

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии

Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

« _____ » _____ 20 ____ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

03.03.02 – Физика

**ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОДНОГО РАСТЕНИЯ ЭЛОДЕИ
КАНАДСКОЙ К ТОКСИКАНТАМ, ПРИСУТСТВУЮЩИМ В ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЯХ**

Руководитель: канд. биол. наук,
доцент

_____ Т.А.Зотина

Студент: ФБ15-01Б, 041402218

_____ Е.А.Прокофьева

Красноярск 2019

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа по теме «Оценка чувствительности водного растения элодеи канадской к токсикантам, присутствующим в донных отложениях» содержит 52 страницы текстового документа, 44 использованных источника, 11 рисунков, 5 таблиц, 4 формулы.

ЭЛОДЕЯ КАНАДСКАЯ, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, БИОТЕСТИРОВАНИЕ, ИНДИКАТОРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ТОКСИЧНОСТЬ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ.

Работа посвящена оценке чувствительности водного растения элодеи канадской (*Elodea canadensis Michx*) к токсикантам, присутствующим в донных отложениях (ДО). Для исследования была использована экспериментальная система «вода-донные отложения», предложенная ранее для контактного биотестирования цельных донных отложений.

В результате тестирования трёх видов субстрата (песок, искусственные ДО и природные ДО), одинаково высокие показатели роста элодеи были получены на искусственных ДО и природные ДО из реки Енисей, что позволяет рекомендовать эти два вида субстрата для использования в качестве «отрицательного» контроля при биотестировании проб ДО с использованием элодеи канадской. В ходе исследования искусственных и природных ДО для использования в качестве «положительного» контроля было выявлено, что искусственные донные отложения в большей мере подходят для использования в качестве «положительного» контроля, так как способны более эффективно связывать медь, по сравнению с природными ДО. На основании величины ингибирования относительно контроля индикаторные параметры элодеи канадской можно ранжировать следующим образом: длина корня > длина побега > содержание хлорофилла «а» > вес побега. Следовательно, корни элодеи канадской наиболее чувствительны к содержанию меди и к качеству ДО в целом, по сравнению с другими показателями роста побегов и фотосинтеза растения.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Обзор литературы.....	8
1.1.Биотестирование, биоиндикаторы, индикаторные параметры	8
1.2.Методы, применяемые для биотестирования цельных донных отложений	8
1.3. Организмы, применяемые для контактного тестирования ДО. Индикаторные параметры	10
1.4. Использование сосудистых водных растений для биоиндикации и биотестирования ДО	16
1.5. ПДК.....	17
1.5.1. Технология отбора проб ДО для анализа и характеристика типов загрязнений.....	20
1.5.2. Показатели качества ДО.....	21
Материалы и методы	Error! Bookmark not defined.
2.1. Подготовка растений и субстрата	Error! Bookmark not defined.
2.2. Проведение эксперимента, измерения параметров роста растений	Error! Bookmark not defined.
2.3. Химический анализ воды и донных отложений	Error! Bookmark not defined.
2.4. Расчёт параметров роста растений и статистический анализ данных	Error! Bookmark not defined.
3. Результаты	Error! Bookmark not defined.
3.1. Интенсивность роста элодеи на разных субстратах. Подбор отрицательного контроля	Error! Bookmark not defined.
3.2. Интенсивность роста элодеи на субстратах, содержащих медь. Подбор положительного контроля	Error! Bookmark not defined.
3.2.1. Параметры роста и фотосинтеза элодеи на искусственных ДО с разным содержанием меди	Error! Bookmark not defined.
3.2.2. Параметры роста и фотосинтеза элодеи природных ДО с разным содержанием меди	Error! Bookmark not defined.

3.3. Содержание потенциально токсичных металлов в субстратах и в воде	Error! Bookmark not defined.
3.4. Корреляция индикаторных параметров элодеи с содержанием металлов в субстратах и воде	Error! Bookmark not defined.
4. Обсуждение	Error! Bookmark not defined.
4.1. Рост элодеи канадской на разных видах субстрата: выбор ДО для отрицательного контроля	Error! Bookmark not defined.
4.2. Влияние меди, внесённой в ДО, на индикаторные параметры роста элодеи канадской – выбор ДО для положительного контроля.....	Error! Bookmark not defined.
4.3. Чувствительность различных индикаторных параметров роста элодеи канадской к качеству донных отложений.	Error! Bookmark not defined.
ВЫВОДЫ.....	Error! Bookmark not defined.
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	24

ВВЕДЕНИЕ

Проблема техногенного загрязнения континентальных водоёмов актуальна в регионах с высокоразвитой добывающей и перерабатывающей промышленностью. Попадающие в водоём загрязняющие вещества накапливаются в донных отложениях, где могут храниться многие годы, воздействуя на водную биоту и представляя потенциальную опасность для человека в силу возможности их переноса в организм человека с водой и пищей. Для оценки качества донных отложений используются два подхода [1, 2]:

1) анализ содержания потенциально токсичных веществ и сравнение измеренных концентраций с принятыми нормативами, которые в свою очередь устанавливаются с помощью биотестов. В настоящее время в Российской Федерации (за исключением Ленинградской области) не установлены нормативы на содержание загрязняющих (потенциально токсичных) веществ в донных отложениях, в отличие от многих стран мира;

2) экспериментальная оценка токсичности с помощью биотестов. Перечень тест объектов чрезвычайно широк: от молекул до организмов. Проводятся как сублетальные (хронические) тесты, в которых оценивается изменение биохимических реакций, физиологических процессов, параметров роста, репродукции и пр., так и летальные (острые) тесты, в которых оценивается смертность индикаторных организмов под действием высоких концентраций токсинов [1, 2, 3, 4].

Биотестирование донных отложений возможно на основе оценки токсичности их экстрактов, поровой воды, вытяжек [1], что даёт представление о токсичности несвязанных или растворимых форм загрязняющих веществ, содержащихся в пробах донных отложений. Также широко развивается контактное биотестирование, когда биологический тест-объект непосредственно взаимодействует с цельными донными отложениями. При контактном биотестировании оценивается токсичность

всего комплекса токсикантов, находящихся в пробе донных отложений, в том числе встроенных в минеральную матрицу, что наиболее близко к реальным условиям в природном водоёме. Несмотря на уже имеющийся в мировой практике арсенал методов биотестирования, в настоящее время продолжается поиск новых биологических индикаторов и разработка тест-систем, которые позволят наиболее адекватно оценить биологическое действие смеси токсикантов, находящихся в донных отложениях. В последнее десятилетие появились и интенсивно развиваются методы биотестирования донных отложений с использованием погруженных макрофитов [4, 5, 6]. Погруженные макрофиты – это, за исключением мхов, сосудистые растения, укореняющиеся в донных отложениях. Донные отложения служат естественным субстратом для укоренённых макрофитов в среде их обитания. Поэтому данная экологическая группа сосудистых растений в большей мере подходит для оценки токсичности донных отложений, чем другие водные растения. Относительно недавно международные сертификаты получили два теста, основанные на использовании урути водной (*Myriophyllum aquaticum*) – International Organization for Standardization [ISO] [7], и урути колосистой (*Myriophyllum spicatum*) – Organization for Economic Co-operation and Development [OECD] [8].

В настоящее время в Российской Федерации нет сертифицированных биотестов для контактного тестирования донных отложений с использованием водных растений. Поэтому их разработка весьма актуальна для решения задач защиты водных экосистем при техногенных воздействиях, а также для мониторинга и прогнозирования загрязнения природных водоёмов.

Ранее была предложена методика тестирования донных отложений с использованием элодеи канадской [9, 10, 11]. Сравнительное исследование показало, что индикаторные показатели роста побегов и корней элодеи канадской более чувствительны к качеству донных отложений р. Енисей по сравнению с индикаторными параметрами урути колосистой [10],

используемой в международном сертифицированном тесте [8]. В качестве нововведения по сравнению с международными тестами, в предложенном тесте предусмотрена возможность оценить помимо токсичности, цито- и генотоксичность донных отложений [9, 10, 11, 12].

В целях усовершенствования предложенной ранее методики контактного биотестирования донных отложений с использованием водного растения элодеи канадской в настоящей работе оценивалась чувствительность водного растения элодеи канадской к токсикантам, присутствующим в донных отложениях. В частности, решались следующие задачи:

- 1) Подбирался субстрат для использования в качестве «отрицательного» контроля;
- 2) Подбирался вариант загрязненных ДО для использования в качестве «положительного» контроля;
- 3) Сравнивалась чувствительность различных индикаторных параметров роста элодеи канадской к качеству донных отложений.

1. Обзор литературы

1.1. Биотестирование, биоиндикаторы, индикаторные параметры

Биоиндикаторы- это организмы, присутствие, количество или их особенности развития служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания. Многолетний опыт учёных всего мира показал ряд преимуществ, которыми обладают живые индикаторы [2]:

- могут реагировать на слабые воздействия вследствие кумулятивного эффекта;
- суммируют влияние биологически важных воздействий и отражают состояние окружающей среды;
- фиксируют скорость происходящих изменений;
- указывают пути и места скоплений в экологических системах различного рода загрязнений;
- позволяют судить о степени вредности любых синтезируемых веществ, для живой природы.

Биоиндикаторы применяются для оценки качества различных объектов окружающей среды: воздуха, воды, почв, донных отложений и пр. Надёжность и эффективность того или иного биоиндикатора, характеризуются по степени сопряжённости индикатора с объектом индикации, и по частоте встречаемости с объектом индикации [1, 2].

В качестве индикаторов для биоиндикации и биотестирования применяют различные организмы - бактерии, водоросли, высшие растения, беспозвоночных животных и млекопитающих (Таблица 1).

1.2. Методы, применяемые для биотестирования цельных донных отложений

Донные отложения (ДО) представляют собой сложную природную матрицу, в состав которой входят природные автохтонные и антропогенные соединения. Токсикологические методы оценки донных отложений можно разделить на следующие группы [13]:

1)Элютиратные тесты: биотестированию подвергается экстракт ДО или поровая вода. Выявляется потенциальное токсическое воздействие на гидробионты при вторичном загрязнении в результате выходазагрязнителей, преимущественно растворимых, из ДО в воду. Приготовление элютиратов представляет собой метод выщелачивания широкого спектра веществ, в первую очередь для определения растворимости загрязняющих веществ, образующихся при осаждении на донные отложения, таким образом, приближаясь к способностям выщелачивания естественной системы. Преимуществом метода является то, что он применим для использования со всеми типами осадков [1]. Биотестированию подвергаются только растворимые вещества.

2)Контактные тесты: процедуру биотестирования проводят в системе вода-донные отложения с использованием гидробионтов, обитающих в грунте и на границе вода-ДО и испытывающих воздействие сорбированных в ДО загрязняющих веществ, в том числе гидрофобных. Одной из частей контактного теста является добавление токсинов, так называемый, спайкинг (spiking). Спайкинг- это экспериментальное добавление потенциально токсичного вещества или смеси химических веществ, осадок сточных вод, нефтепродуктов, твёрдых частиц или сильно загрязнённого донного осадка, к чистому отрицательному контролю или эталонному осадку для определения токсичности добавляемого материала. Спайкинг может быть полезным инструментом для эмпирического раскрытия механизмов взаимодействия осадка с химическим организмом, в частности, физико-химических характеристик осадков, касающихся токсичности химических соединений и причинно-следственных связей между химическими веществами и неблагоприятными биологическими реакциями[1].

3) Кратковременные (острые) тесты: продолжаются не более 96 часов, главной целью является выявление наличия токсических соединений острого действия, критерием токсичности в которых является смертность или ингибирование деления.

4) Долговременные (хронические) тесты: целью является, выявить отложенные эффекты, вызываемые загрязняющими веществами в составе ДО[13].

1.3. Организмы, применяемые для контактного тестирования ДО.

Индикаторные параметры

К числу экспрессных и доступных методов биотестирования образцов окружающей среды относится биотест на основе лука репчатого, *Allium cepa* L. – луковый тест (*Allium*-тест) (таблица 1), который показал высокую чувствительность к различным типам токсикантов, в том числе к смеси ксенобиотиков химической и радиационной природы [14, 15, 16, 17, 18]. Луковый тест с недавнего времени применяется для тестирования цельных природных ДО [16, 17, 19, 20]. Луковый тест позволяет оценить цито- и генотоксичность исследуемых образцов, на основе анализа митотической активности и доли клеток с хромосомными aberrациями в кончиках корней, а также оценить общетоксический эффект по ингибированию роста корней [14, 19, 21, 22].

Для контактного тестирования донных отложений (ДО) часто используют личинки комаров, различных червей, моллюски, икру рыб и земноводных (Таблица 1).

Для личинок комаров-

В качестве индикаторных параметров личинок комаров, чувствительных к качеству ДО, оценивают количество вылупившихся мошек, количество личинок, среднюю сухую массу личинок, соотношение особей мужского и женского пола (Таблица 1).

Для контактного тестирования ДО с помощью червей, исследуют такие индикаторные параметры как: длина тела, репродукцию (общее количество организмов), общее число червей, число полных и неполных червей в конце теста, сухой вес червей (в начале и конце испытания), поведение червей, смертность (Таблица 1).

При использовании в качестве индикаторов моллюсков, икры земноводных и рыб, как правило, рассматривают такой индикаторный параметр как смертность (Таблица 1).

Таблица 1 Тест объекты для контактного тестирования донных отложений

Тест объект	Индикаторные параметры	Источник
Высшиерастения		
Лук репчатый (<i>Allium cepa</i>)	-Митотический индекс; -частота и спектр хромосомных aberrаций в апикальной меристеме корня в ана-телофазе	[17]
	-Митотический индекс; -хромосомные аномалии в митотическом цикле. -количество микроядер	[19]
	-Митотический индекс; -хромосомные aberrации в ана-телофазе; -количества микроядер; -ядерные аномалии в меристематических клетках (морфологические изменения в межфазных ядрах в результате действие проверяемого агента)	[16]
	-Митотический индекс, -тип и процент митотических аномалий в корневых кончиках в ана-телофазе	[23]
	-Хромосомные aberrации в ана-телофазе	[24]
	-Длина и число корней; -митотический индекс; -частота и спектр хромосомных aberrаций в апикальной меристеме корня в ана-телофазе	[20]
Элодеяканадская (<i>Eloдея canadensis</i>)	-Длина побега; -количество корней; -масса побегов (сухая); -длина корней;	[12]

	-количество корней на 1 побег	
	-Длина побега; -масса побегов (сухая)	[25]
	-Длина побега; -масса побегов (сырая); -общее увеличение длины и биомассы растений; -количество боковых побегов и корней; -длина корней	[26]
Уруть водная <i>(Myriophyllum aquaticum)</i>	-Скорость роста побегов по сырому весу	[3, 4, 7, 27]
Урутьколосистая <i>(Myriophyllum spicatum)</i>	-Длина побега; -масса побегов (сырая); -прирост длины и биомассы побегов; -количество боковых побегов; - число корней; -длина корней	[26]
	-Длина побега; -количество и длина боковых побегов; -визуальная оценка состояния побега; -масса побегов (сырая и сухая); -визуальная оценка корней	[8]
	-Длина корней; -длина побегов; -вес побегов	[10]
Рис посевной <i>(Oryza sativa)</i>	-Длина побега; -длина корней	[28]
Хирономиды- личинки комаров-звонцов		

Хирономусы (<i>Chironomus tentans</i> , <i>Chironomus riparius</i>) (<i>Chironomus MEIGEN</i>)	-Количество вылупившихся мошек; -количество личинок; -средняя сухая масса личинок; -соотношение особей мужского и женского пола	[29]
Нематоды – круглые черви		
Свободноживущая нематода (<i>Caenorhabditis elegans</i>)	-Длина тела; -репродукция (общее количество организмов)	[3, 4]
Олигохеты- малощетинковые черви		
<i>Lumbriculu svariegatus</i>	-Репродукция (общее количество организмов)	[3, 4]
	-Общее число червей; -число полных и неполных червей в конце теста; -сухой вес червей (в начале и конце испытания); -поведение червей; -смертность	[30]
Полихеты- многощетинковые черви		
<i>Australonereis ehlersi</i>	-Смертность	[31]
<i>Nephtys australiensis</i>	-Смертность	[31]

Двустворчатые моллюски		
<i>Mysella anomala</i>	-Смертность	[31]
<i>Tellina deltoidalis</i>	-Смертность	[31]
<i>Soletellina alba</i>	-Смертность	[31]
Рыбы		
Икра рыб <i>Данио-рерио</i> (<i>Danio rerio</i>)	-Смертность	[3,4]
Икра рыб <i>Кумжа</i> (Форель коричневая) (<i>Salmo trutta</i>)	-Эмбриональная смертность и рост	[32]
Икра рыб Обыкновенный сиг (<i>Coregonus lavaretus</i>)	-Эмбриональная смертность и рост	[32]
Земноводные		
Икра Гладкой шпорцевой лягушки (<i>Xenopus laevis</i>)	-Смертность	[33]

1.4. Использование сосудистых водных растений для биоиндикации и биотестирования ДО

Для выявления трофических свойств и степени загрязнения водоёмов биоиндикацию донных отложений (ДО) можно проводить с помощью сосудистых водных растений.

Такие растения накапливают в своих тканях не только загрязняющие вещества, но и вредные продукты метаболизма. При повышении токсичности ядовитых веществ у растения проявляются ответные реакции, которые могут выражаться на показателях роста (длина, вес), снижении скорости роста и многих других индикаторных параметрах.

Учёные систематизировали три основные группы различных аномалий роста и развития растения:

- 1.Связанные с торможением или стимулированием нормального роста (карликовость и гигантизм);
- 2.Связанные с деформациями стеблей, листьев, корней, плодов, цветков и соцветий;
- 3.Связанные с возникновением новообразований (также относятся опухоли)[2].

В последнее десятилетие появились и интенсивно развиваются методы биотестирования донных отложений с использованием погруженных макрофитов [4, 5, 6]. Погруженные макрофиты – это, за исключением мхов, сосудистые растения, укореняющиеся в донных отложениях. Донные отложения служат естественным субстратом для укоренённых макрофитов в среде их обитания. Поэтому данная экологическая группа сосудистых растений в большей мере подходит для оценки токсичности донных отложений, чем другие водные растения. Относительно недавно международные сертификаты получили два теста, основанные на использовании урути водной (*Myriophyllum aquaticum*) – International Organization for Standardization[ISO] [7], и урути колосистой (*Myriophyllum*

spicatum) – Organization for Economic Co-operation and Development [OECD] [8].

В качестве индикаторных параметров растений, чувствительных к качеству ДО, оценивают показатели роста побегов и корней (длину и вес), число корней и побегов, соотношение длины корней к длине побегов, концентрацию фотосинтетических пигментов (хлорофиллов «а» и «б», каротиноидов), количество боковых побегов, прирост увеличение длины и биомассы растений(таблица 1).[3, 4, 7, 8, 12, 25, 26, 27, 28].

1.5. ПДК

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – является утверждённым санитарно-гигиеническим нормативом. Под данным нормативом подразумевается максимальная концентрация химических веществ или соединений в окружающей среде, которая при каждодневном влиянии в течение долгого времени на организм не провоцирует заболеваний или патологических изменений.

На сегодняшний день существуют два подхода для выявления загрязнения донных отложений (ДО) водных объектов токсикантами:

- Химический (по концентрации загрязняющих веществ и сравнение их с ПДК);
- Биологический (включает в себя биоиндикацию и биотестирование) [34].

Согласно «Методическим указаниям по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов» поллютанты, способные накапливаться в донных отложениях, можно характеризовать следующим образом.

Таблица 2 Примерный перечень загрязняющих веществ, способных накапливаться в донных отложениях водных объектов [35].

Источник загрязнения	Загрязняющее вещество
Нефтяная промышленность	

Нефтедобыча	Нефтепродукты, СПАВ, химические реагенты (нитролигнин, карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламиды и другие), 3-5-ядерные ПАУ, их производные, гетероциклические азот-, серосодержащие соединения (метил-, диметилбензтиофены и другие), металлы
Нефтепереработка	Нефтепродукты, СПАВ, ПАУ, их азот-, серосодержащие гетероциклические производные (метил-, диметилбензтиофены, нафтотиофены и другие), металлы, фталаты
Газовая промышленность	
Добыча и переработка газа и газоконденсата	Углеводороды, ПАУ, их серосодержащие гетероциклические производные, хлор- и аминопроизводные других циклических веществ, СПАВ.
Теплоэнергетика	ПАУ, нефтепродукты, металлы (As, V, Pb, Cr, Cd, Ni, Zn и другие)
Угольная промышленность	
Добыча и обогащение угля	Металлы (Fe, Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Mn, Be, Co, Sr и др.), ПАУ, их азот- и серосодержащие гетероциклические производные, нефтепродукты
Коксохимическое производство	ПАУ, их кислород-, азот-, серо-, галогенсодержащие гетероциклические производные (бенз-, дибензкарбазолы, бенз-, дибензакридины, бензхинолины и другие), каменноугольные смолы, терпеновые, ароматические спирты, металлы (Rb, Cd, Hg, Mn, Al, Fe и другие), дибензфураны, ПХБ (полихлорбифенилы.), СПАВ, углеводороды, цианистые соединения, сажа и др.
Чёрная металлургия	
Горнорудное производство	Металлы, каменноугольные смолы,
Производство чугуна, стали, проката, металлосплавов	нефтепродукты, СПАВ, реагенты обогащения руд (масла и другие), ПАУ, их кислород-, серо-, азотсодержащие гетероциклические производные, полихлорированные диоксины, ПХБ, цианистые соединения, амины и другие

Цветная металлургия	
Горнорудное производство	Металлы (Al, Zn, Cu, Fe, Pb, Co, Cr, Ni, Mn, Cd, Al и др.), нефтепродукты, СПАВ, полихлорированные диоксины, ПХБ, цианистые соединения и другие
Производство цветных металлов и их сплавов	
Машиностроительная промышленность	Металлы, СПАВ, нефтепродукты, диметил-, диоктил-, дибутилфталаты и другие
Целлюлозно-бумажная промышленность	Лигносульфонаты, ПАУ, нефтепродукты, СПАВ, металлы (Mn, Fe, Mo, V, Cu, Co и др.), хлор-, сероорганические соединения, сера молекулярная, диметил-, дибутилфталаты и другие
Лесохимическая промышленность	ПХФ, СПАВ, лигносульфонаты и другие
Производство лаков и красок	Фенол-формальдегидные смолы, СПАВ, углеводороды, ПХФ, фталаты, нитро-, хлорфенолы, производные ароматических аминов, кислот и другие
Сельскохозяйственное производство	
Животноводство	Пестициды, СПАВ, металлы (Zn, Cu, Fe и другие), нефтепродукты
Растениеводство	
Пищевая промышленность	
Мясоперерабатывающие, молочные и рыбные производства	Жиры, высокомолекулярные жирные органические кислоты, спирты, нефтепродукты, СПАВ и другие
Очистные сооружения, хозяйственно-бытовые сточные воды	Нефтепродукты, СПАВ, жиры, высокомолекулярные жирные кислоты, диметил-, диоктил-, дибутилфталаты, хлорорганические соединения, хлор-, сероорганические, цианистые соединения.

Использованные сокращения:

ПАУ- полициклические ароматические углеводороды.

ПХБ-полихлорбифенилы.

ПХФ-полихлорфенолы.

СПАВ - синтетические поверхностно-активные вещества.

1.5.1. Технология отбора проб ДО для анализа и характеристика типов загрязнений

Отбор проб донных отложений (ДО) для анализа проводят в специально установленных пунктах наблюдений. Обычно данные пункты находятся вблизи стока сточных вод промышленных предприятий или сельскохозяйственных угодий, так же на территориях с неоднократными случаями нарушений норм качества воды, повышенных концентрациях поллютантов в донных отложениях, и так далее. На водоёмах отбор осуществляется в зоне влияния сброса сточных вод [36].

Для характеристического описания физических свойств донных отложений необходимо ранжировать на цвет, запах, консистенцию, включения и тип.

Цвет донных отложений определяется окислительно-восстановительными условиями, составом и присутствием химических веществ. Как правило, цвет характеризуется полутонами.

Запах донных отложений зависит не только от протекающих в них процессов, но и от накопления загрязняющих веществ. Данное свойство определяется после отбора проб органолептическим методом. Основные виды запаха приведены в таблице 3.

Таблица 3 Основные виды запаха донных отложений [35].

Вид запаха	Возможные источники происхождения запаха
Химический	Промышленные сточные воды
Нефтяной	Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов. Судоходство, пластовые воды нефтегазовых месторождений
Сернистый	Сероводород
Гнилостный	Застоявшиеся сточные воды
Землистый	Сырая земля
Торфяной	Торф

После отбора проб в лабораторных условиях описывают тип, консистенцию, включения и влажность донных отложений.

Для описания характеристики типа, донные отложения обычно рассматривают по механическому и вещественному составу. Механический состав определяется визуально, исходя из сочетания нескольких фракций. Вещественный состав зависит от содержания в донных отложениях основных химических элементов.

Консистенцию донных отложений определяют исходя из наличия в них воды.

Включения в донные отложения чаще всего определяют исходя из остатков растений и животных, которые населяют исследуемый водоём.

Помимо выше перечисленных физических свойств, также определяют температуру, рН и окислительно-восстановительный потенциал донных отложений [35].

Для характеристического описания донных отложений, как правило, используют тест объекты из исследуемых водоёмов, но отобранных на чистых участках.

Период и регулярность отбора проб для анализа донных отложений, происходит с учётом периодичности поступающих загрязняющих веществ и гидрологической ситуации в исследуемом водоёме [36].

1.5.2. Показатели качества ДО

После проведения анализа донных отложений, для оценки загрязнённости исследуемого водоёма рассчитывают коэффициент донной аккумуляции.

Данный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_{ДА} = \frac{C_{ДО}}{C_{вода}}$$

(1)

где: $C_{до}$ - концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мг/кг или мкг/кг;

$C_{вода}$ - концентрация этого вещества в воде, отобранной одновременно в этот же период времени, мг/л или мкг/л.[37].

Величины КДА интерпретируются следующим образом:

При низких концентрациях поллютантов, считается относительно удовлетворительным условием в исследуемом водном объекте.

При невысоких значениях КДА и повышенных концентрациях поллютантов в исследуемом водоёме, свидетельствуют о попадании в водоём свежих загрязнений.

При концентрациях поллютантов в исследуемом водоёме, значительно превышающих ПДК, указывают на высокий уровень долговременного загрязнения водоёма.

На сегодняшний день существует методика определения индекса экологической опасности (RJ). Данная методика используется для того, чтобы произвести анализ исследуемого водоёма. Она содержит расчёт и определение коэффициентов загрязнения, степень загрязнения и коэффициента экологической опасности.

Для оценки токсичности водоёмов, которые могут быть загрязнены химическими веществами смешенного происхождения, данная методика может быть применима с учётом определённых дополнений [35, 36].

Изъято с 23 по 47 страницу, в связи с авторскими правами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mothersill, C. In vitro methods in aquatic toxicology / C. Mothersill, V. Austin – Berlin, Germany: Springer, 2003. – 472.
2. Мелихова О.П. Биологический контроль окружающей среды: Биоиндикация и биотестирование / О.П. Мелихова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева, С.А. Гераськин, В.М. Глазер, [и др.]. // учебное пособие.- М.: Издательский центр «Академия», 2007.-288с.
3. Hoess, S. Variability of sediment-contact tests in freshwater sediments with low-level anthropogenic contamination —Determination of toxicity thresholds / S. Hoess, W. Ahlf, C. Fahnenstich , D. Gilberg , H. Hollert, K. Melbye, M. Meller, M Hammers-Wirtz,. P. Heininger , H. Neumann-Hensel, R. Ottermanns, H. Ratte, T. Seiler, D. Spira, J. Weber, U. Feiler // Environ. Pollut. - 2010. С. 2999–3010.
4. Feiler , U. Sediment contact tests as a tool for the assessment of sediment quality in German waters / U. Feiler, S. Hoess, W. Ahlf, D. Gilberg , M Hammers-Wirtz, H. Hollert, M. Meller, H. Neumann-Hensel, R. Ottermanns, T. Seiler, D. Spira, P. Heininger // Environ. Toxicol .Chem. - 2013. - С. 144–155.
5. Teodorovic, I. *Myriophyllumaquaticum* v. *Lemna minor*: sensitivity and recovery potential after exposure to atrazine / I. Teodorovic, V. Knezevic, T. Tunic, M. Cucak, J.N. Lecic, A. Leovac, I.I. Tumbas // Environ. Toxicol. Chem. – 2012. №2. – С. 417-426.
6. Diepens, N.J. Sediment toxicity testing of organic chemicals in the context of prospective risk assessment a review / N.J. Diepens, G.H.P. Arts, T.C.M. Smidt, P.J. van den Brink, M.J. Heuvel-Greve, A.A. Koelmans // Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. – 2014. №3. – С. 255-302.
7. ISO 16191:2013 specifies a method for determining the toxicity of environmental samples on the growth of *Myriophyllumaquaticum*.
8. OECD. Test № 239: Water-sediment *myriophyllum spicatum* toxicity test. OECD Publising. 2014.

9. Зотина, Т.А. Биотестирование донных отложений р.Енисей с использованием водного растения *Elodea Canadensis*/ Т.А. Зотина, Е.А. Трофимова, М.Ю. Медведева, А.Я. Болсуновский // Известия самарского научного центра РАН. – 2013. № 15. – С.579-584.
10. Zotina, T. Experimental estimation of the possible use of submersed macrophytes for biotesting bottom sediments of the Yenisei River / T. Zotina, E. Trofimova, A. Bolsunovsky, O. Anishenko // Contemporary Problems of Ecology – 2014. – С. 410–421.
11. Zotina, T. Chromosomal abnormalities in roots of aquatic plant *Elodea canadensis* as a tool for testing genotoxicity of bottom sediments / T. Zotina, M. Medvedeva, E. Trofimova, Yu. Alexandrova, D. Dementyev, A. Bolsunovsky // Ecotoxicology and Environmental Safety – 2015. – С. 384-391.
12. Zotina, T. Use of the aquatic plant *Elodea canadensis* to assess toxicity and genotoxicity of Yenisei River sediments // T. Zotina, E. Trofimova, M. Medvedeva, D. Dementyev, A. Bolsunovsky // Environ. Toxicol. Chem. - 2015. С. 2310-2321.
13. Степанова Н.Ю. Использование остракод для биотестирования донных отложений / Н.Ю. Степанова // Труды ИБВВ РАН. -2017.- 13с.
14. Fiskesjo, G. Hereditas / G. Fiskesjo. 1985. - С. 99-112.
15. Evseeva, T.I. Genotoxicity and cytotoxicity assay of water sampled from the underground nuclear explosion site in the north of the Perm region (Russia) / T.I. Evseeva, S.A. Geras'kin, I.L. Shuktomova, A.I. Taskaeva. // Environ. Radioact. – 2005. С. 59-74.
16. Leme, D.M. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application / D.M. Leme, M.A. Marin-Morales. // Mutat. Res. – 2009. №682. С. 71-81.
17. Geras'kin, S. Geno-toxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of *Allium*-test / S. Geras'kin, A.Oudalova, B.Michalik, N. Dikareva, V. Dikarev. // Chemosphere. – 2011. №83. С. 1133-1146.

18. Udalova, A.A. Evaluation of cytological and genotoxicity of natural waters in the area of dump of radioactive wastes using *Allium* test / A.A. Udalova, S.A. Geras'kin, V.G. Dikarev, N.S. Dikareva // Radiats. Biol.Radioekol. – 2014. № 1. С. 97-106.
19. Junior, H.M. Evaluation of genotoxicity and toxicity of water and sediment samples from a Brazilian stream influenced by tannery industries. / H.M. Junior, J. Silva, A.Arenson, C.S. Portela, I.C. de Sa Ferreira, C. Fernandes, J.A.P. Henriques // Chemoshere. – 2007. №67. С. 1211-1217.
20. Зотина, Т.А. Оценка качества донных отложений среднего участка р.Енисей с помощью *Allium* теста. / Т.А. Зотина, Е.А. Трофимова, Ю.В. Александрова, О.В. Онищенко // Сибирский экологический журнал. – 2019. № 3. – С.327-340.
21. Firbas, P. Chromosome damage studies in the onion plant *Allium cepa* L. / P. Firbas, T. Amon. // Caryologia. – 2014. №2. С. 25-35.
22. Firbas, P.A survey of *Allium cepa* L. Chromosome damage in Slovenian environmental water, soil and rainfall samples. / P.A. Firbas // Curr. Res. Biosci. Plant. Biol. – 2015. №2. – С. 62-83.
23. Türkoğlu, S. Determination of genotoxic effects of chlorfenvinphos and fenbuconazole in *Allium cepa* root cells by mitotic activity, chromosome aberration, DNA content, and comet assay./ S.Türkoğlu//Pestic. Biochem. Physiol.- 2012. № 103. – С. 224–230.
24. Yildiz, M., Genotoxicity testing of quizalofop-P-ethyl herbicide using the *Allium cepa* anaphase–telophase chromosome aberration assay. / M. Yildiz,E.S. Arıkan. // Caryologia. – 2008. №61. – С. 45-52.
25. Brain, A. Influence of light intensity on the toxicity of atrazine to the submerged freshwater aquatic macrophyte *Elodea Canadensis* / A. Brain, JHoberg, J. Hosmer, S. Wall // Ecotoxicol. Environ.Safety. - 2012. С. 55-61.
26. Knauer, K. Methods for assessing the toxicity of herbicides to submersed aquatic plants / K. Knauer , M. Vervliet-Scheebaum, R. Dark, S. Maund //Pest ManagSci. – 2006. С. 715–722.

27. Stesevic, D. Application of a New Sediment Contact Test with *Myriophyllum aquaticum* and of the Aquatic Lemna Test to Assess the Sediment Quality of Lake Skadar. / D. Stesevic, U. Feiler, D. Sundic, S. Mijovic, L. Erdinger, T. Seiler, P. Heininger, H. Hollert. // Soils and sediments. – 2007. №7. – С. 342-349.
28. Brinke, A. Development of a sediment-contact test with rice for the assessment of sediment-bound pollutants. / A. Brinke, S. Buchinger, G. Reifferscheid, R. Klein, U. Feiler. // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2015. №16. – С. 12664-12675.
29. OECD. Test № 218: Sediment- water chironomid toxicity test using spiked sediment. OECD Publishing. 2004.
30. OECD. Test № 225: Sediment-Water *Lumbriculus* Toxicity Test Using Spiked Sediment. OECD Publishing. 2007.
31. King, C. K. An Assessment of Five Australian Polychaetes and Bivalves for Use in Whole-Sediment Toxicity Tests: Toxicity and Accumulation of Copper and Zinc from Water and Sediment. / C.K. King, M.C. Dowse, S.L. Simpson, D.F. Jolley. // Environ. Contam. Toxicol. – 2004. №47. – С. 314-323.
32. Arola, H. Assessment of Fish Embryo Survival and Growth by In Situ Incubation in Acidic Boreal Streams Undergoing Biomining Effluents. / H. Arola, K. Karjalainen, J. Syrjänen, M. Hannula, A. Väisänen, J. Karjalainen. // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2018. – С.56-69.
33. Hoke, R. Application of frog embryo teratogenesis assay-xenopus to ecological risk assessment / R. Hoke, G. Ankley. // Environ. Toxicol. Chem. – 2005. №24. – С. 2677-2690.
34. Бакаева, Е.Н. Место биотестовых исследований донных отложений в мониторинге водных объектов / Е.Н. Бакаева, А.М. Никаноров, Н.А. Игнатова // Вестник южного научного центра РАН, 2009. – Т 5, № 2. – С. 84-93.

35. МУК № 33149. Митотические указания по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. 2014. – 15 с.
36. РД 52.24.609 Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. – Ростов-на-Дону, 2013. – 14с.
37. РД 52.24.763 Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. –Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2012.- 26с.
38. Зотина, Т.А. Фитомасса и видовое разнообразие макрофитной растительности в среднем течении р. Енисей./ Т.А. Зотина //Журнал сибирского федерального университета.- 2014. №7. –С. 73-86.
39. OECD. Test № 219:Sediment-water *chironomid* toxicity test using spiked water. OECD Publising. 2004.
40. MacDonald, D. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems / D. MacDonald, C. Ingersol, T. Berger // Environ. Contam.Toxicol. – 2000. С. 20–31.
41. Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. / H.K. Lichtenthaler // Methods in Enzymology. – 1987.№148. - С.350-382.
42. Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. / H.K. Lichtenthaler, C. Buschmann. // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2001. С/ 218-239.
43. МУК № 45203 Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. 13.01.2017. –М. Гидрометеоиздат, 2017. – 32с.

44. Arts, G Sensitivity of submerged freshwater macrophytes and endpoints in laboratory toxicity tests / G. Arts, J. Belgers, C. Hoekzema, J. Thissen // Environ. Pollut. – 2008. C. 199-206.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии

Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.А. Кротаев
« 24 » июня 20 19 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

03.03.02 – Физика

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОДНОГО РАСТЕНИЯ ЭЛОДЕИ
КАНАДСКОЙ К ТОКСИКАНТАМ, ПРИСУТСТВУЮЩИМ В ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЯХ

Руководитель: канд. биол. наук,
доцент

24.06.19 *[подпись]*

Т.А.Зотина

Студент: ФБ15-01Б,041402218

24.06.19 *[подпись]*

Е.А.Прокофьева

Красноярск 2019