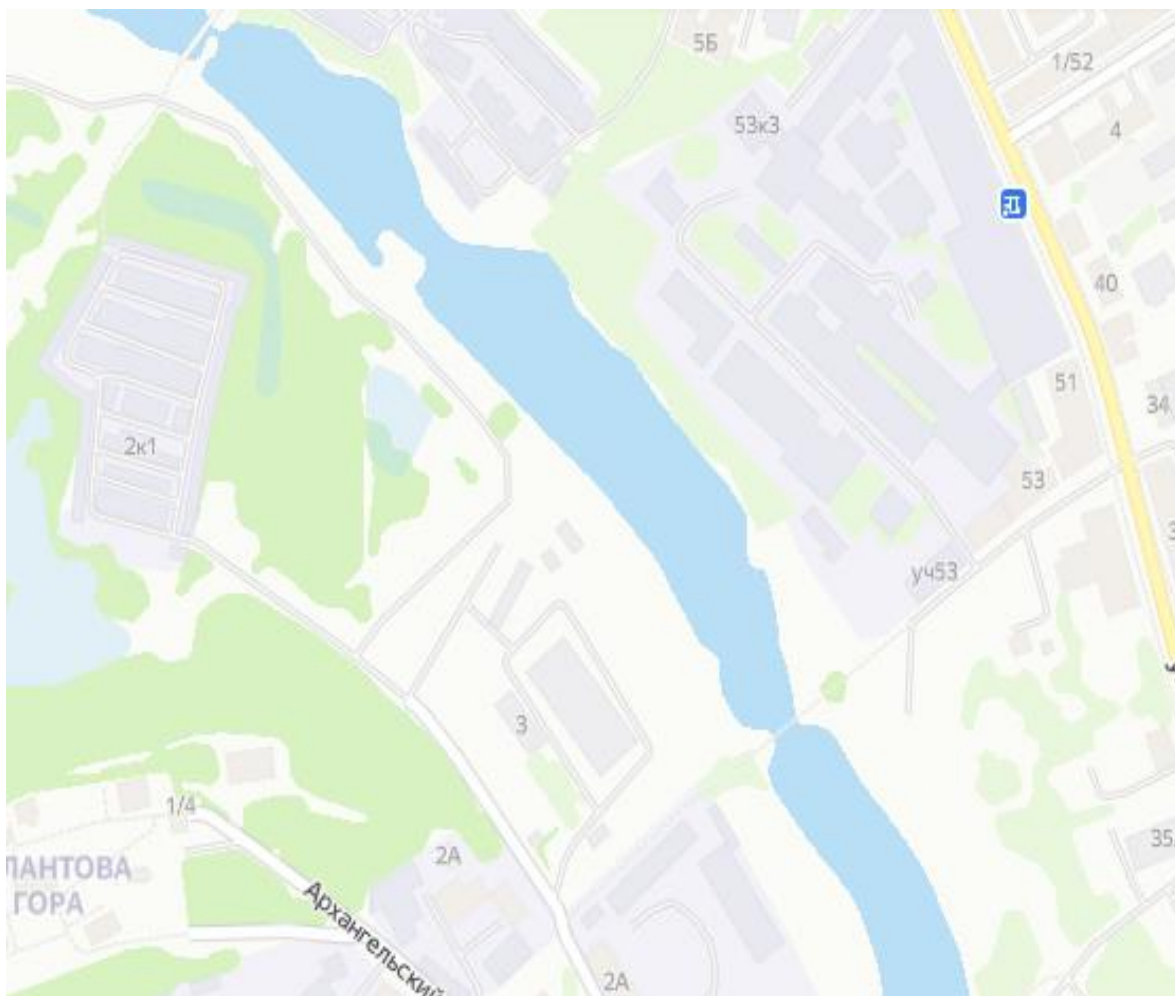


Рисунок 1 Схема места отбора растений реки Казанка (Старое русло)

Условия произрастания исследуемых видов, позволяют распределить их по трем экологическим группам: плавающие не прикрепленные, подводные и надводные [32]. Экологические группы - плавающие неприкрепленные - ряска малая; подводные растения - роголистник, элодея канадская, рдест пронзеннолистный; надводные растения - стрелолист обыкновенный, сусак зонтичный, частуха подорожниковая.

Таблица 1

Условия обитания исследуемых растений

Экологическая группа	Русское название	Латинское название
плавающие неприкрепленные	ряска малая	<i>Lemna minor</i> L.,
подводные растения	рдест пронзеннолистный	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.,
	элодея канадская	<i>Elodea canadensis</i> Rich.,
	рдест пронзеннолистный	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.,
надводные растения	стрелолист обыкновенный	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.,
	сусак зонтичный	<i>Butomus umbellatus</i> L.,
	частуха подорожниковая	<i>Alisma peantago-aquatica</i> L.

Отбор проб растений производился на следующих водоемах: река Казанка (Старое русло) и озере в населенном пункте Званка.

Река Казанка - левый приток реки Волга. Длина 140 км, площадь бассейна 2600 км². Исток севернее села Бимери Арского района, протекает по территории Высокогорского района, нижнее течение и устье в черте города Казань. Абсолютная высота истока 160 м, устья – 53 м. После заполнения Куйбышевского водохранилища до отметки 53 м низовья Казанки от села Большие Дербышки находятся в зоне подпора, и участок реки в пределах Казани превратился в широкий залив, пригодный для судоходства.

До создания водохранилища и дамб инженерной защиты города Казанка в самом нижнем течении протекала по другому руслу: с востока, севера и запада огибала Зилантову гору и между поселком Игумново и Адмиралтейской слободой впадала в Волгу. До середины 1950-х годов в устье Казанки располагались паромные пристани. В 1955–1957 годах от центра города в Заречье была построена транспортная дамба, названная Кировской, и под ней проложено новое русло Казанки. Старое русло потеряло гидрологическое сообщение с рекой и стало непроточным.

По гидрологическому режиму озеро в населенном пункте Званка является проточным. Организованного выпуска промышленных и хозяйственно-бытовых стоков в данное озеро не производится. Водоем не утратил связь с коренным руслом, находятся рядом с автотрассой. Озеро не испытывает серьезной антропогенной нагрузки и загрязняется только поверхностным стоком с прилегающих территорий и водами весеннего паводка.

Целью настоящей работы явилось определение содержания тяжелых металлов в высшей водной растительности в водоемах, испытывающих различную антропогенную нагрузку.

В ходе исследований решались следующие задачи:

1) анализ содержания металлов Mn, Cu и Pb в растениях, представителях различных экологических групп, произрастающих в исследуемых водоемах;

2) выявить степень накопления Mn, Cu и Pb в растениях водоемов с различной степенью антропогенной нагрузки.

2.2 Методика отбора проб. Подготовка проб к анализу. Метод анализа

Отобранные для исследования образцы растений, промывали проточной водой, ополаскивали. Далее высушивали до воздушно-сухого состояния и затем абсолютно сухого состояний. Озоление проводили при 450°C в муфельной печи до состояния белой золы.

Концентрацию исследуемых элементов в золе растений определяли атомно-эмиссионным спектральным методом на атомно абсорбционном спектрофотометре в лаборатории токсикологического анализа ФГБУ "Татарская межрегиональная ветеринарная лаборатория" (Республика Татарстан, г. Казань, ул. Родины, 25а).

2.3 Методы статистической обработки результатов исследований

В качестве основного статистического параметра совокупности данных использовалось среднее арифметическое ряда вариант:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n},$$

где $\bar{X}$ - среднее значение ряда вариант;

$X_1, X_2 \dots X_n$ - частные значения вариант;- число вариант.

Показатели вариации экспериментальных данных оценивались по следующим критериям.

Стандартное отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

где $\bar{X}$ - среднее значение ряда вариант;

x_i - частные значения вариант;- число вариант.

Точность прямого измерения (доверительный интервал):

$$\varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha} \times \frac{S}{\sqrt{n}},$$

где ε_{α} - точность прямого измерения;

t_{α} - критерий Стьюдента;

S- стандартное отклонение;

n- число вариантов.

Расчет статистических параметров производился с использованием программного обеспечения ПЭВМ

3. Результаты исследований и их анализ

3.1 Содержание меди, марганца и свинца в водных растениях

Изучив цифровой материал аналитических исследований содержания Cu, Mn и Pb в водных растениях, произрастающих в водоемах г. Казань установлена, положительная корреляционная концентрации изученных тяжелых металлов в макрофитах и их видовой принадлежностью. Таблица 1 демонстрирует результаты аналитических исследований среднего содержания меди и интервал ошибки средней у исследованных видов макрофитов из различных водоемов города и прилегающих территорий. Наибольшие показатели концентрации меди показали в порядке убывания частуха подорожниковая, роголистник и ряска малая. За ними идут (в порядке убывания концентрации) стрелолист обыкновенный, элодея канадская, сусак зонтичный, рдест пронзеннолистный. Виды частуха,

роголистник, ряска и стрелолист по величине абсолютного содержания меди оказались водными растениями, способными накапливать данный элемент в своих тканях. Частуха, роголистник, ряска, стрелолист образуют группу растений концентраторов меди. Максимальная величина меди в тканях ряски и стрелолиста доходит до 15 мг/кг сухой массы, а у частухи и роголистника до 19 мг/кг сухой массы. Среднее накопление меди отмечено у элодеи и сусака, концентрация меди в них в среднем составляет 7-8 мг/кг сухой массы. Рдест пронзеннолистный характеризуется наиболее низким содержанием меди среди изученных видов макрофитов (максимум составляет 4 мг/кг сухой массы).

Таблица 1

Содержание меди в тканях различных видов водных растений

Вид	Содержание меди в тканях, мг/кг сухой массы
рдест пронзеннолистный <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.,	2,96±1,20
сусак зонтичный <i>Butomus umbellatus</i> L.,	6,15±1,21
элодея канадская <i>Elodea canadensis</i> Rich.,	7,65±1,12
стрелолист обыкновенный <i>Sagittaria sagittifolia</i> L.,	11,20±3,1
ряска малая <i>Lemna minor</i> L.,	11,97±3,98
роголистник <i>Ceratophyllum demersum</i> L.,	14,10±1,02
частуха подорожниковая <i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	16,73±4,9

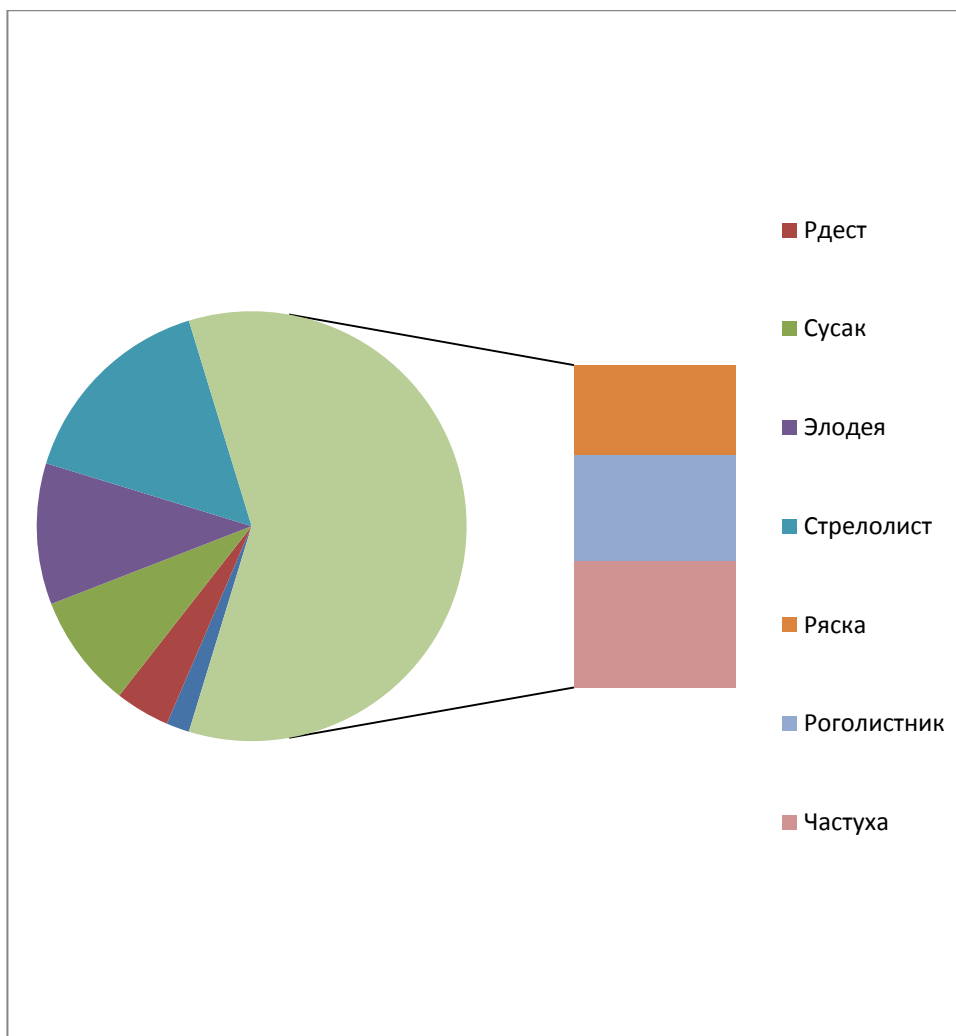


Рисунок 1 Концентрация Cu меди в тканях исследованных видов водных растений

Количественные характеристики содержания марганца в исследованных видах характеризуется следующим рядом водных видов растений в порядке убывания марганца: частуха подорожниковая, стрелолист обыкновенный, сусак зонтичный, элодея канадская, рдест пронзеннолистный, ряска малая, роголистник (рис. 2). При этом различия по накоплению Mn между крайними членами ряда составляют 9.

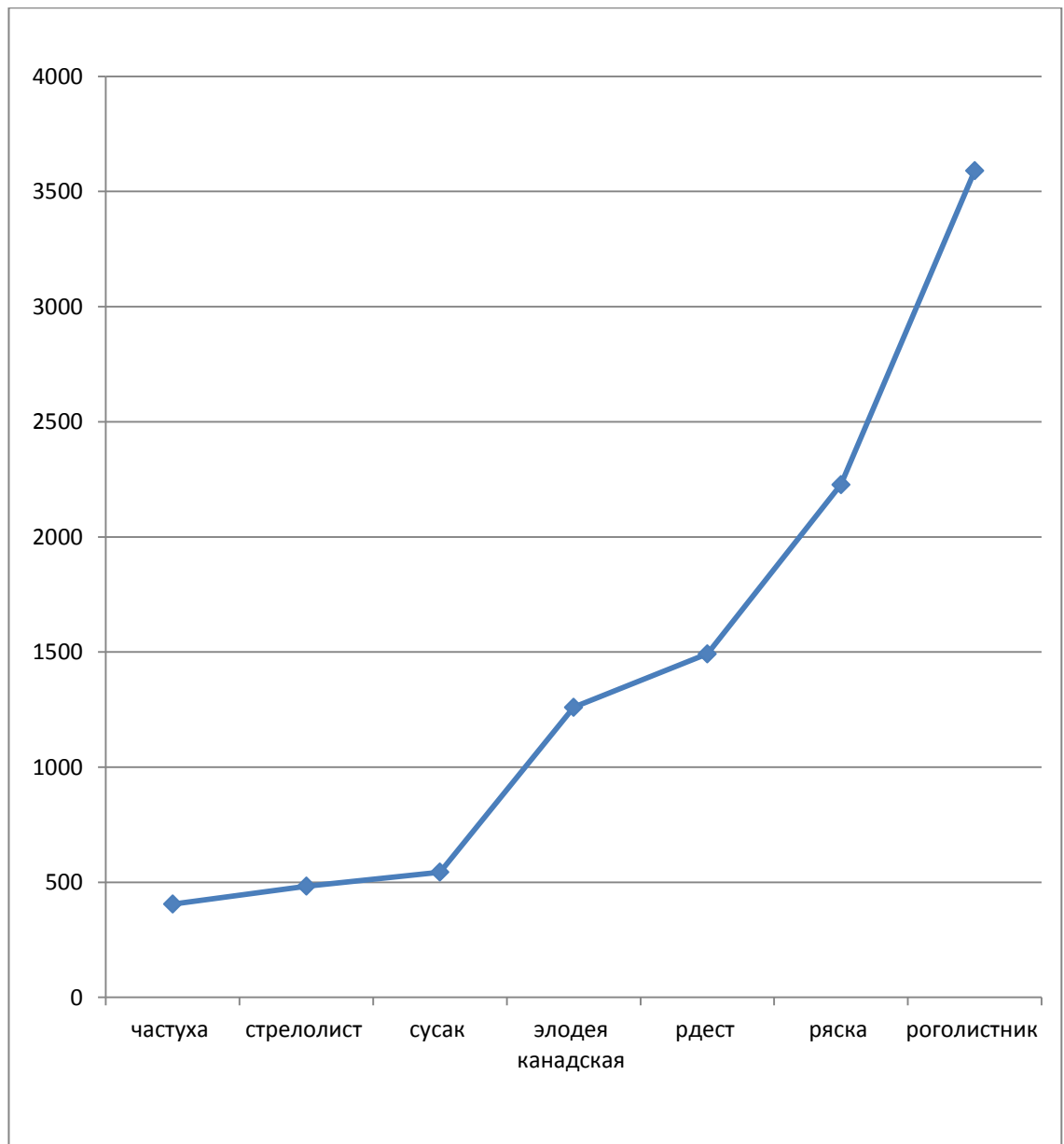


Рисунок 2 Концентрация Mn марганца в тканях исследованных видов водных растений

Содержание Mn марганца в сухой массе тканей ряски и роголистника доходит до 2500 и 4000 мг/кг сухой массы соответственно. Ряску и роголистник можно считать концентраторами марганца. Марганец накапливается на среднем уровне в растениях элодея и рдест, с максимумами концентраций 1300 и 1550 мг/кг сухой массы соответственно. Такие виды, как стрелолист обыкновенный, сусак зонтичный, частуха подорожниковая обладают незначительной способностью к накоплению марганца среди изученных макрофитов (в среднем от 450 до 480 мг/кг сухой

массы).

Таблица 2

Содержание марганца в тканях различных видов водных растений

Вид	Содержание марганца в тканях, мг/кг сухой массы
частуха подорожниковая <i>Alisma peantago-aquatica</i> L.	405±10,55
стрелолист обыкновенный <i>Sagittaria sagittifolia</i> L.,	483±10,9
сусак зонтичный <i>Butomus umbellatus</i> L.,	544±22,01
элодея канадская <i>Elodea canadensis</i> Rich.,	1260±40,1
рдест пронзеннолистный <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.,	1492±51,08
ряска малая <i>Lemna minor</i> L.,	2227±59,02
роголистник <i>Ceratophyllum demersum</i> L.,	3590±62,9

Изучив цифровые данные аналитических исследований по содержанию свинца в золе водных растений сусак зонтичный, роголистник, рдест пронзеннолистный, стрелолист обыкновенный, ряска малая, частуха подорожниковая, элодея канадская замечено, что видовая изменчивость концентрации свинца имеет большую амплитуду от 12 до 2 мг/кг сухой массы. Максимум зарегистрирован у элодеи и частухи 12,00 и 7,2 мг/кг сухой массы соответственно. Минимальные значения выявлены у видов сусак зонтичный, роголистник и рдест пронзеннолистный 2,45, 3,5 и 3,9 мг/кг сухой массы соответственно. Кратность накопления свинца в изученных водных растениях составляет 6 раз от минимального к максимальному виду концентратору от 12 до 2 мг/кг сухой массы. Если расположить виды исследованных растений в порядке возрастания концентрации свинца в золе, то ряд будет выглядеть следующим образом: сусак зонтичный, роголистник, рдест пронзеннолистный, стрелолист обыкновенный, ряска малая, частуха подорожниковая, элодея канадская. Среднее значение исследуемой величины отмечено у ряски малой, стрелолиста обыкновенного и частухи

подорожниковой 4,5, 4,8, 7,2 мг/кг сухой массы соответственно.

Таблица 2

Содержание свинца в тканях различных видов водных растений

Вид	Содержание свинца в тканях, мг/кг сухой массы
частуха подорожниковая <i>Alisma peantago-aquatica</i> L.	7,2±2,55
стрелолист обыкновенный <i>Sagittaria sagittifolia</i> L.,	4,83±1,9
сусак зонтичный <i>Butomus umbellatus</i> L.,	2,45±0,51
элодея канадская <i>Elodea canadensis</i> Rich.,	12,00±4,2
рдест пронзеннолистный <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.,	3,9±1,6
ряска малая <i>Lemna minor</i> L.,	4,5±1,92
роголистник <i>Ceratophyllem demersum</i> L.,	3,5±0,9

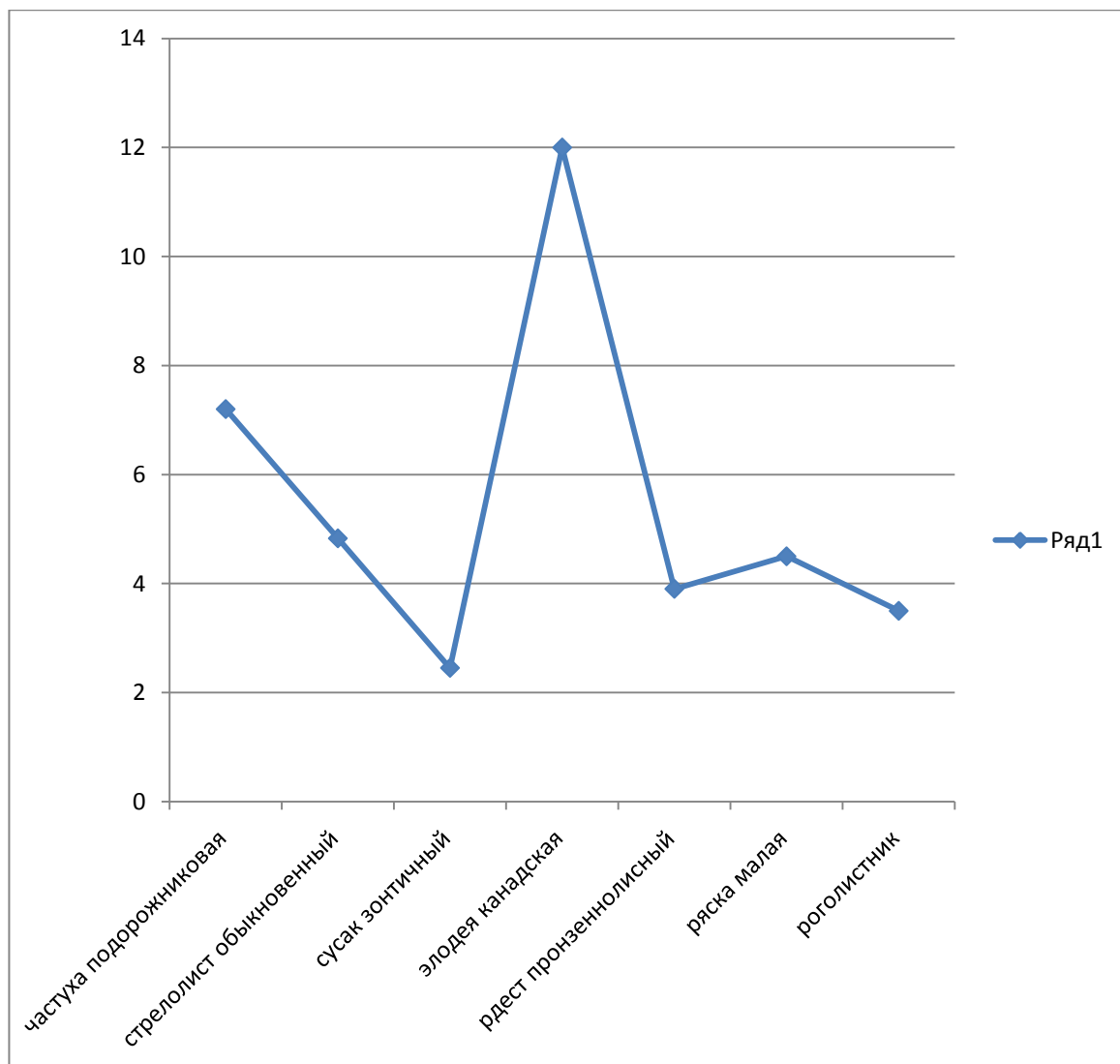


Рисунок 2 Концентрация Pb свинца в тканях исследованных видов водных растений

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Содержания марганца, меди, и свинца в водных фотосинтезирующих растениях, плавающие на поверхности воды или погруженные в ее толщу, водоемов г. Казнь выявили изменчивость их количественных показателей. Способность к концентрации элементов в тканях водных растений в некоторой степени обусловлена физиологическими различиями и экологическими особенностями видов. Растения, в которых проводилось измерение концентрации тяжелых металлов, разделились на несколько групп по способности конвертировать тот или иной элемент. Так среди обследованных видов и элементов обследованных концентраторами меди

стали частуха подорожниковая, роголистник, ряска малая, стрелолист обыкновенный. Концентраторами марганца в исследовании отмечены роголистник и ряска малая. Набольшие показатели аккумуляции свинца наблюдали у элодеи канадской и частухи подорожниковой. В комплексной оценке накопления Cu, Mn, Pb видами макрофитов различных экологических групп в водоемах г. Казань, выявлены различия. Так различия в накопления Cu, Mn, Pb составляют от 5-6 раз для меди и марганца, до 3 раз для свинца.

В итоге проведенных исследований, установлено:

- для тяжелых металлов участвующих в физиологических процессах растений свойственны значительные величины их концентраций в исследованных видах макрофитов, в нашем случае это марганец и медь;
- для свинца, характерно незначительное накопление в тканях водных растений, его ролью в обменных процессах растений не установлена;
- в различных экологических группах концентрация изученных элементов (Pb, Cu и Mn) имела различные значения.

Исследования содержания марганца, меди, и свинца в водных фотосинтезирующих растениях, плавающие на поверхности воды или погруженные в ее толщу, водоемов г. Казань выявили изменчивость их количественных показателей. Способность к концентрации элементов в тканях водных растений в некоторой степени обусловлена физиологическими различиями и экологическими особенностями видов. Макрофиты, в которых проводились измерение концентрации тяжелых металлов, разделились на несколько групп по способности конвертировать тот или иной элемент. Так среди обследованных видов и элементов концентраторами меди стали частуха подорожниковая, роголистник, ряска малая, стрелолист обыкновенный. Концентраторами марганца в исследовании отмечены виды роголистник и ряска малая. Набольшие показатели аккумуляции свинца наблюдали у элодеи канадской и частухи подорожниковой. В комплексной оценке накопления Cu, Mn, Pb видами макрофитов различных экологических групп в водоемах г. Казань, выявлены

различия.

На уровень концентрации тяжелых металлов водными растениями оказывают влияние комплекс различных факторов – это в первую очередь среда обитания и физиологические особенности растения. Оценивая экологическое состояние водоемов целесообразно учитывать эти факторы.

При применении макрофитов в качестве биоиндикаторов необходимо учитывать, что значительное содержание какого-либо элемента в растении не всегда является следствием высоких концентраций этого загрязнителя среде обитания.

3.2 Влияние условий произрастания на содержание меди, марганца и свинца в макрофитах

Проведенные исследования водных растений двух водоемов города Казань и прилегающей рекреационной зоны, показали зависимость степени накопления тяжёлого металла от экологической группы, к которой принадлежит вид растения. Виды растений сгруппировали по условиям их произрастания (таблица 1).

Таблица 1

Условия обитания исследуемых растений

Экологическая группа	Русское название	Латинское название
плавающие неприкрепленные	ряска малая	<i>Lemna minor</i> L.,
подводные растения	рдест пронзеннолистный	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.,
	элодея канадская	<i>Elodea canadensis</i> Rich.,
	рдест пронзеннолистный	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.,
надводные растения	стрелолист обыкновенный	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.,
	сусак зонтичный	<i>Butomus umbellatus</i> L.,

	частуха подорожниковая	<i>Alisma peantago-aquatica L.</i>
--	------------------------	------------------------------------

Сопоставили величины тяжелых металлов в золе растений и пересчитали на сухую массу растения. Данных по накоплению меди, свинца и марганца растениями трех экологических групп отражены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в макрофитах разных экологических групп

Экологическая группа	Концентрация тяжелых металлов сухой массе растений (мг/кг)		
	медь	марганец	свинец
плавающие неприкрепленные	11,97	2227	4,5
подводные растения	8,1	1520	4,9
надводные	7,5	262	2,9

Способность к концентрации меди в тканях растений, по полученному цифровому материалу аналитических исследований, распределилась по следующей закономерности: максимальное количество меди видим у плавающих неприкрепленных (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 11,97 мг/кг). Подводные и надводные растения приблизительно одинаково концентрируют медь из окружающей среды (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 8,1 и 7,5 мг/кг соответственно).

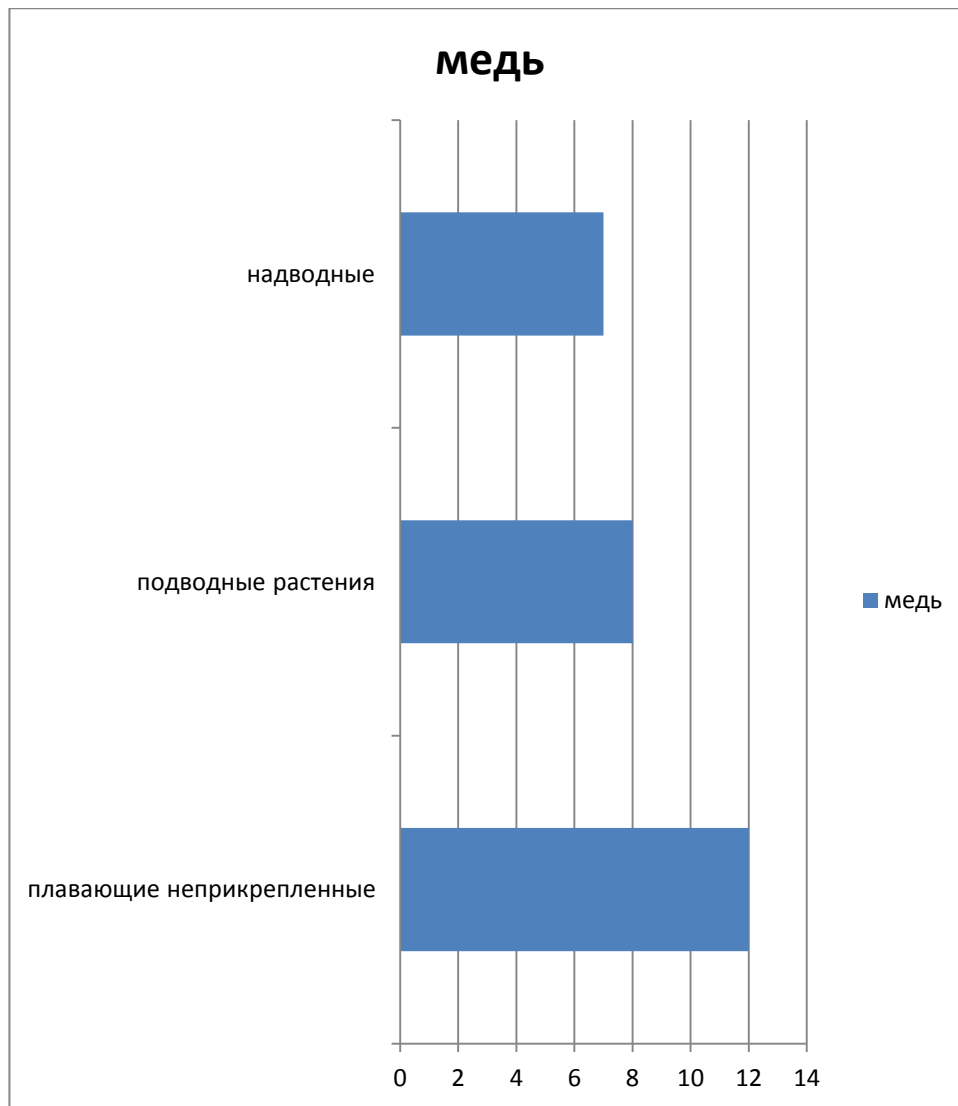


Рисунок 1 Содержание меди в макрофитах разных экологических групп (мг/кг сухой массы)

Способность к концентрации марганца в тканях растений, по полученному цифровому материалу аналитических исследований, распределилась по следующей закономерности: максимальное количество меди видим у плавающих неприкрепленных (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 2227 мг/кг). Подводные растения концентрируют марганец из окружающей среды чуть меньше плавающих неприкрепленных (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 1520 мг/кг). Надводные растения концентрируют марганец из окружающей среды существенно меньше плавающих неприкрепленных (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 262 мг/кг).

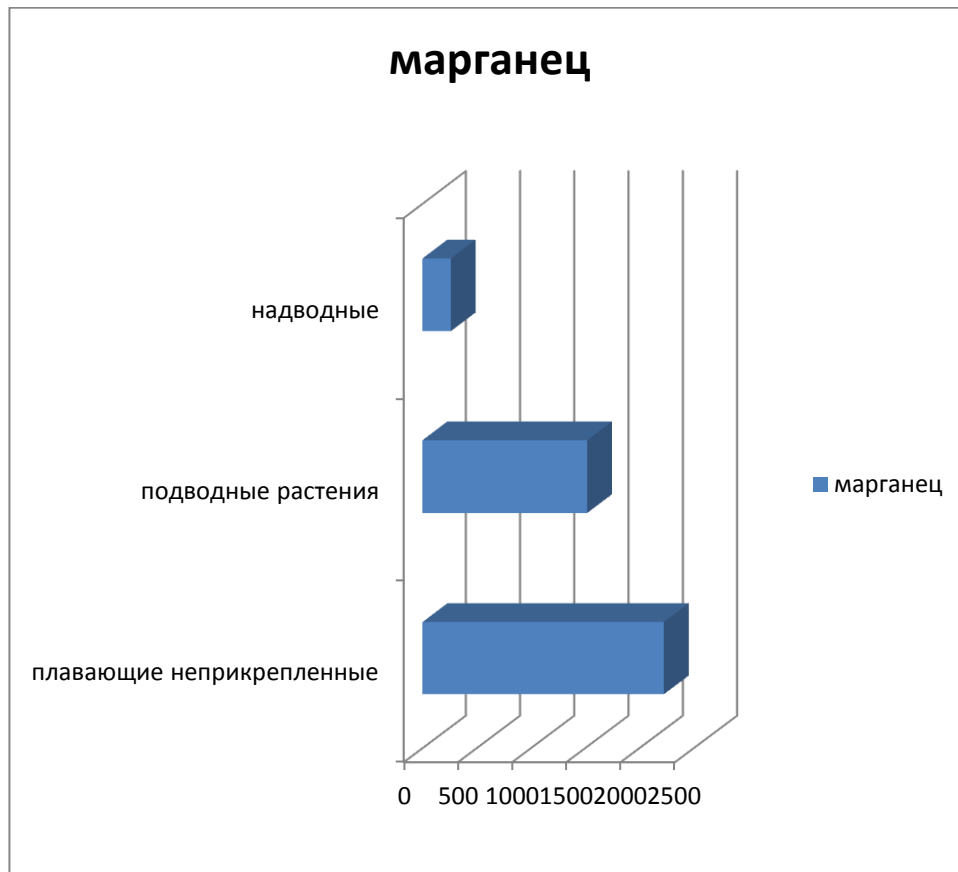


Рисунок 1 Содержание марганца в макрофитах разных экологических групп (мг/кг сухой массы)

Способность к концентрации свинец в тканях растений, по полученному цифровому материалу аналитических исследований, распределилась по следующей закономерности: максимальное количество меди видим у подводных растений (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 4,9 мг/кг). Плавающих неприкрепленных растения концентрируют свинец из окружающей среды чуть меньше плавающих неприкрепленных (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 4,9 мг/кг). Надводные растения концентрируют свинец из окружающей среды существенно меньше плавающих неприкрепленных (концентрация тяжелых металлов сухой массе растений 2,9 мг/кг).

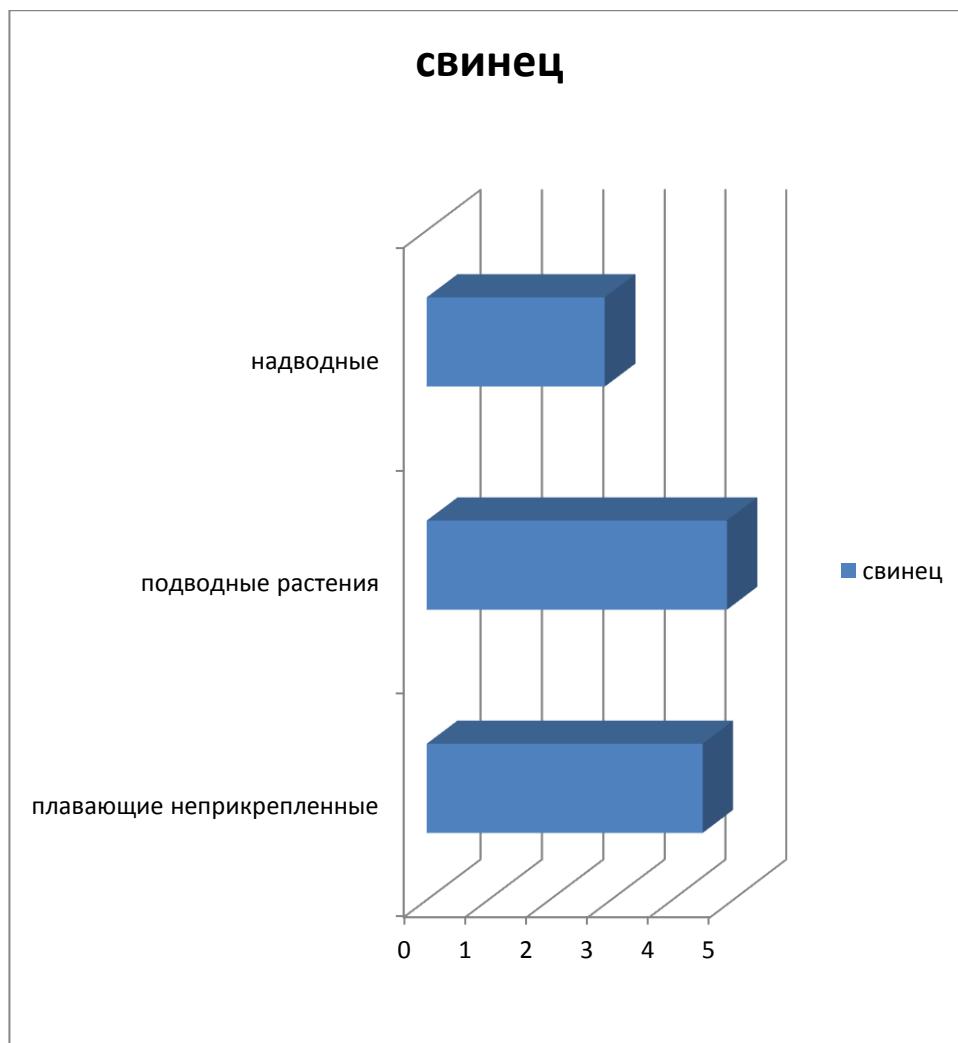


Рисунок 1 Содержание свинца в макрофитах разных экологических групп (мг/кг сухой массы)

По трем изучаемым элементам, надводная экологическая группа имеют более низкие значения анализируемых металлов по сравнению с двумя другими группами. Надводная группа растений занимает промежуточное положение между наземными и водными видами.

3.3 Влияние техногенной нагрузки на содержание меди, марганца и свинца в макрофитах

Экологическая обстановка в месте произрастания растений, так или иначе влияет на степень накопления элементов. При исследовании

некоторых видов водных растений двух выбранных водоемов, озера населенного пункта Званка и старого русла реки Казанка, видим бо́льшее содержание свинца и меди в золе тканей растений с реки Казанка. Результаты анализа данных объяснимы разной степенью техногенной нагрузки на выше указанные водные объекты, а именно река Казанка до создания водохранилища и дамб инженерной защиты города Казанка в самом нижнем течении протекала по другому руслу: с востока, севера и запада огибала Зилантову гору и между поселком Игумново и Адмиралтейской слободой впадала в Волгу. До середины 1950-х годов в устье Казанки располагались пароходные пристани. В 1955–1957 годах от центра города в Заречье была построена транспортная дамба, названная Кировской, и под ней проложено новое русло Казанки. Старое русло потеряло гидрологическое сообщение с рекой и стало непроточным. В месте с тем, река Казанка (старое русло), многие годы по сути являюсь местом не организованного стока загрязненных вод с территорий ранее прилегающих производственных предприятий (Медапаратура, Сантехприбор, Верталетный завод, Кожевенное предприятие, Льнокомбинат).

По гидрологическому режиму озеро в населенном пункте Званка является проточным. Организованного выпуска промышленных и хозяйственно-бытовых стоков в данное озеро не производятся. Водоем не утратил связь с коренным руслом, находятся рядом с автотрассой. Озеро не испытывает серьезной антропогенной нагрузки и загрязняется только поверхностным стоком с прилегающих территорий и водами весеннего паводка.

Таблица 2

Содержание элементов в ряске малой

		Концентрация тяжелых металлов сухой массе ряски малой (мг/кг)		
Место	отбора	Cu	Mn	Pb

проб			
Казанка (старое русло)	$18,9 \pm 5,98$	$3687 \pm 70,02$	$6,5 \pm 2,2$
Озеро н.п. Званка	$10,57 \pm 3,98$	$2102 \pm 59,02$	$4,5 \pm 1,92$

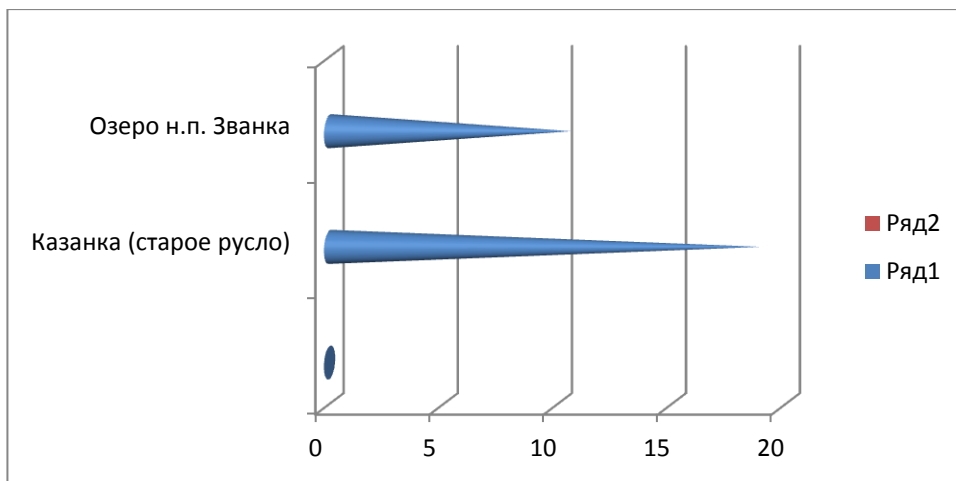


Рисунок 1 Концентрация меди в сухой массе ряски малой (мг/кг)

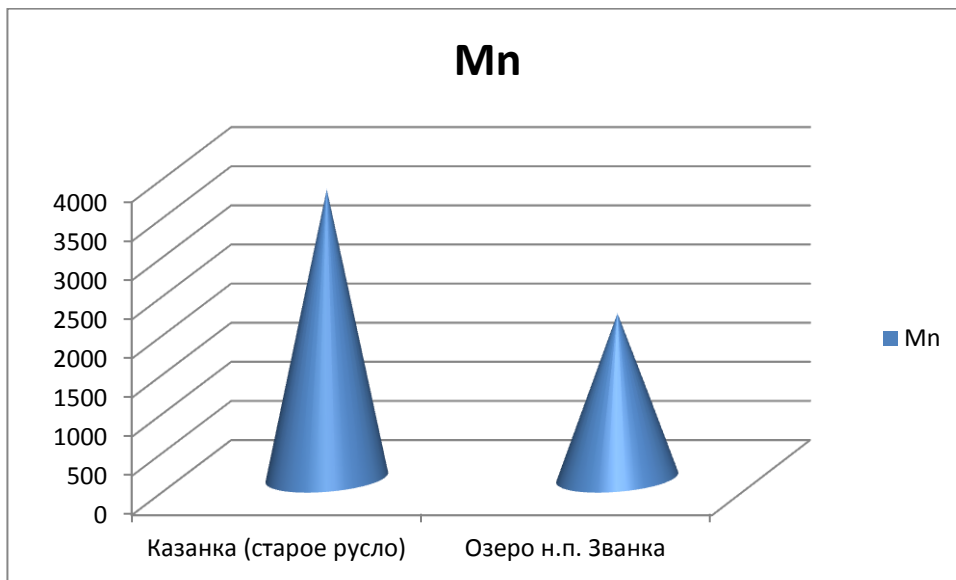


Рисунок 1 Концентрация меди в сухой массе ряски малой (мг/кг)

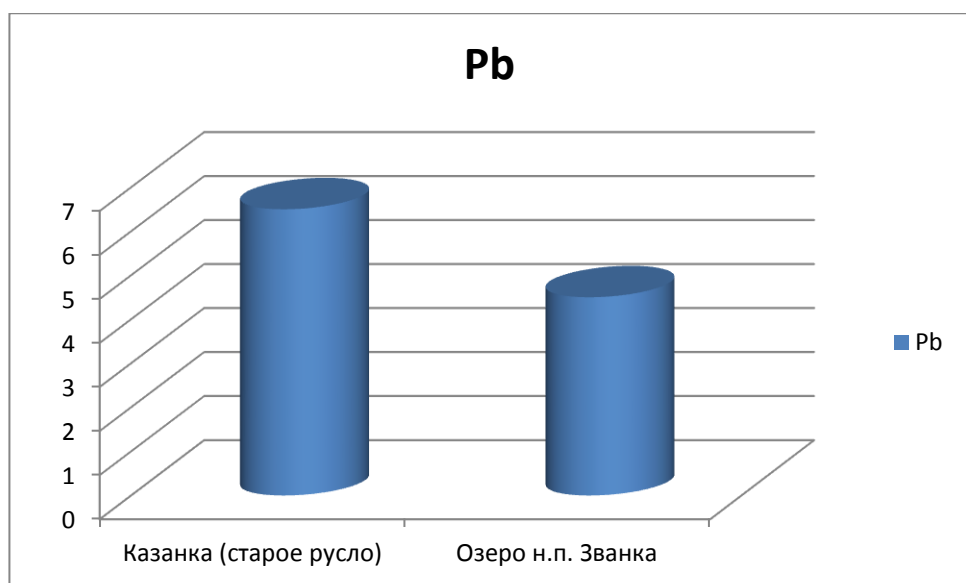


Рисунок 1 Концентрация свинца в сухой массе ряски малой (мг/кг)

Таблица 2

Содержание элементов в рдесте

Место отбора проб	Концентрация тяжелых металлов сухой массе ряски малой (мг/кг)		
	Cu	Mn	Pb
Казанка (старое русло)	6,4±1,93	1612±62,18	10,0±2,6
Озеро н.п. Званка	2,96±1,20	1492±51,08	3,9±1,6

Марганец поглощался и накапливается в тканях рдеста, произрастающего в озере населенного пункта Званка, где донные илы и водные массы также не характеризовались высокими концентрациями металла по сравнению со старым руслом реки Казанка. В месте с тем, в реке Казанка (старое русло), которое по сути являюсь многие годы местом не организованного стока загрязненных вод с территорий ранее прилегающих производственных предприятий (Медапаратура, Сантехприбор, Верталетный завод, Кожевенное предприятие, Льнокомбинат), в тканях рдеста отмечается

меньшее содержание этого элемента. В связи с этим, при применении макрофитов в качестве биоиндикаторов необходимо учитывать, что значительное содержание какого-либо элемента в растении не всегда является следствием высоких концентраций этого загрязнителя среде обитания.

На уровень концентрации тяжелых металлов водными растениями оказывают влияние комплекс различных факторов – это в первую очередь среда обитания и физиологические особенности растения. Оценивая экологическое состояние водоемов целесообразно учитывать эти факторы.

Физическая культура на производстве.

Физическая культура на производстве является главным фактором ускорения научно-технического прогресса и производительности труда. Поэтому выпускник Казанского ГАУ, который освоил программы бакалавриата, должен уметь использовать методы и средства физической культуры для того, чтобы обеспечить полноценную социальную и профессиональную деятельность.

На основе физической культуры лежат физические упражнения, с помощью которых индивид всесторонне совершенствует себя. Происходит развитие его двигательных качеств, умений и навыков, которые необходимы для профессиональной деятельности. Для этого используют следующие способы и методы. Направленные на развитие физических способностей:

- ударные дозированные движения в вынужденных позах;
- выработка вращательных движений пальцев и кистей рук;
- развитие статической и динамической выносливости мышц пальцев и кистей рук;
- развитие ручной ловкости, кожной и мышечно-суставной чувствительности, глазомера;

- развитие силы и статической выносливости позных мышц спины, живота и разгибателей бедра;
- развитие точности усилий мышцами плечевого пояса.

В занятия по физической культуре на производстве следует включать различные виды спорта, так как это способствует сохранению здоровья индивидуума, его психического благополучия и совершенствуются физические способности. Творческое использование физкультурно-спортивной деятельности в этих условиях направлено на достижение жизненно-важных и профессиональных целей индивидуума.

Техника безопасности при работе в лаборатории

Многие из веществ, используемых в органической химии, являются в той или иной мере воспламеняющимися, или токсичными, или теми и другими одновременно. Поэтому при работе в лаборатории необходимо строго соблюдать основные правила техники безопасности независимо от того, какой выполняют эксперимент. Категорически запрещается работать одному в лаборатории, так как в экстренном случае будет некому оказать пострадавшему первую помощь и ликвидировать последствия неудавшегося эксперимента. Работать следует только в отведенное время под контролем преподавателя или других сотрудников. Необходимо соблюдать тишину, чистоту и порядок. Поспешность и неряшливость в работе часто приводят к несчастным случаям. Нельзя отвлекать от работы и отвлекать своих товарищей. Запрещается держать на лабораторном столе посторонние предметы (сумки, учебники и т.д.). Категорически запрещается принимать и хранить пищу, пить водку и курить. Каждый должен знать, где находятся средства индивидуальной защиты, аптечка, средства для тушения пожара. Кроме очков, в лаборатории должны быть защитные маски, респираторы и противогазы. Во всех лабораториях в легко доступных местах находятся средства для пожаротушения (ящики с песком и совком, огнетушители, противопожарные одеяла), а также аптечки, которые снабжены всеми медикаментами, необходимыми для оказания первой медицинской помощи

(растворы борной кислоты, гидрокарбоната натрия, перманганата калия, танина, нашатырного спирта, а также вата, бинт, иодная настойка, активированный уголь, мазь от ожогов, склянка для промывания глаз). В лаборатории необходимо находиться в застегнутом хлопчатобумажном халате. Это обеспечивает некоторую индивидуальную защиту и позволяет избежать загрязнения одежды. Приступать к работе можно после усвоения всей техники ее выполнения. Если вы испытываете какие-либо сомнения в методике проведения эксперимента или в технике безопасности, прежде чем продолжить работу, проконсультируйтесь с преподавателем.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Содержания марганца, меди, и свинца в водных фотосинтезирующие растениях, плавающие на поверхности воды или погруженные в ее толщу, водоемов г. Казнь выявили изменчивость их количественных показателей. Способность к концентрации элементов в тканях водных растений в некоторой степени обусловлена физиологическими различиями и экологическими особенностями видов. Растения, в которых проводилось измерение концентрации тяжелых металлов, разделились на несколько групп по способности конвертировать тот или иной элемент. Так среди обследованных видов и элементов обследованных концентраторами меди стали частуха подорожниковая, роголистник, ряска малая, стрелолист обыкновенный. Концентраторами марганца в исследовании отмечены роголистник и ряска малая. Наибольшие показатели аккумуляции свинца наблюдали у элодеи канадской и частухи подорожниковой. В комплексной оценке накопления Cu, Mn, Pb видами макрофитов различных экологических групп в водоемах г. Казань, выявлены различия. Так различия в накопления Cu, Mn, Pb составляют от 5-6 раз для меди и марганца, до 3 раз для свинца.

В итоге проведенных исследований, установлено:

- для тяжелых металлов участвующих в физиологических процессах растений свойственны значительные величины их концентраций в исследованных видах макрофитов, в нашем случае это марганец и медь;
- для свинца, характерно незначительное накопление в тканях водных растений, его ролью в обменных процессах растений не установлена;
- в различных экологических группах концентрация изученных элементов (Pb, Cu и Mn) имела различные значения.

Заключение

Исследования содержания марганца, меди, и свинца в водных фотосинтезирующих растениях, плавающие на поверхности воды или погруженные в ее толщу, водоемов г. Казнь выявили изменчивость их количественных показателей. Способность к концентрации элементов в тканях водных растений в некоторой степени обусловлена физиологическими различиями и экологическими особенностями видов. Макрофиты, в которых проводилось измерение концентрации тяжелых металлов, разделились на несколько групп по способности конвертировать тот или иной элемент. Так среди обследованных видов и элементов обследованных концентраторами меди стали частуха подорожниковая, роголистник, ряска малая, стрелолист обыкновенный. Концентраторами марганца в исследовании отмечены роголистник и ряска малая. Наибольшие показатели аккумуляции свинца наблюдали у элодеи канадской и частухи подорожниковой. В комплексной оценке накопления Cu, Mn, Pb видами макрофитов различных экологических групп в водоемах г. Казань, выявлены различия.

На уровень концентрации тяжелых металлов водными растениями оказывают влияние комплекс различных факторов – это в первую очередь среда обитания и физиологические особенности растения. Оценивая экологическое состояние водоемов целесообразно учитывать эти факторы.

При применении макрофитов в качестве биоиндикаторов необходимо учитывать, что значительное содержание какого-либо элемента в растении не всегда является следствием высоких концентраций этого загрязнителя среде обитания.

Список использованных источников

1. Алехина Н.Д., Балнокин Ю.В., Гавриленко В.Ф. и др. Физиология растений. — М.: Издательский центр Академия, 2005. 640 с.
2. Артамонов В.И. Растения и чистота природной среды. — М.: Наука, 2015. 172 с.
3. Барсукова В.С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам. Аналитический обзор. Новосибирск, 1997. - 63 с.
4. Брагинский Л.П. Принципы классификации и некоторые механизмы структурно-функциональных перестроек пресноводных экосистем в условиях антропогенного пресса // Гидробиологический журнал.- 1998. Т.34, № 6. - С. 72-93.
5. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. М.: Мир, 1986. - 422 с.
6. Благый Ю.П. Взаимодействие ДНК с биологически активными веществами (ионами металлов, красителями, лекарствами) // Соросовский образовательный журнал. 1998.-№ 10.-С. 18-24.
7. Бондарев Л.Г. Микроэлементы — благо и зло. М.: Знание, — 2016. - 144 С.
8. Комиссаров Г.Г. Фотосинтез: физико-химический подход. М.: Едиториал УРСС, 2006.-224 с.
9. Барабой В. А., Брехман И. И., Голотин В. Г., Кудряшов Ю.Б. Перекисное окисление и стресс. СПб.: Наука, 1992. - 148 с.
10. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных // Соросовский образовательный журнал. 1998. - №5. - С. 23-29.
11. Васьковский В.Е. Липиды // Соросовский образовательный журнал. 2001. -№3.-С. 32-37.
12. Васьковский В.Е. Морские макрофиты. Систематика, биохимия, использование. // Соросовский образовательный журнал Т. 4. - № 7. — С. 51-57.
13. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. — 261 с.

14. Голубева И.Д. Фитомасса макрофитов Куйбышевского водохранилища // Природн. ресурсы Волжско-Камского края. Казань, 1976. - С. 165-175.
15. Горбунов М.Ю., Горбунова Е.А. Действие ионов кадмия на фотосинтез и замедленную люминесценцию хлорофилла цианобактерий *Anabaena variabilis* KUTZ // Физиология растений. 1993. - Т. 40. - № 5. - С. 760-763.
176. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. М.: Мир, 1986. — Т 1. в 2-х томах. - С. 298-354.
17. Гуральчук Ж.З. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам // Физиология и биохимия культурных растений. 1994. - Т. 26. - № 2. — С. 107117.
18. Гусев Н.А. О водообмене и состоянии воды растений // Водный режим растений в связи с разными экологическими условиями. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1978.-С. 293-309.
19. Двораковский М.С. Экология растений. М.: Высшая школа, 1983. - 190 с
20. Демидчик В.В., Соколик А.И., Юрин В.М. Токсичность избытка меди и толерантность к нему растений // Успехи современной биологии. 2011. - Т. 121.-С.511 -525.
21. Демченко Н.П., Калимова И.Б., Демченко К.Н. Влияние никеля на рост, полифериацию и дифференциацию клеток корневой меристемы проростков *Triticum aestivum* II Физиология растений 2015. - Т. 52. - № 2. - С. 250-258.
22. Дерябин Д.Г. Функциональная морфология клетки. М.: КДУ, 2005. - 320 с.
23. Иванов В.Б., Быстрова Е.И., Серегин И.В. Сравнение тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия // Физиология растений. 2013. - Т. 50, № 3. - С. 445-454.
24. Иванова А.Б., Гордон Л.Х., Лыгин А.В. Роль структурных липидов в регуляции ионного транспорта растительных клеток // Цитология. 2007. - Т. 39. - № 4/5.-С. 285-293.
25. Ипатова В.И. Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам среды. — М.: Графикон-принт, 2005. 224 с.

26. Кадукин А.И., Красинцева В.В., Романова Г.И. Аккумуляция Fe, Mn, Zn, Si, и Сг у некоторых водных растений // Гидробиол. журнал. 1982. - Т. 18. - № 1. -С. 79-82.
27. Караваев В.А., Баулин А.М., Гордиенко Т.В., Довыдьков С.А., Тихонов А.Н. Изменение фотосинтетического аппарата листьев бобов в зависимости от содержания тяжелых металлов в среде выращивания // Физиология растений. — 2011.-Т. 48, № 1.-С 47-54.
28. Катанская В.М. Высшие водные растения континентальных водоемов СССР. -Л.: Наука, 1981.- 187 с
- 29.. Кокин К.А. Экология высших водных растений. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 158 с.
30. Косицин А.В., Алексеева-Попова И.В. Действие ТМ на растения и механизмы металлоустойчивости // Растения в экстремальных условиях минерального питания. 1983. - С. 5-22.
31. Красильникова Л.А., Авксентьева О.А., Жмурко В.В., Садовниченко Ю.А. Биохимия растений. Ростов н/Д: Феникс, Харьков: Торсинг, 2014. - 224 С.
32. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А., Физиология Растений. М.: Высшая школа, 2016.-810 с.
33. Лапиров А.Г., Экологические группы растений водоемов. Гидробиотаника: Методология и методы Материалы школы по гидробиотанике. Рыбинск, 2013. - С. 5-22.
34. Лукаткин А.С., Башмаков Д.И., Кипайкина Н.В. Протекторная роль обработки тидиазурином проростков огурца при действии тяжелых металлов и охлаждения // Физиология растений. 2003. - Т. 50. - № 3. - С. 346-348. \
35. Лянгузова И.В. Влияние никеля и меди на прорастание семян и формирование проростков черники // Физиология растений. 1999. - Т. 46. - № 3. - С. 500-502.
36. Малева М.Г., Некрасова Г.Ф., Безель В. С. Реакция гидрофитов на загрязнение среды тяжелыми металлами // Экология 2004. - № 4. — С. 266-272.

37. Матвеев В.И., Соловьева В.В., Саксонов С.В. Экология водных растений: Учебное пособие. Издание 2-е, дополненное и переработанное. Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2005 - 282 с.
38. Микрякова Т.Ф. Распределение тяжелых металлов в высших водных растениях Угличского водохранилища // Экология. 1994. - № 1. — С. 16-21.
39. Микрякова Т.Ф. Тяжелые металлы в макрофитах Рыбинского водохранилища// Водные ресурсы. 1996. - Т.23. - № 2. - С.234 - 240.
40. Микрякова Т.Ф. Сезонные колебания уровней тяжелых металлов в различных органах сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.) // Биология внутр. вод. — 1997.-№3.-С. 25-30.
41. Микрякова Т. Ф. Накопление тяжелых металлов различными видами высших растений // Тезисы докладов Всероссийской конференции по водным растениям «Гидробиотаника 2000». Борок, 2000. - С. 188-189.
42. Нестерова А.Н. Действие тяжелых металлов на корни растений. Поступление свинца, кадмия и цинка в корни, локализация металлов механизмы устойчивости растений // Биол. науки. 1989. - № 9. - С. 72-86.
43. Новицкая Г.В., Церенова О.А., Кочешкова Т.К., Новицкий Ю.И. Влияние переменного магнитного поля на состав и содержание липидов в проростках редиса // Физиология растений. 2006. - Т. 53. - № 1. - С. 83-93.
44. Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. - 214 с.
45. Папченков В.Г., Соловьева В.В. Флора прудов Среднего Поволжья // Самарская лука. Бюлл. 1993. № 4. - С. 172-190.
46. Прасад М.Н. Практическое использование растений для восстановления экосистем загрязненных металлами // Физиология растений. 2003. - Т. 50. — № 35.-С. 764-780.
47. Розенцвет О.А. Изучение особенностей аккумуляции ионов тяжелых металлов водными растениями и роли липидов в адаптации к тяжелым металлам // Изв. Самар. НЦ РАН. 2006. - Т.8. - № 3.
48. Рудакова Э.В., Каракис К.Д., Сидоршина Е.И. Роль клеточных оболочек растений в поглощении и накоплении ионов металлов // Физиология и биохимия культурных растений. -1988. Т. 20. - С. 3-12.

49. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидробиотаника: Прибрежно-водная растительность. М.: Академия, 2005. - 240 с.
50. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. - Т. 48. — №4.-С. 606-630.
51. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Транспорт, распределение и токсическое действие стронция на рост проростков кукурузы // Физиология растений. — 2004. Т. 51, № 32. - С. 241-248.
52. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // Физиология растений. 2006. - Т. 53. — № 2.-С. 285-308.
53. Серегин И.В., Кожевникова А.Д., Казюмина Е.М., Иванов В.Б. Токсическое действие и распределение никеля в корнях кукурузы // Физиология растений. -2003. Т. 50. - № 5. - С. 793-800.
54. Сливинская Р.Б. Нарушение водного баланса растений под действием тяжелых металлов // Псѣезд ВОФР. М.: 1992. - С. 195.
55. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007.- 172 с.
56. Холодова В.П., Волков К.С., Кузнецов В.В. Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации // Физиология растений. — 2005. — Т. 52. — № 6. С. 848-858.
- 233 с.
57. Эйно́р Л.В. Макрофиты в экологии водоема. — М.: Изд-во Института водных проблем РАН, 1992.-256 с.