Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение

«Лицей №177» Ново - Савиновского района г. Казань

Научно – исследовательская работа на тему:

**Оценка эффективности использования микроводорослей для очистки и доочистки модельных сточных вод от ионов тяжелых металлов**

Работу выполнила:

Гильмутдинова Александра, 10 класс МБОУ «Лицей №177»

Научный руководитель:

Сергеева С. В., заместитель директора по инновационной работе, учитель биологии высшей квалификационной категории

Джамолов Ф. Б., аспирант КНИТУ

г. Казань, 2020 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ…………………………….………………………………...3

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ………….………………………………….5

* 1. РОЛЬ СТОЧНЫХ ВОД В ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОДОЕМОВ……………..5
  2. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД……………………………………………..7
  3. ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС САМООЧИЩЕНИЯ ВОДОЕМОВ…...8

ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ…………………….……………………….12

* 1. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОСТА КЛЕТОК ВОДОРОСЛЕЙ…………………………………………………………..12
  2. ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА ПРИРОСТ ВОДОРОСЛИ………......13
  3. ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА НА ПРИРОСТ ВОДОРОСЛИ………..13

ВЫВОДЫ…………………………………………………………...……………….16

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ………………………………………………...………...19

**I. Ведение**

***Актуальность выбранной темы:***

В настоящее время проблема загрязнения водных объектов (рек, озер, морей, грунтовых вод и т.д.) является наиболее актуальной. Без воды человек не может прожить более трех суток, но, даже понимая всю важность роли воды в его жизни, он все равно продолжает жестко эксплуатировать водные объекты, безвозвратно изменяя их естественный режим сбросами и отходами. Ткани живых организмов на 70% состоят из воды, и поэтому В.И. Вернадский определял жизнь как живую воду. Воды на Земле много, но 97% – это солёная вода океанов и морей, и лишь 3% – пресная. Из этих три четверти почти недоступны живым организмам, так как эта вода «законсервирована» в ледниках гор и полярных шапках (ледники Арктики и Антарктики). Это резерв пресной воды. Из воды, доступной живым организмам, основная часть заключена в их тканях. Потребность в воде у организмов очень велика. Например, для образования 1 кг биомассы дерева расходуется до 500 кг воды. И поэтому её нужно рационально расходовать и не загрязнять. Основная масса воды сосредоточена в океанах. Испаряющаяся с его поверхности вода дает живительную влагу естественным и искусственным экосистемам суши. Чем ближе район к океану, тем больше там выпадает осадков. Суша постоянно возвращает воду океану, часть воды испаряется, особенно лесами, часть собирается реками, в которые поступают дождевые и снеговые воды [I].

**Цель работы** заключается в оценке эффективности использования микроводорослей Chlorella vulgaris и Scenedesmus для очистки и доочистки модельных сточных вод, содержащих ионы меди и железа.

**Задачи**:

1. Выяснить какова роль сточных вод в загрязнении природных водоемов.
2. Определить способность водорослей очищать (доочищать) модельные сточные воды от ионов металлов.
3. Сравнить очищающую способность микроводорослей.

**Предмет исследования:** Естественная очистка сточных вод.

**Объект исследования:** Прирост водорослей **Scenedesmus и Chlorella (объектов естественного самоочищения)** в загрязненной воде (источники загрязнения медь и железо).

**Гипотеза**. Водоросли Scenedesmus и Chlorella могут использоваться в процессе очищения вод от ионов тяжелых металлов.

**II. Теоретическая часть**

***2.1. Роль сточных вод в загрязнении водоемов***

Практически любая хозяйственная и промышленная деятельность - источник загрязнения окружающей среды. Системы отведения атмосферных осадков с городских территорий и на предприятиях призваны обеспечить нормальные условия жизнедеятельности во время выпадения дождей и снеготаяния.

Дождевые и талые воды уносят с собой большое количество загрязнений, образующихся от хозяйственной деятельности человека. Поверхностный сток может содержать целый ряд опасных загрязнений (нефтепродукты, СПАВ, тяжелые металлы, гербициды, пестициды и др.) в зависимости от характера хозяйственного использования территорий, на которой он формируется. Объемы поверхностного стока с территорий городов и промышленных предприятий порой достигают миллионов кубометров в год. Производственные сточные воды представляют собой сложные системы, содержащие минеральные и органические вещества, состав и количество которых, как правило, определяются характером технологических процессов. В настоящее время для большинства предприятий главной проблемой является обеспечение глубины очистки сточных вод и нефтепродуктов перед их сбросом в водоем.

Различают три основные категории сточных вод в зависимости **от происхождения**:

а) хозяйственно-бытовые;

б) производственные;

в) атмосферные. [II].

Производственные сточные воды, в отличие от атмосферных и хозяйственно-бытовых, не имеют постоянного состава и могут быть разделены:

1)**по составу загрязнителей**:

-загрязнённые по преимуществу минеральными примесями;

-загрязнённые по преимуществу органическими примесями;

-загрязнённые как минеральными, так и органическими примесями;

2) **по концентрации загрязняющих веществ**:

-с содержанием примесей 1- 500 мг/л;

-с содержанием примесей 500 - 5000 мг/л;

-с содержанием примесей 5000 - 30000 мг/л;

-с содержанием примесей более 30000 мг/л;5

**3) по свойствам загрязнителей**:

-неагрессивные (pH 6,5 - 8);

-слабоагрессивные (слабощелочные - pH 8 - 9 и слабокислые - pH 6 - 6,5);

-сильноагрессивные (сильнощелочные - pH>9 и сильнокислые - pH<6);

4)**по токсическому действию и действию загрязнителей наводные объекты**:

-содержащие вещества, влияющие на общесанитарное состояние водоёма (например, на скорость процессов самоочищения);

-содержащие вещества, изменяющие органолептические свойства (вкус, запах и др.);

-содержащие вещества, токсичные для человека и обитающих в водоёмах животных и растений.

**По физиологическому состоянию** загрязнения сточных вод делятся на:

а) нерастворимые примеси, находящиеся в воде в виде крупных взвешенных частиц (диаметром более 0,1 мм) и в виде суспензии, эмульсии и пены (от 0,1мм до 0,1мкм);

б) коллоидные частицы диаметром от 0,1 до 0,001 мкм;

в) растворимые частицы, находящиеся в воде в виде молекулярно-дисперсных частиц; они уже не образуют отдельной фазы, и система становится однофазной - истинным раствором.

**По природе загрязнения** делятся на:

а) минеральные (песок, глинистые частицы, частицы руды, шлака, растворы минеральных солей, кислот и щелочей, минеральные масла, железо, калий, магний и др. неорганические вещества);

б) органические

1) растительного происхождения (остатки растений, плодов овощей, злаков, бумага, масла растительные). Основным химическим элементом этого рода загрязнений является углерод;

2) животного происхождения (физиологические выделения людей и животных, остатки мускульных и жировых тканей животных, клеевые вещества и пр.). Эти загрязнения характеризуются довольно значительным содержанием азота, фосфора, серы и водорода;

3) бактериальные и биологические загрязнения. Это различные микроорганизмы, дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные – возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др. Этот вид загрязнений свойствен в основном бытовым водам и некоторым видам производственных сточных вод (сточные воды боен, кожевенных заводов, шерстомоек, биофабрик и др.)

**2.2. Очистка сточных вод.**

Очистка сточных вод – это комплекс мероприятий, позволяющих удалить из сточных вод загрязнения и патогенные микроорганизмы перед выпуском в водоёмы (1, стр.224).

**Механическая очистка сточных вод** применяется для удаления нерастворимых минеральных и органических примесей путем их фильтрования или осаждения (седиментации).

**Физико-химическая очистка сточных вод** используется для удаления плохо растворимых и взвешенных примесей.

1) Коагуляция - процесс укрупнения мелких коллоидных и дисперсных частиц при добавлении веществ-коагулянтов (соли алюминия, железа, магния, известь, шламовые отходы и др.), в результате которого получаются хорошо оседающие хлопья.

2) Сорбционная очистка позволяет выделить из многокомпонентных смесей некоторые растворенные вещества. В качестве адсорбентов используют активированный уголь, синтетические сорбенты, отходы некоторых производств, природные материалы (торф, активные глины).

3) Флотация – это введение в сточную воду пузырьков воздуха. При этом происходит обволакивание ими частиц загрязнений и поднятие их на поверхность. Метод используется для очистки сточных вод от частиц, плохо смачиваемых жидкостью (ПАВ, масла, нефть, нефтепродукты, волокнистые материалы).

**Химическая очистка сточных вод** используется для удаления из производственных сточных вод различных компонентов, их обесцвечивания, перед подачей воды в систему оборотного водоснабжения, для обеззараживания городских сточных вод после биологической очистки перед выпуском их в водоем.

• Нейтрализация применяется для сточных вод со значениями рН < 6,5 и рН > 8,5.

• Окисление проводится для обезвреживания присутствующих в сточных водах токсичных примесей и некоторых загрязняющих компонентов. Например, цианиды окисляются до менее токсичных цианатов. Сероводород, сульфиды превращаются в сульфаты. Окисление (хлорирование, озонирование) применяется для обеззараживания воды в системе водоподготовки.

• Восстановление водородом применяют для обесцвечивания окрашенных сточных вод на предприятиях текстильной промышленности (восстановление азокрасителей).

**Биологическая очистка сточных вод** основана на способности микроорганизмов использовать содержащиеся в сточных водах различные органические и неорганические соединения в качестве источника питательных веществ.

**Используют методы:**

1) естественной биологической очистки (в биопрудах, на полях фильтрации и орошения);

2) искусственной биологической очистки (в очистных сооружениях).

**2.3. Естественный процесс самоочищения водоемов**

Естественный процесс самоочищения в водоемах протекает медленно, так что с увеличением степени загрязнения требуются дополнительные меры доочистки сточной воды, которые включают механические, химические и биологические методы. Одним из наиболее важных компонентов в системе биологической очистки сточных вод как хозяйственно-бытовых, так и промышленных являются водоросли. Микроводоросли способны достаточно полно трансформировать сложные соединения, входящие в состав стоков различных предприятий промышленности, о чем свидетельствуют многочисленные результаты современных исследований. Кроме того, они обогащают водную среду кислородом, способствуя тем самым ускорению окислительных процессов и минерализации органических примесей в сточных водах (2). При массовом развитии микроводорослей вода загрязненных водоемов достигает высоких показателей чистоты, как в химическом, так и в бактериологическом отношениях (3)]. Для обработки хозяйственно-бытовых стоков используют широкий спектр микроводорослей (Chlorella, Scenedesmus, Phormi - dium, Botryococcus, Chlamydomo - nas, Spirulina) и др. (4). По мнению американских ученых в условиях очищения сточных вод хорошо работают в основном зеленые водоросли, такие как Micractinium, Chlorella, Pedi ast rum, Actinastrum и ряд других (5).

К микроводорослям относятся виды одноклеточных водорослевых организмов, которые могут жить по отдельности либо колониями. Микроводоросли могут быть свободноплавающими или прикрепляться к поверхности каких-либо подводных образований. Размеры водорослей могут варьировать от 1 до нескольких сотен микрометров (мкм) в зависимости от вида. (*Для справки: 1 микрометр (мкм) = 1/1000 миллиметра (мм)*)  
Микроводоросли — это одна из наиболее важных групп организмов на нашей планете. Установлено, что они производят почти половину атмосферного кислорода на Земле, поглощая огромное количество парникового газа — двуокиси углерода. Биоразнообразие микроводорослей также необычайно велико. По оценкам ученых, существует от 200 000 до 800 000 видов, из которых определены и описаны лишь 35 000.[III]

Chlorella (от греч. χλωρός, «зелёный» и лат. ella — уменьшительный суффикс) — род одноклеточных зелёных водорослей, относимый к отделу *Chlorophyta*. Имеет сферическую форму, от 2 до 10 мкм, не имеют жгутиков. Хлоропласты хлореллы содержат хлорофилл-а и хлорофилл-б. Для процесса фотосинтеза хлорелле требуются только вода, диоксид углерода, свет, а также небольшое количество минералов для размножения.   
Очень распространенной является *Chlorella vulgaris*, постоянно встречающаяся массами в воде и в грязи луж, канав и прудов. [IV]

**Scenedesmus** — это род зелёных водорослей из [**класса протококковых**](http://www.aqualover.ru/fauna/chlorella.html) (класс зелёных водорослей, с одноклеточными и колониальными формами, лишёнными жгутиков в вегетативном состоянии).

*Scenedesmus* является одним из наиболее распространенных пресноводных родов водорослей; однако, весьма разнообразная морфология, найденная в пределах видов, делает идентификацию трудной. В то время как большинство видов встречаются по всему миру, некоторые виды существуют только в локальных популяциях. [V]

Микроводоросли играют важную роль в поглощении загрязняющих веществ в естественных водных системах. Различные органические соединения, которые образуются в этих естественных системах в результате фотосинтеза водорослей, входят в состав трофической цепи водной среды, становясь пищей для разнообразных микробов и других гетеротрофных организмов. Кроме того, восстановленный стабилизированный углерод зачастую сохраняется непосредственно в форме детрита, образуя торфяные отложения на заболоченных участках, в прудах и озерах.

Микроводоросли существуют в природных водных системах в различных формах и концентрациях, однако именно массовое культивирование (или концентрированное выращивание и контроль) микроводорослей делает их пригодными к использованию для очистки сточных вод.

 Культивирование микроводорослей в сточных водах может внести существенный вклад в процесс регулирования водных экосистем, предлагая недорогую и экологически приемлемую технологию, дополняющую (в случае относительно сильного загрязнения) или заменяющую (если степень загрязнения относительно невелика) традиционные энергоемкие водоочистные системы.

Основное преимущество очистной системы с использованием культивируемых микроводорослей перед традиционными системами аэробной очистки сточных вод заключается в ее низкой стоимости благодаря уменьшению объемов потребляемой энергии.

 Функционирование любой системы аэробной очистки сточных вод основано на подаче кислорода соответствующих концентраций различным микробам, которые «разлагают» загрязняющие вещества в водостоках до стабильных соединений [VI].

Важная группа опасных загрязнителей — тяжелые металлы, они часто присутствуют в промышленных сточных водах. С помощью микроводорослей удается их эффективно извлекать. В литературе приводятся значения удельного поглощения тяжелых металлов до 15 мг/г биомассы при полноте изъятия 99%, что свидетельствует о высокой эффективности этого процесса по сравнению с другими методами очистки (6-8). Подробно очистка от тяжелых металлов с применением микроводорослей рассматривается в обзорах (9-11).

## **III. Практическая часть**

## ***3.1. Методика определения прироста клеток водорослей***

Определение прироста клеток производилось в камере Горяева.  Камера Горяева это прозрачное монолитное предметное стекло с поперечными прорезями и нанесенной специальным образом микроскопической сеткой. В нашем случае двухкамерной камеры Горяева, изображенной на рисунке 1.1, мы имеем четыре прорези, образующие три поперечно расположенных площадки, при этом средняя площадка разделена продольной прорезью на две одинаковых камеры, на каждой из поверхности площадки которых нанесена сетка. Формула для подсчета клеток 1.1.



Рисунок 1.1-камера Горяева, справа изображена камера целиком, а слева изображен квадрат 4\*4 и схема осуществления подсчета

 (1.1)

где *n*– количество клеток средне арифметическое число в 1 мл жидкости, *N*– общее количество клеток в квадратах по диагонали, *5* – количество квадратов по диагонали.

***3.2. Влияние ионов меди на прирост водоросли***

**Рис. 3.1. Влияние загрязнителя на Scenedesmus quadricauda**

**По данным, представленным на рисунке 3.1, можно наблюдать, что проба микроводоросли Scenedesmus quadricauda без меди имеет наибольший прирост биомассы. В пробе с загрязнителем численность особей уменьшается, в данном случае медь проявляет накопительно-токсичный эффект в первые 4 дня.**

******

Рис.3.2. Влияние загрязнителя на Chlorella vulgaris

По результатам эксперимента, отображаемом на рисунке 3.2, можно понять, что проба Chlorella vulgaris, не содержащая меди, имеет наибольший прирост биомассы так же, как и **Scenedesmus quadricauda. В пробе с загрязнителем наблюдается снижение биомассы, а медь проявляет накопительно-токсичный эффект в меньшей степени, чем во время параллельного эксперимента.**

***3.3. Влияние ионов железа на прирост водоросли***

Во время экспериментов применяли трехвалентную форму железа, а именно шестиводную соль хлорида. Определению не мешали аминокислоты выделяемые Chlorella и питательная среда.

Определение содержания общего железа фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой проводилось по ПНД Ф 14.1:2:4.50-96

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | концентрация мг/дм Fe | | | |
| часы | 0 | 1 | 5 | 12 |
| 0 | 45,6 | 45,6 | 45,6 | 45,6 |
| 24 | 61 | 49 | 46 | 30 |
| 72 | 105 | 61 | 51 | 18 |
| 96 | 110 | 72 | 53 | 18,6 |
| 120 | 109 | 80 | 58 | 15 |

Рис. 3.3. Прирост биомассы Chlorella vulgaris

По данным, представленным на рисунке 3.3, видно, что наибольший прирост биомассы наблюдается у образца без железа в качестве загрязнителя, в остальных же образцах при увеличении концентрации железа уменьшается прирост биомассы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| часы | концентрация мг/дм Fe | | |
| 1 | 5 | 12 |
| 0 | 1 | 5 | 12 |
| 24 | 0,1 | 0,9 | 2,2 |
| 72 | 0 | 0,3 | 1,1 |
| 96 | 0 | 0,1 | 0,5 |
| 120 | 0 | 0,1 | 0,3 |

Рис. 3.4. Содержание ионов железа в пробах

Способность Chlorella vulgaris очищать воду от ионов железа представлена на рисунке 3.4. Основной процесс очистки протекает в первые часы и связан не столько с потреблением железа в качестве питательного субстрата, а сколько с процессами адсорбции на поверхности клеток микроводорослей. В остальное время эксперимента протекала адаптация микроводорослей к железу. Процесс адаптации обратно пропорционально связан с концентрацией железа.

**Выводы:**

В качестве загрязнителей были выбраны медь и железо - это два токсичных тяжелых металла, которые сильно при этом отличаются по свойствам. К тяжёлым металлам по разным классификациям относятся металлы, от железа включительно или же с железа начиная, по другой классификации с металлов массой свыше 50. В качестве объектов выбраны зелёные водоросли Chlorella vulgaris и Scenedesmus, они имеют высокую адаптационная способность и могут очищать от различных загрязнителей. В последнее время стоит проблема несколько очистка, так как на всех производствах стоят системы очистки, а доочистки от остаточного содержания различных загрязнителей.

1. По предыдущим опытам и литературным данным установлено, что на токсичность меди оказывает влияние содержания других компонентов в воде, так как вода многокомпонентная структура, и они могут образовывать различные комплексы с медью. Поэтому для обеих водорослей была использована одинаковая питательная смесь, дабы исключить влияние различных пропорций в питании, также смесь было приготовлено без эдта.

2. Первым была апробирована медь на Chlorella vulgaris и Scenedesmus. В качестве начальной концентрации взята 1 мг/л, так как редко после предыдущих стадии очистки превышает 0,5-2 мг/л.

Для сходимости результатов были приготовлены две ёмкости с водорослями из которых развивались опытные образцы и разброс количество клеток этим нивелировался, а также для того, чтобы обязательно смесь была разлита в одинаковых пропорциях, её готовили в одной емкости разливали в равных частях по всем образцам.

Подсчет клеток проводился в камере Горяева при необходимости при высокой плотности избавлялся для удобства подсчёта подсчёт проводили каждые 24 часа по возможности. Все образцы дополнительно освещались и барботировались воздухом для перемешивания и подачи углекислого газа. Образцы без меди проявляют уверенный прирост до достижения максимума в наших условиях. Chlorella vulgaris благоприятно себя чувствовала клетки не имели по внешнему виду отклонений. Образец с медью испытывал токсичное воздействие металла клетки были меньше, разброс в размере был выше, чем дольше проходил опыт, тем более токсичное воздействие металла проявлялось, однако по прошествию 72 часов уровень клеток уже не менялся сильно, возможно большая часть меди осела вместе с chlorella vulgaris, тем самым снизилась общая токсичность воды.

3. Scenedesmus проявляла похожие свойства, но ее конечное количество, по сравнению с первым днем снизилось более значительно, нежели Chlorella vulgaris, вероятнее всего это связанно с тем, что при неблагоприятных условиях Scenedesmus образует ценобии, благодаря чему увеличивается способность переносить неблагоприятных условия, но снижается способность находится во взвешенном состоянии. В связи с чем в опытах с железом не использовали Scenedesmus, так как железо проявляет коагулирующие свойства.

4. В опытах с железом использовали chlorella vulgaris, пропорции питания использовали такие же, как и в опытах с медью, но использовали не одну концентрацию загрязнителя, а 3: это 1, 5 и 12 мг/л, - так больше материалов для сравнения и анализа.

Проба без железа уверена наращивала биомассу, как и проба с одним миллиграммом на литр, по большей части была похожа на пробу без железа, но с меньшим приростом биомассы. В пробах с железом особенности 5 и 12 мг/л на первых порах шло интенсивное образование хлопьев, скорость прироста была значительно ниже, но в реальных стоках на производстве не бывает концентрации железа более нескольких миллиграмм.

5. Параллельно помимо подсчёта клеток в камере Горяева проводили определение остаточного содержания железа при помощи сульфосалициловой кислоты. В первые 24 часа происходит наибольшее поглощение железа из воды, в связи с чем можно произвести параллель между поглощение железа и образованием хлопьев.

В образце с 1 мг/л на второй день достигли остаточной концентрации 0,1 мг/л, что составляет ПДК рыбо-хозяйственного назначения, в образце с 5 мг/л такой концентрации достигли только спустя 96 часов, а в образце с 12 мг/л не достигли остаточной концентрации 0,1 мг/л, но возможно что часть железа десорбировалось с поверхности из-за интенсивного аэрирования. Образование хлопьев можно считать положительным свойством так как легко отделить хлореллу насыщенную железом, если же процесс проходит в природных водах то при осаждение на дно железо будет переведено в безопасную форму железобактериями. В любом случае при содержании нескольких миллиграмм очистка будет эффективна.

**Список литературы:**

1. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: учебное пособие для вузов / В. С. Дикаревский, А. М. Курганов, А. П. Нечаев, М. И. Алексеев. - Л.: Стройиздат, 1990. - 224 с.(3)
2. Денисов А.А., Жуйков В.Ю. Очистка сточных вод в открытых водоемах от органических и минеральных загрязнений с помощью водорослей / Достижения науки и техники АПК. 2007. № 12. С.54-56.
3. Ленова Л.И., Ступина В.В. Водоросли в доочистке сточных вод. Киев: Наукова думка, 1990. 184 с.
4. Kong Q-x., Li L., Martinez B. Culture of microalgae Chlamy do monas reinhardtii in wastewater for biomass feedstock production // Applied Biochemistry & Biotechnology. 2010. Р.9-18.
5. Eddy N. Algae plus wastewater equals a valuable resource // Small Flow Magazine. 2002. Р.12-15
6. Volesky, B. Detoxificati on of Metal-Be a ring Effluents: Biosorption for the Next Century // Hydrometallurgy. — 2001. — V. 59. — P. 203—216
7. Chojnacka, K. Biosorption of Cr3+, Cd2+ and Cu2+ Ions by Blue-Green Algae Spirulina sp.: Kinetics, Equilibrium and the Mechanism of the Process / K. Chojnacka, A. Chojnacki, H. Gorecka // Chemosphere. — 2005. — V. 59. — P. 75—84.
8. Гусев М. Способность цианобактерий и микроводорослей к накоплению тяжелых металлов и возможность их использования для очистки водной среды / М. Гусев, А. Лебедева, Я. Саванина // Вест ник МГУ. Сер. Биология. — 1999. — Т. 3. — С. 3—12.
9. Wilde, E.W. Bioremoval of Heavy Metals by the Use of Micro algae / E.W. Wilde, J.R. Benemann // Biotechnol. Adv. — 1993. — V. 11. — P. 781—812.
10. Mallick, N. Biotechnological Potential of Immobilized Algae for Waste water N, P and Metal Removal: A Review // Biometals. — 2002. — V. 15. — P. 377—390.
11. Perales-Ve la, H.V. Heavy Metal Detoxification in Eukaryotic Micro algae / H.V. Perales-Ve la, J.M. Pena-Castro, R.O. Canizares-Villanueva // Chemosphere. — 2006. — V. 64. — P. 1—10.

**Интернет ресурсы:**

1. <https://scienceforum.ru/2017/article/2017032549>
2. https://otherreferats.allbest.ru/ecology/00813134\_0.html
3. <https://lektsii.com/1-165570.html>
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0>
5. 11.https://ru.qwe.wiki/wiki/Scenedesmus
6. http://mostga.am/laboratoriya/mikrovodorosli-vozmozhnosti-primeneniya-979.html