

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Биолого-почвенный факультет  
Кафедра биоэкологии

Канищева Кристина

**Очистка сточных вод гальванического производства. Биоиндикация как  
метод контроля очистки сточных вод**

Выпускная квалификационная работа

Работа завершена

\_\_\_\_\_ 2012 г.

К.С. Канищева

Рекомендуется к защите:

Научный руководитель,  
доцент, к.б.н.

\_\_\_\_\_ 2012 г.

Н.С. Архипова

Допускается к защите:

Заведующий кафедрой,  
Профессор, д.б.н.

\_\_\_\_\_ 2012 г.

И.И. Рахимов

Введение		4
	Цели и задачи	
Глава 1.	Гальваническое производство, методы и аппараты очистки сточных вод	8
1.1	Методы очистки сточных вод гальванических производств	8
1.1.2	Механические методы	10
1.1.3	Химические методы очистки	11
1.1.4	Физико-химические методы очистки сточных вод	12
1.2.1	Аппараты для очистки сточных вод	20
1.2.2	Аппараты механической очистки сточных вод	21
1.2.3	Аппараты электрохимической очистки сточных вод	27
1.3	Методы контроля очистки сточных вод	32
Глава 2	Биоиндикация	38
2.1	История развития методов биоиндикации	40
2.2	Биоиндикация как метод определения загрязненности окружающей среды	44
2.3	Методы биоиндикации	48
2.4	Биотестирование водных сред	53
2.4.1	Биотестирование с использованием дафний как метод контроля очистки сточных вод	55
Глава 3	Материалы и оборудование	61
3.1	Ведение тест-культуры	61
3.2	Отбор проб воды	62
3.3	Методика биотестирования	63

3.3.1	Подготовка дафний к биотестированию	
3.3.2	Процедура биотестирования	
3.3.3	Обработка результатов	64
	Выводы	82
	Список литературы	83

## Введение

Во всем мире возрастает антропогенная нагрузка на окружающую среду. В сфере производственной деятельности человек включает все новые и новые природные ресурсы, истощая их и загрязняя при этом отходами несовершенных технологий воздух, воду, землю.

Грозные последствия человеческой деятельности все в большей степени волнуют людей, заставляют платить за охрану окружающей среды все большую часть национального дохода. Экологические проблемы вышли за национальные границы, стали общечеловеческими проблемами. Охрана окружающей среды от загрязнения стала наряду с проблемой разоружения, войны и мира важнейшей общечеловеческой проблемой.

В современных условиях, когда во многих регионах страны остро ощущается дефицит воды, актуальной задачей является создание замкнутых систем водоснабжения с утилизацией всех продуктов водоочистки. Сточные воды гальванических производств составляют от 30 до 50% общего количества сточных вод, образующихся на предприятиях машиностроения. Средний объем гальваностоков образующихся на одном гальваническом производстве, составляет 600-800 м<sup>3</sup>/сут. При этом основная масса используемых химикатов поступает при промывке деталей со сточными водами в канализацию. Эти химикаты не только токсичны, но и дефицитны.

Гальваническое производство относится к числу наиболее неэкологичных, отличается большими количествами отходов. Ежегодно в окружающую среду выбрасывается до 1 км<sup>3</sup> токсичных гальваностоков, содержащих 50 тыс. т. тяжелых металлов, 100 тыс. т. кислот и щелочей, 25-30% этих стоков попадает в водные бассейны.

Наряду с экономическим эффектом, полученным от внедрения новых технологий, необходимо научиться считать экономический эффект от предотвращенного ущерба, так как часто при расчете экономической

эффективности без учета этого фактора внедрение оказывается малоэффективным. Можно выделить четыре составляющих ущерба — ущерб здравоохранению, рыбному хозяйству, промышленности, сельскому и лесному хозяйству. Ущерб здравоохранению связан с повышением заболеваемости населения со всеми вытекающими последствиями. Металлы, применяемые в гальваническом производстве, обладают высокой токсичностью. Наиболее токсичны  $\text{Cr (VI)}$  и  $\text{Cd (II)}$ , они аккумулируются в организме и могут вызвать тяжелые последствия даже при кратковременном воздействии.  $\text{Cr (VI)}$  обладает канцерогенными свойствами, способствует появлению бронхиальной астмы, возникновению язвенной болезни, всевозможных дерматитов, доказано мутагенное действие  $\text{Cr (VI)}$  и  $\text{Cd (II)}$ .

Таким образом, выброс в окружающую среду отходов гальванического производства наносит, во-первых ущерб экологический, с долговременными последствиями [1].

**Актуальность исследования.** Биологический контроль окружающей среды включает две основные группы методов: биоиндикацию и биотестирование. Методами биоиндикации и биотестирования определяется присутствие в окружающей среде того или иного загрязнителя по наличию или состоянию определенных организмов, наиболее чувствительных к изменению экологической обстановки, т.е. обнаружение и определение биологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакции на них живых организмов и их сообществ. Таким образом, применение биологических методов для оценки среды подразумевает выделение видов животных или растений, чутко реагирующих на тот или иной тип воздействия. Методом биоиндикации с использованием подходящих индикаторных организмов в определенных условиях может осуществляться качественная и количественная оценка (без определения степени

загрязнения) эффекта антропогенного и естественного влияния на окружающую среду.

Проблема сохранения окружающей среды в настоящее время концентрирует на себе внимание исследователей всего мира. Стремительный рост народонаселения, увеличение площадей орошаемого земледелия, а также урбанизация и индустриализация привели к небывалому использованию природных ресурсов. За последние годы увеличился объем загрязнений, которые попадают в водохранилища от сельского хозяйства - отходы животноводства, птицеводства, предприятий, которые перерабатывают сельскохозяйственное сырье, и т.п. В связи с усилением антропогенной нагрузки, испытываемой природными комплексами, становится необходимой разработка методик, позволяющих оценивать экологическое состояние природно-антропогенных сред. Поэтому проблема развития различных мониторинговых подходов в системе экологического контроля и управления качеством окружающей среды сегодня наиболее актуальна.

Так как все компоненты природы тесно и неразрывно взаимосвязаны между собой, то нарушения одного компонента вызывает изменение состояния всех остальных. Оценивая состояния одного, можно предполагать и изменения других. Наиболее остро изменения окружающей природной среды отражаются на биотических компонентах.

При решении задач биоиндикации и связанных с ними задач экологического прогнозирования необходимо уделять внимание трем основным аспектам:

- выделению системообразующих факторов и целям прогнозирования;
- разработке соответствующих методов и моделей;
- проблеме оценки достоверности получаемых результатов.

Актуальность этих исследований косвенно подтверждается тем, что число количественных методов биоиндикации на сегодняшний день все еще

мало, что позволяет вспомнить слова 25-летней давности В.И.Василевича: «Как ни странно, но задачи фитоиндикации, вероятностные по своей природе, до сих пор решаются в основном без использования каких-либо статистических методов». Все это заставило первоначально рассмотреть ряд основных теоретических подходов, используемых при фитоиндикационных исследованиях.

**Объектом исследования** выступает биотестирование как метод определения загрязнения окружающей среды

**Предметом исследования** являются сточные воды гальванического производства

**Цель работы:** определить острую токсичность сточных вод гальванического производства путем использования тестов, основанных на оценке выживаемости беспозвоночных животных в экспериментах продолжительностью от 1 до 4 суток.

Для достижения цели следует решить ряд **задач:**

1. Изучить различные методики биотестирования.
2. Произвести забор проб воды в месте стока вод предприятия, занимающегося гальваническим производством, для последующих экспериментов.
3. Осуществить ряд исследований тестируемой воды с помощью биотеста для определения острой токсичности.
- 4.5. Определить минимальную кратность разбавления тестируемой воды для выявления снижения ее токсического действия.

## Глава 1. Гальваническое производство, методы и аппараты очистки сточных вод

### 1.1. Методы очистки сточных вод гальванических производств

Сточные воды гальванического производства по своему составу можно разделить на три группы:

- хромсодержащие, образующиеся после операции хромирования, пассивации и др., содержащие 80-120 мг/л хроматов (в пересчете на  $\text{Cr}^{6+}$ ), рН 2-6;

- кислотнo-щелочные, объединяющие промывные воды после всех ванн. В этих промывных водах кроме ионов тяжелых металлов, содержатся кислоты (или щелочи), соли тяжелых металлов, СПАВ, амины, блескообразующие добавки. Эти стоки составляют 80-90% от общего количества сточных вод гальванического производства; рН щелочных сточных вод составляют 10-12, кислых - 2-5;

- циансодержащие щелочные, сбрасываемые после процесса цианистого меднения, цинкования, кадмирования. Концентрация цианидов в промывных водах колеблется от 5 до 30 мг/л, рН 7,6-9 [1].

*Таблица 1*

Методы очистки сточных вод в отдельных технологических операциях [4]

Категории сточных вод	Источники образования	Основной загрязняющий компонент	Методы обработки
1	2	3	4
никельсодержащие	никелирование	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_3\text{BO}_3$ , $\text{NaCl}$ , $\text{NaF}$	ионный обмен, обратный осмос, электродиализ, дистилляция, экстракция, реагентный



хромсодержащие	пассивирование, хромирование	$\text{CrO}_3$ , $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , $\text{HF}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{Na}_2\text{SO}_4$	реагентный, обратный осмос, электродиализ, экстракция, электро- химические
цинксодержащие	цинкование	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , $\text{ZnCl}_2$ , $\text{Zn}(\text{BF}_4)_2$ , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , $\text{KCl}$ , $\text{NH}_4\text{B}_4$ , $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,	реагентный, выпаривание, экстракция, обратный осмос

### 1.1.2. Механические методы

Механическая очистка применяется для выделения из сточных вод нерастворимых минеральных и органических примесей. Обычно механическая очистка предшествует биологическому, физико-химическому или другому методу глубокой очистки. Чаще всего механическая очистка является предварительным, реже – окончательным этапом для очистки производственных сточных вод. Она обеспечивает выделение взвешенных веществ до 90—95 % и снижение органических загрязнений (по показателю  $\text{БПК}_{\text{ПОЛН}}$ ) до 20—25 %. Стандартная схема очистки на современных очистных станциях состоит из процеживания через решетки, пескоулавливания, отстаивания и фильтрования.

В ряде случаев возможно применение и других устройств, таких, как преаэраторы, биокоагуляторы, осветлители, нефтеловушки и смолоотстойники, гидроциклоны. Для очистки сточных вод от мелкодисперсных загрязнений применяют осадительные центрифуги и жидкостные сепараторы.

С целью обеспечения надежной работы сооружений механической очистки производственных сточных вод рекомендуется применять не менее двух рабочих единиц основного технологического оборудования — решеток, песколовок, усреднителей, отстойников или фильтров [4].

### 1.1.3. Химические методы очистки сточных вод

К химическим методам очистки сточных вод относят следующие: нейтрализация, окисление, восстановление, реагентные методы выделения загрязняющих веществ в виде малорастворимых и нерастворимых соединений.

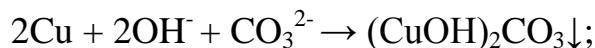
Химическая очистка сточных вод производится перед их подачей в систему оборотного водоснабжения, а также перед спуском их в водоем или городскую канализационную сеть. Кроме того, указанный метод применяется для предварительной очистки сточных вод перед биологической или физико-химической очисткой, а также в системах локальной очистки производственных сточных вод. Химическая обработка находит применение и как метод глубокой очистки сточных вод с целью их дезинфекции или обесцвечивания [4].

#### Реагентный метод

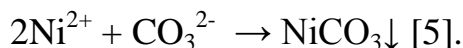
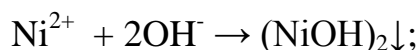
Во многих областях промышленности перерабатывают или применяют различные соединения ртути, цинка, никеля, кадмия и другие соединения, что ведет к загрязнению ими сточных вод. Для удаления этих веществ из сточных вод в настоящее время наиболее распространены реагентные методы очистки, сущность которых заключается в переводе растворимых в воде веществ в нерастворимые при добавлении различных реагентов с последующим отделением их от воды в виде осадков. Недостатком реагентных методов очистки является безвозвратная потеря ценных веществ с осадками.

В качестве реагентов для удаления из сточных вод ионов тяжелых металлов используют гидроксиды кальция и натрия, карбонат натрия, сульфиды натрия, различные отходы, например феррохромовый шлак, который содержит (в %): CaO - 51,3; MgO - 9,2; SiO<sub>2</sub> - 27,4; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 4,13; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 7,2; FeO - 0,73.

Ионы тяжелых цветных металлов могут осаждаться не только в виде гидроксидов, но и гидроксид-карбонатов (в случае использования для осаждения реагентов, содержащих в своем составе карбонатные ионы).



Очистка сточных вод от никеля основана на выделении его из раствора в виде труднорастворимых соединений:



#### 1.1.4. Физико-химические методы очистки сточных вод

Физико-химические методы играют существенную роль при обработке производственных сточных вод. К ним относятся следующие: коагуляция и флокуляция, сорбция, ионный обмен, экстракция, различные электрохимические методы, мембранные методы (обратный осмос, ультрафильтрация) и др. Эти методы используют как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, биологическими и химическими методами очистки. В настоящее время область применения физико-химических методов очистки расширяется. Наиболее эффективное применение физико-химических методов достигается в локальных системах очистки сточных вод промышленных предприятий.

Все электрохимические методы очистки воды можно разделить на три основные группы: методы превращения, методы разделения и комбинированные методы.

Первая группа методов обеспечивает изменение физико-химических и фазово-дисперсных характеристик загрязнения с целью их обезвреживания или более быстрого извлечения из воды (электрокоагуляция,

электрохимическая деструкция, электрокристаллизация, электроокисление (примесей или воды), электровосстановление (примесей или воды)).

Вторая группа методов предназначена для концентрирования примесей в локальном объеме электролита без существенного изменения фазово-дисперсных или физико-химических свойств извлекаемых веществ (электрофлотация, электродиализ, электроосмос, электрофорез, электрофильтрация).

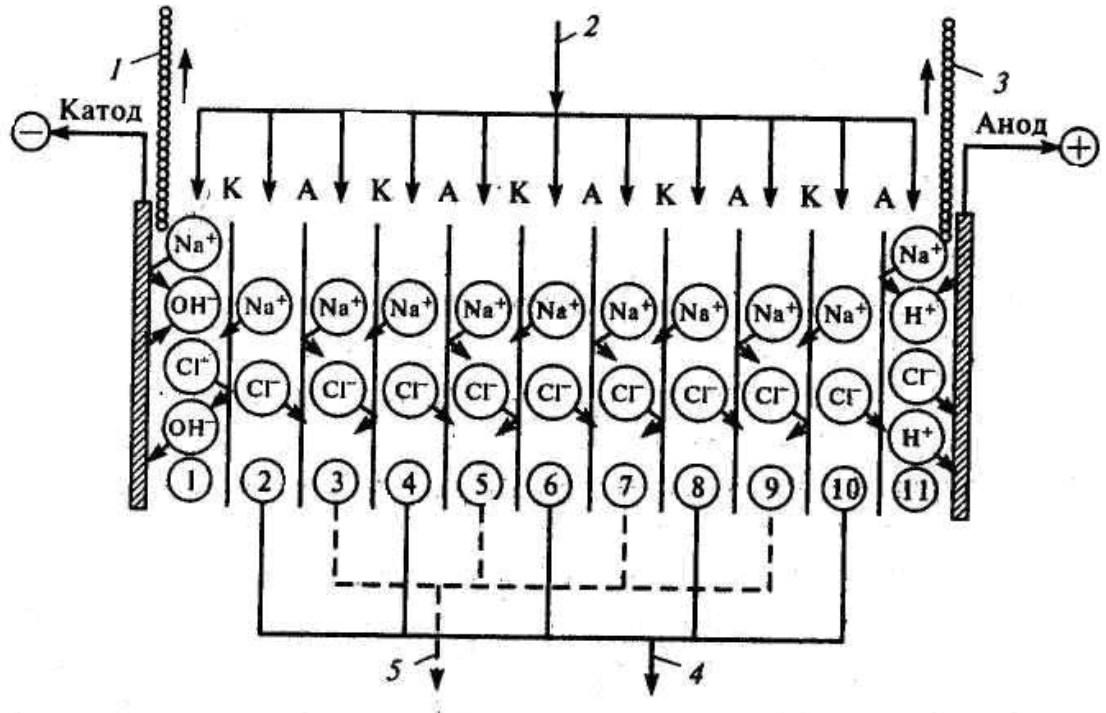
К третьей группе относятся методы, которые предполагают совмещение одного или нескольких методов превращения и разделения загрязнений в одном аппарате (электрофлотокоагуляция, электроосаждение) [4].

### **Электродиализ**

**Э л е к т р о д и а л и з** - процесс переноса ионов через мембрану под действием электрического поля. Для очистки сточных вод методом электродиализа используют электрически активные ионитовые мембраны.

Ионитовая мембрана, помещенная в электролизную ванну, действует как ионитовый фильтр: она проницаема только для ионов, имеющих заряд того же знака, что и подвижных (обменных) ионов ионообменной смолы, из которых изготовлена мембрана. Различают два типа ионитовых мембран: катионитовые и анионитовые. Первые из них пропускают через себя лишь катионы, вторые – анионы[4].

Схема процесса электродиализа.



**Рис.1. Схема процесса электродиализа**

К — катионитовые мембраны; А — анионитовые мембраны; 1 — выход газообразного водорода; 3 — подача сточной воды; 3 — выход газообразных кислорода и хлора;  
4 — выпуск обессоленной воды; 5 — выпуск концентрированного рассола.

### Электрофлотация

Способ электрофлотационной очистки основан на переносе загрязняющих частиц из объема жидкости на ее поверхность пузырьками газов, образующихся при электролизе сточных вод. Устройства, в которых производят этот процесс, называют электрофлотаторами. Основные флотационные процессы протекают с участием водорода. Методами электрофлотации очищают сточные воды нефтеперерабатывающих заводов, целлюлозно-бумажных комбинатов и других предприятий [4].

### Обратный осмос

Метод обратного осмоса заключается в фильтровании растворов под давлением через полупроницаемые мембраны, пропускающие растворитель и

полностью или частично задерживающие молекулы либо ионы растворенных веществ. В основе описываемого способа лежит явление осмоса - самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую перегородку в раствор (рис.2, а). Давление при котором наступает равновесие (рис. 2, б), называется осмотическим. При приложении со стороны раствора давления, превышающего осмотическое, перенос растворителя будет осуществляться в обратном направлении (рис. 2, в). Поэтому процесс получил название «обратный осмос» [4].

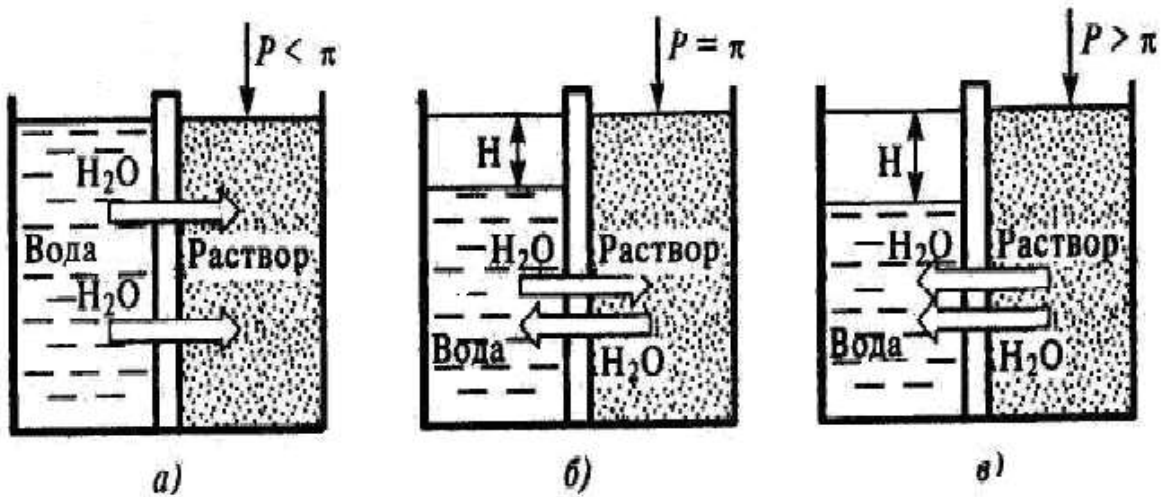


Рис. 2. Схема осмоса ( $\pi = \rho g H$  — осмотическое давление):

а - прямой осмос; б - осмотическое равновесие; в - обратный осмос.

### Ионообменная очистка сточных вод

Гетерогенный ионный обмен представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердой фазой (ионитом), обладающей свойством обменивать ионы, содержащиеся в ней, на другие ионы, присутствующие в растворе.

Ионообменная очистка сточных вод позволяет извлекать и утилизировать следующие загрязняющие вещества: тяжелые цветные металлы (медь, никель, цинк, свинец, кадмий и др.), хром, ПАВ, цианистые соединения

и радиоактивные вещества. При этом достигается высокая степень очистки сточной воды (до уровня ПДК), а также обеспечивается возможность ее повторного использования в технологических процессах или в системах оборотного водоснабжения. Кроме того, иониты используются для обессоливания воды в процессе водоподготовки.

Различают неорганические (минеральные) и органические иониты. По знаку заряда обменивающихся ионов все иониты делятся на катиониты, проявляющие кислотные свойства, и аниониты, обладающие основными свойствами. Ионитами могут быть как природные вещества, так и вещества, полученные искусственно (синтетические).

К природным неорганическим ионитам относятся следующие вещества: цеолиты, глинистые материалы, полевые шпаты, слюды и др. Они обладают катионообменными свойствами, обусловленными наличием в их структуре алюмосиликатов типа  $\text{Na}_2\text{O} * \text{Al}_2\text{O}_3 * n\text{SiO}_2 * t\text{H}_2\text{O}$ . Кроме того, ионообменными свойствами обладает фторапатит  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{F}$ , гидроксидапатит  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{OH}$ , а также различные неорганические синтетические иониты, к которым можно отнести силикагели, труднорастворимые оксиды и гидроксиды некоторых металлов (алюминия, хрома, циркония) и другие вещества.

К органическим природным ионитам относятся гуминовые кислоты углей и почв, обладающие слабокислотными свойствами. Для усиления кислотных свойств и повышения обменной емкости угли обрабатывают концентрированной серной кислотой, при этом образуются катиониты - сульфогли [4].

### **Коагуляция**

Коагуляция - это процесс укрупнения дисперсных частиц за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты. Мелкие (первичные) частицы в

таких агрегатах соединены силами межмолекулярного взаимодействия. Слипание однородных частиц называется гомокоагуляцией, а разнородных - гетерокоагуляцией. Вещества, способные вызвать коагуляцию частиц, называют в общем случае коагуляторами, а в водоподготовке — коагулянтами или гидролизующимися коагулянтами. Последние не только вызывают коагуляцию частиц загрязнений, но и образуют, гидролизуясь, малорастворимые продукты, способные объединяться в крупные хлопья.

Дискретная фаза (твердая или жидкая) в производственных сточных водах представлена коллоидными частицами размером 0,001 - 0,1 мкм, мелкодисперсными частицами размером 0,1 - 10 мкм, а также частицами, размер которых превышает 10 мкм. В процессах механической обработки сточных вод наиболее эффективно удаляются последние из вышеперечисленных частиц. Коллоидные и мелкодисперсные частицы при механической обработке практически не удаляются, поэтому для очистки сточных вод от этих загрязнений используют различные коагулянты (чаще всего - соли алюминия и железа), которые увеличивают - их скорость осаждения [4].

### **Флокуляция**

Флокуляцией называют процесс агрегации дисперсных частиц под действием высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами.

Флокулянты используют для расширения оптимальных диапазонов коагуляции (по pH и по температуре), а также для повышения плотности и прочности образующихся хлопьев и снижения расхода коагулянтов, в результате чего повышается надежность работы и пропускная способность очистных сооружений.

Флокулянты могут быть классифицированы в зависимости от полярных групп, входящих в их состав на следующие:

- неионогенные - полимеры, содержащие неионогенные группы: -ОН,



= CO (крахмал, поливиниловый спирт, полиакрилонитрил);

- анионные - полимеры, содержащие анионные группы: -COOH, -SO<sub>3</sub>H, -OSO<sub>3</sub>H (активная кремневая кислота, полиакрилат натрия, альгинат натрия);

- катионные - полимеры, содержащие катионные группы: -NH<sub>2</sub>, =NH (полиэтиленимин, сополимеры винилпиридина) [4].

### **Сорбция**

Сорбция - это процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью, называемыми сорбентами. Поглощаемое вещество именуется сорбатом. При абсорбции вещества (абсорбата) поглощение последнего происходит во всем объеме жидкого или твердого абсорбента. Абсорбция обусловлена как процессом диффузии абсорбента в абсорбат, так и процессами растворения. Под адсорбцией понимают процесс поглощения веществ (адсорбатов), находящихся в газах и жидкостях, происходящий на поверхности твердых тел (адсорбентов). Сорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом, называется хемосорбцией.

В качестве сорбентов применяют различные материалы: активированные (активные) угли различных марок, силикагели, алюмогели, золу, коксовую мелочь, торф, шлаки, активные глины. Характерной особенностью вышеперечисленных сорбентов является их пористость. Например, для таких эффективных сорбентов, как активированные угли, пористость составляет 60—75 %, а их удельная площадь поверхности лежит в пределах 400—900 м<sup>2</sup>/г [4].

### **Экстракция**

Жидкостная экстракция - это процесс извлечения вещества и водного раствора в жидкую органическую фазу, не смешивающуюся с водой.

Процессы жидкостной экстракции используются для выделения из сточных вод ценных органических веществ (например, фенолов и жирных кислот), а также тяжелых цветных металлов (меди, никеля, цинка, кадмия, ртути).

Введем основные термины, используемые в теории экстракции. Экстрагент - это органическое вещество, образующее с извлекаемым загрязняющим веществом соединение, способное переходить в органическую фазу. Данное определение обычно используется при проведении экстракции ионов металлов. Экстракция большинства неметаллических загрязнителей протекает за счет физических процессов (избирательного растворения), так как подлежащие переносу из фазы в фазу растворенные вещества обычно извлекаются без химических превращений. Экстрагент в этом случае играет роль селективного (избирательного) растворителя указанных загрязнителей. Экстрагентами служат органические кислоты, спирты, эфиры, кетоны, амины.

Разбавителем называют органическую жидкость, не смешивающуюся с водой и служащую растворителем экстрагента (керосин, бензол, ксилол, уайт-спирит). Иногда экстрагентом называют всю органическую фазу, т. е. раствор собственно экстрагента в разбавителе.

В случае когда экстрагент является твердым веществом, не растворяющимся в обычных разбавителях, для его перевода в жидкое состояние применяют специальные растворители (например, спирты).

Органическая и водная фазы после проведения экстракционной стадии называются соответственно экстрактом и рафинатом. Загрязняющие компоненты выделяются из экстракта двумя путями: либо ректификацией, либо реэкстракцией, в результате которых обычно достигается и регенерация экстрагента. В качестве реэкстрагирующих растворов (реэкстрагентов) используют водные растворы кислот, солей и оснований. Водный раствор после реэкстракции называют реэкстрактом [4].

### **1.2.1. Аппараты для очистки сточных вод**

Основной путь к защите водных объектов – очистка сточных вод от загрязнения. Аппараты очистки сточных вод можно подразделить на следующие группы:

- 1) механические (песколовки, усреднители, отстойники);
- 2) физико-химические (коагуляция, флокуляция, флотация, адсорбция, экстракция, диализ);
- 3) электрохимические (электродиализ, электрокоагуляция, электрофлотация)[4].

### **1.2.2. Аппараты механической очистки**

#### **Песколовки**

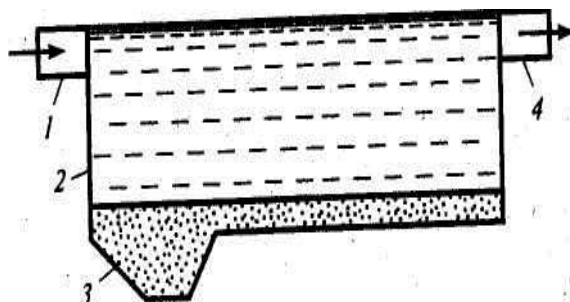
Песколовки обычно используют для отделения от сточных вод минеральных частиц крупностью более 200 мкм. Их устанавливают при пропускной способности станции очистки сточных вод более 100 м<sup>2</sup>/сут.

Песколовки рассчитывают на максимальный расход сточных вод и проверяют на минимальный приток. К основным типам песколовок, используемых в отечественной практике, относятся следующие: горизонтальные песколовки с круговым движением сточной воды, горизонтальные песколовки с прямолинейным движением сточной воды, аэрируемые песколовки, тангенциальные песколовки со шнековым пескопромывателем.

Горизонтальные песколовки с круговым движением сточной воды предназначены для удаления песка из производственных сточных вод, имеющих нейтральную или слабощелочную реакцию. Они рассчитаны на производительность 1400—70 000 м<sup>3</sup>/сут (типы I—VIII). Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением сточной воды обладают

пропускной способностью 70—280 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Скорость движения сточных вод составляет при максимальном расходе 0,3 м/с и при минимальном 0,15 м/с.

Схема горизонтальной песколовки с прямолинейным движением сточной воды представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Схема горизонтальной песколовки**

1 – входной патрубок; 2 – корпус песколовки; 3 – шламосборник (песковый приямок);  
4 – выходной патрубок

Горизонтальная песколовка работает следующим образом. Поток сточной воды поступает в нее через патрубок 1. Осаждающиеся в процессе движения воды твердые частицы скапливаются в шламосборнике 3 и на дне песколовки. Очищенная сточная вода удаляется через патрубок 4 и направляется на дальнейшую переработку. Время пребывания сточных вод в песколовке обычно составляет 0,5 - 2 мин [4].

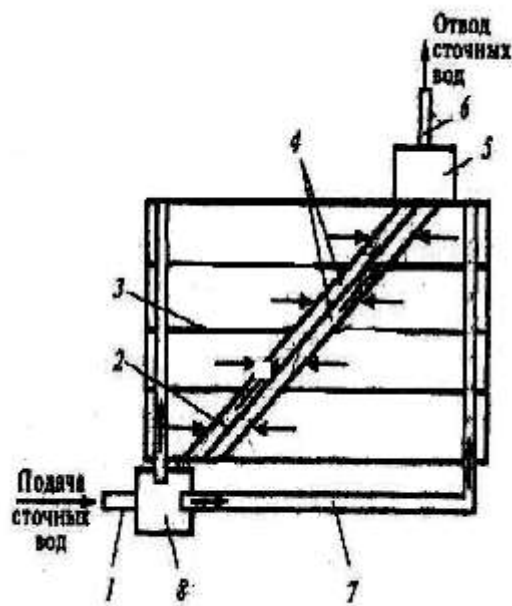
### **Усреднители**

Усреднители применяются для регулирования состава и расхода сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

Поступление на очистные сооружения производственных сточных вод с постоянным расходом и усредненной концентрацией загрязнений позволяет повысить эффективность и надежность работы устройств механической;

биологической и физико-химической очистки, в результате чего достигаются более высокие качественные показатели очищенной воды. Экономический эффект достигается в связи с выравниванием пиковых концентраций и расходов сточных вод, поступающих на очистку.

Конструктивно усреднители представляют собой прямоугольные резервуары, изготовленные из железобетона. В отечественной практике применяют, усреднители, действующие по принципу дифференцирования потока, и усреднители с перемешиванием поступающей сточной воды.



**Рис 4. Схема усреднителя прямоугольной формы с дифференцированием потока сточных вод**

1 – входной патрубок с шибером, 2 – диагональная перегородка, 3 – коридоры,  
4 – сборные лотки, 5 – выпускная камера, 6 – выходной патрубок, 7 – желоб для подачи сточных вод, 8 – распределительный колодец.

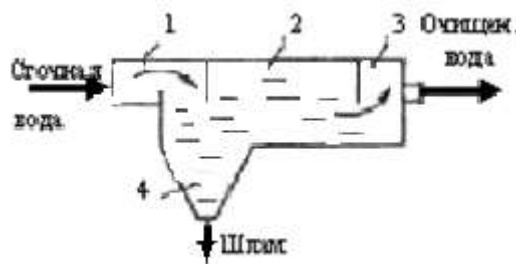
Принцип работы этого усреднителя заключается в следующем: сточная вода попадает в распределительный колодец 8, из которого по желобам направляется в коридоры усреднителя 3 и собирается затем в диагональные лотки 4, из них сточная вода поступает в выпускную камеру 5.

Эффективность усреднения по концентрации достигается за счет разного времени добегания отдельных порций сточной воды к сборному лотку [4].

### Отстойники

Отстойники применяют для выделения из сточных вод нерастворимых веществ, которые под действием гравитационных сил оседают на дно отстойника или всплывают на его поверхность. Выбор конкретного типа отстойников осуществляется в результате технико-экономического анализа нескольких вариантов. Число отстойников следует принимать не менее двух, но и не более четырех.

По направлению движения очищаемой воды в отстойниках их делят на вертикальные и горизонтальные.



**Рис. 5. Горизонтальный отстойник**

1 – входной лоток; 2 – отстойная камера; 3- выходной лоток; 4 – приямок.

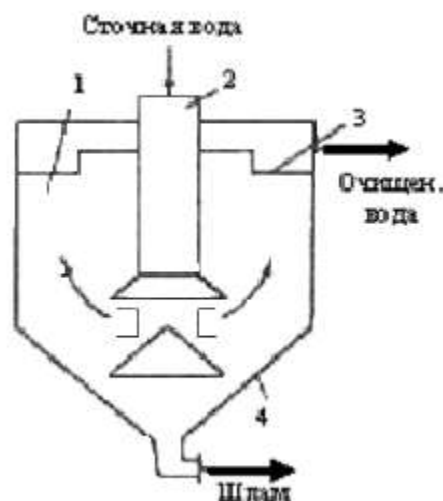
Горизонтальные отстойники применяют в составе станций очистки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод и предназначены для выделения взвешенных веществ из вод, прошедших решетки и песколовки.

Горизонтальные отстойники - это прямоугольные резервуары, имеющие два или более одновременно работающих отделения. Вода движется с одного конца отстойника к другому. Указанные отстойники рекомендуется применять при расходах сточных вод более  $10000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Глубина отстойников составляет  $H = 1,5—4$  м, длина  $(8—12)H$ , а ширина коридора  $3—6$  м. Равномерное распределение сточной воды достигается при помощи поперечного лотка. Эффективность отстаивания достигает 60%, что превышает аналогичную характеристику для вертикальных отстойников на 10—20%.

Основная масса взвешенных веществ (40—60 %) в отстойниках выпадает в осадок в течение 1,5 ч. В большинстве случаев на это время и рассчитывают емкость отстойников.

Вертикальные отстойники (рис. 6) предназначены для осветления производственных сточных вод, а также их смесей с бытовыми сточными водами, содержащих грубо дисперсные примеси. Вертикальные отстойники применяют при расходах сточных вод до  $10\,000\text{ м}^3/\text{сут}$ . Они имеют диаметр  $4,5—9$  м. Вертикальный отстойник представляет собой цилиндрический (или квадратный в плане) резервуар с коническим дном. Сточную воду подводят по центральной трубе. При поступлении внутрь отстойника вода движется снизу вверх к желобу. Для улучшения ее распределения и предотвращения образования мути трубу делают с раструбом и распределительным щитом. Осаждение происходит в восходящем потоке, скорость которого составляет  $0,5—0,6$  м/с. Высота зоны осаждения – 4 - 5 м.



**Рис. 6. Вертикальный отстойник**

1 – цилиндрическая часть; 2 – центральная труба; 3 – желоб; 4 – коническая часть.

Радиальные отстойники применяют для очистки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод. Они представляют собой круглые резервуары. Вода в них движется от центра к периферии. Такие отстойники применяют при расходах сточных вод свыше 20 000 м<sup>3</sup>/сут. Глубина проточной части отстойника составляет 1,5—5 м, а отношение диаметра к глубине от 6 до 30. Обычно используют отстойники диаметром 16—60 м. Эффективность отстаивания составляет 60 %.

Для повышения эффективности отстаивания следует проводить процесс осаждения в тонком слое жидкости. Для реализации этого принципа на практике используют трубчатые и пластинчатые отстойники. При малой глубине отстаивания процесс протекает за короткое время (4—10 мин), что позволяет уменьшить размеры отстойников.

Рабочими элементами трубчатых отстойников являются трубки диаметром 25—50 мм и длиной 0,6—1 м. Трубки можно устанавливать с малым (до 5°) и большим (45- 60°) наклоном. Трубчатый отстойник с малым наклоном работает периодически, т. е. сначала проводят отстаивание, а затем промывку трубок от осадка. Такие отстойники используют для осветления сточных вод с небольшим содержанием взвешенных веществ при расходах 100-10000 м<sup>3</sup>/сут. Эффективность очистки достигает 80—85%.

В трубчатых отстойниках с большим наклоном вода проходит снизу вверх, а осадок непрерывно сползает по дну трубок в шламовое пространство. Непрерывное удаление осадка исключает необходимость промывки трубок.



Пластинчатые отстойники имеют в корпусе ряд параллельно установленных наклонных пластин. Вода движется между пластинами, а осадок сползает вниз, в шламоприемник. Указанные отстойники наиболее эффективно использовать для осветления высококонцентрированных сточных вод [4].

### 1.2.3. Аппараты электрохимической очистки сточных вод

#### Электродиализ

Процесс очистки сточных вод осуществляется в многокамерных аппаратах (электродиализаторах), в которых плоские мембраны расположены параллельно.

Аппарат ЭДУ – 50 (рис. 7) имеет четыре пакета по 75 пар мембран (ячеек) в каждом (размер мембран  $\square 1000 \times 500$  мм), два электрода, две приэлектродной камеры и восемь рамных плит, изготовленных из капролона. Межпакетные пространства промываются рассолом.

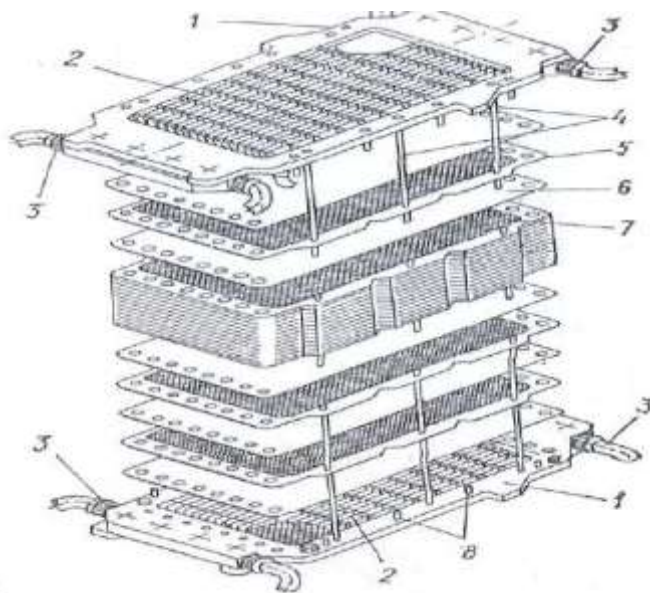


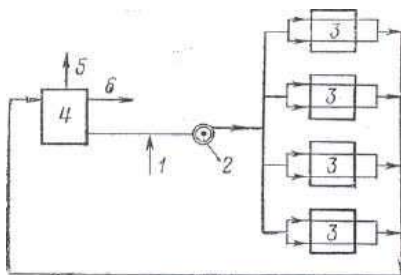
Рис.7. Схема сборки одного пакета электродиализатора ЭДУ-50

1- рамные плиты; 2- решетки рамной плиты; 3- трубопроводы; 4- фиксирующие штыри;  
5- корпусная рамка; 6- мембрана; 7- сетка-сепаратор; 8- стяжные шпильки.

Различают электродиализаторы двух типов: прокладочные (ЭДУ – 50, ЭХО-М-5000\*20, «Родник-3»), которые имеют горизонтальную ось электрического поля и пропускную способность 2 – 20 м<sup>3</sup>/ч, а также лабиринтного типа (Э-400М, ЭДУ-2, ЭДУ-1000), имеющую вертикальную ось электрического поля ( пропускная способность 1 – 25 м<sup>3</sup>/ч).

В практике обессоливания и очистки воды применяются следующие типы установок: прямоточные, циркуляционные (порционные), циркуляционные непрерывного действия и установки с аппаратами, имеющими последовательную гидравлическую систему движения потоков в рабочих камерах [4].

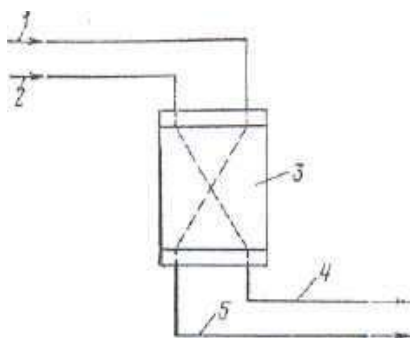
Прямоточные ЭДУ (рис. 8), в которых обрабатываемая вода последовательно или параллельно проходит через аппараты установки, и солесодержание воды снижается от исходного до заданного за один проход (непрерывный процесс). Степень снижения солесодержания является простой функцией длительности пребывания в электродиализаторах и приложенного электрического тока.



**Рис. 8. Промывная циркуляционная система приэлектродных камер**

1- подача воды и кислоты; 2- центробежный насос; 3- электродиализные аппараты;  
4- бак; 5- выход газа; 6- отвод промывной воды.

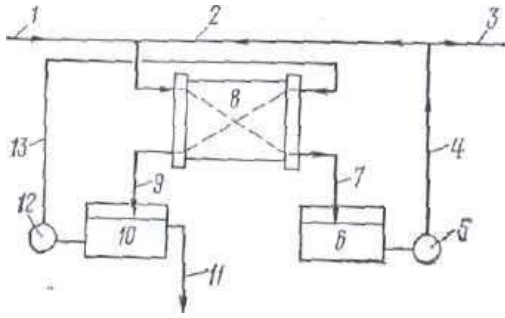
Циркуляционные (порционные) ЭДУ (рис. 9), в которых определенный объем частично обессоленной воды из бака дилюата забирается насосом и перекачивается через мембранный электродиализный аппарат обратно в бак до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень обессоливания. Это – дилюатная циркуляционная система. Одновременно в другой циркуляционной системе с помощью второго насоса (рассольного) осуществляется циркуляция рассола через концентрирующие камеры электродиализатора. Сброс рассола производится или непрерывно, или периодически до достижения произведения растворимости содержащихся в нем солей.



**Рис. 9. Схема прямоточной ЭДУ**

1 - подача воды на обессоливание; 2- подача воды на концентрирование;  
3- электродиализатор; 4- отвод рассола; 5- отвод частично обессоленной воды.

Циркуляционные ЭДУ непрерывного действия (рис. 10), в которых часть исходной воды непрерывно смешивается с частью не полностью обессоленной воды (дилюата), проходит через электродиализатор и подается потребителю или в резервуар очищенной воды. Рассол или непрерывно продувается, или циркулирует и концентрируется до допустимых пределов.



**Рис. 10. Схема циркуляционной ЭДУ непрерывного действия**

1- подача исходной воды; 2- трубопровод рециркуляционной воды; 3- отвод частично обессоленной воды; 4- трубопровод диллюата; 5- насос для перекачивания диллюата; 6- бак для диллюата; 7- выход диллюата из электродиализатора; 8- электродиализатор; 9- выход рассола из электродиализатора; 10- бак для рассола; 11- отвод рассола; 12- насос для перекачивания рассола; 13- трубопровод рециркуляционного рассола.

ЭДУ с аппаратами, имеющими последовательную гидравлическую систему движения потоков в рабочих камерах.

Исходная вода проходит по порядку все камеры диллюатной системы, а рассол – все камеры рассольной системы [6].

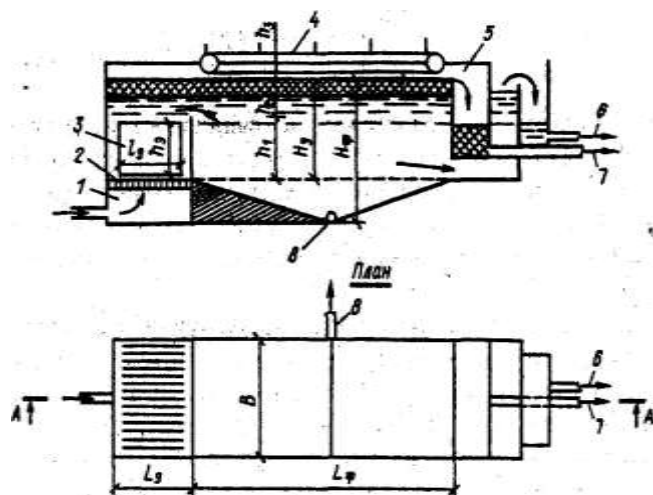
### Электрофлотация

Устройства, в которых производят этот процесс, называют электрофлотаторами.

Обычно в установках для электрофлотации используют растворимые электроды (железные или алюминиевые). При их растворении протекают реакции, описанные уравнениями, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия (в виде гидроксидов). Эти электрофлотационные процессы очистки наиболее эффективны при очистке сточных вод, что обеспечивается одновременным воздействием на загрязнения коагулянтов (гидроксидов железа или алюминия) и пузырьков газа. Такие установки называют электрокоагуляционно-флотационными.

Существуют однокамерные и двухкамерные электрофлотационные установки, горизонтального или вертикального типа. При пропускной

способности до 10—15 м<sup>3</sup>/ч используют однокамерные установки. Схема горизонтальной установки представлена на рис. 11 [4].



**Рис. 11. Горизонтальный электрофлотатор**

1 – впускная камера; 2 – решетка-успокоитель; 3 – электродная система; 4 – механизм для сгребания пены; 5 – пеносборник; 6,7 – отвод соответственно обработанной сточной воды и пенного шлама; 8 – опорожнение электрофлотатора и выпуск осадка

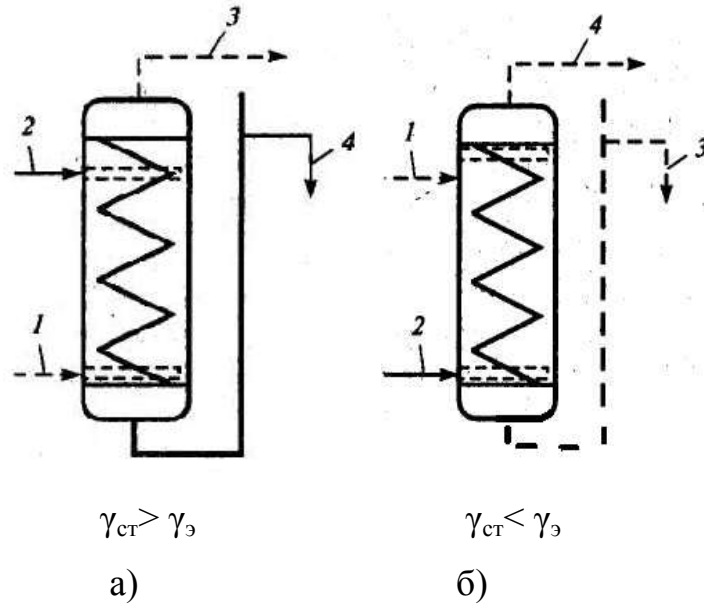
### Экстракция

Для выделения загрязняющих органических веществ из сточных вод можно использовать следующие методы жидкостной экстракции, которые различают по схемам контакта экстрагента и сточной воды: перекрестноточные, ступенчато-противоточные и непрерывно-противоточные.

Ступенчато-противоточная экстракция может быть непрерывной или периодической (при малых расходах сточных вод).

Непрерывно-противоточная экстракция характеризуется тем, что вода и экстрагент движутся навстречу друг другу в одном аппарате, обеспечивающем диспергирование экстрагента в воде. Загрязняющие вещества из сточной воды переходят в экстрагент.

Схема процесса непрерывной экстракционной очистки представлена на рис. 12.



**Рис. 12. Схема процесса непрерывной экстракции**

1,2 – подача соответственно экстрагента и сточной воды; 3,4 – отвод соответственно отработанного экстрагента и очищенной сточной воды ( $\gamma_{ст}$  – плотность сточной воды,  $\gamma_{э}$  – плотность экстрагента).

Обрабатываемая сточная вода вводится в экстракционную колонку сверху, а экстрагент снизу, если плотность очищаемой воды превышает плотность экстрагента. В противном случае ввод воды и экстрагента меняют местами [4].

### 1.3. Методы контроля очистки сточных вод

#### 1.3.1. Электрохимические методы

Электрохимические методы анализа можно классифицировать следующим образом:

- методы, в которых отсутствует протекание электродных реакций, т.е. строение двойного электрического слоя в расчет не принимается (например, кондуктометрия);

- методы, основанные на электродных реакциях в отсутствии внешнего тока (потенциометрия) или под током (вольтамперометрия, кулонометрия).

Электрохимические методы позволяют определять:

- концентрацию веществ в широком интервале ( $1-10^{-9}$  м/л);
- концентрацию веществ в мутных и окрашенных растворах;
- концентрацию смеси веществ [7].

Электрохимические методы анализа классифицируют по-разному.

Классификация, основанная на учете природы источника электрической энергии в системе. Различают две группы методов.

а) Методы без наложения внешнего (постороннего) потенциала. Источником электрической энергии служит сама электрохимическая система, представляющая собой гальванический элемент (гальваническую цепь). К таким методам относятся потенциометрические методы. Электродвижущая сила – ЭДС- и электродные потенциалы в такой системе зависят от содержания определяемого вещества в растворе.

б) Методы с наложением внешнего (постороннего) потенциала. К таким методам относятся:

- кондуктометрический анализ- основан на измерении электрической проводимости растворов как функции их концентрации;

- вольтамперометрический – основан на измерении тока как функции приложенной известной разности потенциалов и концентрации раствора;

- кулонометрический анализ- основан на измерении количества электричества, прошедшего через раствор, как функцию его концентрации;

- электрогравиметрический анализ - основан на измерении массы продукта электрохимической реакции.

Классификация по способу применения электрохимических методов. Различают прямые и косвенные методы.

а) Прямые методы. Измеряют электрохимический параметр как известную функцию концентрации раствора и по показанию соответствующего измерительного прибора находят содержание определяемого вещества в растворе.

б) Косвенные методы - это методы титрования, в которых окончание титрования фиксируют на основании измерения электрических параметров системы.

В соответствии с данной классификацией различают, например, прямую кондуктометрию и кондуктометрическое титрование, прямую потенциометрию и потенциометрическое титрование [8].

### **Потенциометрия**

Объединяет методы, основанные на измерении ЭДС обратимых электрохимических цепей, когда потенциал рабочего электрода близок к равновесному значению. Потенциометрия включает редоксметрию, ионометрию и потенциометрическое титрование. Основными достоинствами потенциометрического метода являются его высокая точность, высокая чувствительность и возможность проводить титрования в более разбавленных растворах, чем это позволяют визуальные индикаторные методы. К недостаткам потенциометрического титрования можно отнести не всегда быстрое установление потенциала после добавления титранта [9].

### **Вольтамперометрия**

Основана на исследовании зависимости тока поляризации от напряжения, прикладываемого к электрохимической ячейке, когда потенциал рабочего электрода значительно отличается от равновесного значения. Вольтамперометрия – самая многочисленная группа из всех



электрохимических методов анализа, широко используемая для определения веществ в растворах и расплавах. Основными достоинствами метода являются быстрота анализа, возможность определения нескольких веществ в смеси без предварительного разделения, достаточно высокая точность и применимость к анализу небольших содержаний определяемого элемента [9].

### **Кулонометрия**

Объединяет методы анализа, основанные на измерении количества вещества, выделяющегося на электроде в процессе электрохимической реакции в соответствии с законами Фарадея. При кулонометрии потенциал рабочего электрода отличается от равновесного значения. Различают потенциостатическую и гальваностатическую кулонометрию, причем последняя включает прямой и инверсионный методы, электроанализ и кулонометрическое титрование. Кулонометрический анализ позволяет определять очень небольшое содержание вещества с высокой точностью (0,1-0,5%), превосходя в этом отношении другие методы. Кулонометрия характеризуется также высокой селективностью, позволяя определять многие вещества в растворе без предварительного химического разделения [9].

#### **1.3.2. Оптические методы анализа**

Оптические методы анализа основаны на способности атомов и молекул испускать, поглощать, отражать или рассеивать электромагнитные излучения оптического диапазона электромагнитной шкалы. К ним относятся УФ, видимая и ИК- спектры [10].

### **Спектральный анализ**

Физический метод качественного и количественного определения атомного и молекулярного состава вещества, основанный на исследовании его спектров. Физическая основа спектрального анализа – спектроскопия

атомов и молекул, его классифицируют по целям анализа и типам спектров. Атомный спектральный анализ определяет элементный состав образца по атомным (ионным) спектрам испускания и поглощения, молекулярный спектральный анализ – молекулярный состав вещества по молекулярным спектрам поглощения, люминесценции и комбинационного рассеивания света.

Эмиссионный спектральный анализ производят по спектрам испускания атомов, ионов и молекул (оптические и рентгеновские спектры), возбужденным различными источниками электромагнитного излучения в диапазоне от у-излучения до микроволнового.

Абсорбционный спектральный анализ осуществляют по спектрам поглощения электромагнитного излучения анализируемыми объектами (атомами, молекулами, ионами вещества, находящегося в различных агрегатных состояниях).

Методы спектрального анализа чрезвычайно широко используют в экологии. При этом методы атомного эмиссионного спектрального анализа незаменимы при определении следовых количеств тяжелых металлов в воде, воздухе и почве, а абсорбционную спектроскопию используют для идентификации и установления строения органических соединений, металлоорганических соединений и многих неорганических газов.

Следует отметить высокую чувствительность и избирательность приборов атомного спектрального анализа («атомников») [10].

### **Спектроскопический метод анализа**

К спектроскопическим методам анализа относят физические методы, основанные на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Это взаимодействие приводит к различным энергетическим переходам в молекулах, которые регистрируют экспериментально в виде поглощения излучения, отражения и рассеяния электромагнитного излучения.

Электромагнитное излучение или свет могут быть описаны двумя способами. Первый исходит из волновой природы света и необходим для объяснения таких оптических явлений, как отражение и рассеяние электромагнитного излучения, этот способ применяют также для объяснения процессов интерференции, дифракции и преломления света. Второй способ исходит из корпускулярной природы света и объясняет процессы поглощения и испускания электромагнитного излучения атомами и молекулами.

Электромагнитное излучение при взаимодействии с веществом может вызывать в нем процессы разнообразной физической природы, используемые в методах химического анализа. Общий характер этих процессов зависит от энергии фотонов. Следовательно, для классификации методов анализа весь диапазон энергий электромагнитных квантов целесообразно разделить на области, соответствующие тому или иному физическому процессу.

Обычно спектры поглощения (отражения) регистрируются в координатах: интенсивность поглощения – длина волны. УФ – спектроскопия в диапазоне 180-380 нм обусловлена переходами валентных электронов в молекулах, «видимая» спектроскопия в диапазоне 400-800 нм обусловлена переносом заряда, а также переходами  $d$  – электронов. В ИК – спектроскопии ответственными за поглощение являются колебания и деформации химических связей в молекулах [10].

### **Рентгеновские методы анализа.**

В рентгеновском флуоресцентном анализе используют рентгеновские спектры элементов для химического анализа веществ. Для получения спектра в качестве диспергирующего элемента применяются кристаллы или дифракционные решетки. Рентгеновское возбуждение атомов вещества может возникать в результате бомбардировки образца электронами больших

энергий или при его облучении рентгеновскими лучами. Электронная бомбардировка приводит к появлению не только характеристического спектра элемента, но и достаточно интенсивного непрерывного излучения; флуоресцентное излучение содержит только линейчатый спектр.

Прибор для рентгеновского флуоресцентного анализа состоит из рентгеновской трубки, кристалла – анализатора или дифракционной решетки (в дисперсионных спектрометрах), разлагающих рентгеновское излучение в спектр.

Качественный рентгеноспектральный анализ основан на использовании зависимости частоты излучения линий характеристического спектра элементов от их атомного номера (закон Мозли), а количественный – на связи между интенсивностью этих линий и числом атомов, принимающих участие в излучении.

Рентгеновский флуоресцентный анализ применяют для определения всех элементов периодической системы, начиная с натрия и кончая ураном [10].

### **Фотометрический метод анализа**

Фотометрический метод количественного анализа основан на переведении определяемого компонента в поглощающее свет соединение; количество этого продукта реакции устанавливают путем измерения светопоглощения.

Фотоколориметрический метод основан на измерении интенсивности светового потока, прошедшего через окрашенный раствор. Простейшим видом колориметра является набор пробирок со стандартными растворами разной концентрации. После добавления соответствующего реагента окраску сравнивают на глаз с окраской исследуемого раствора. Совпадение окраски искомого раствора с окраской раствора в одной из пробирок шкалы говорит о совпадении концентрации. С развитием фотоэлектрической техники стала

возможной замена визуальной оценки интенсивности окраски раствора объективной оценкой по степени поглощения с помощью фотоколориметров и спектрофотометров.

Фотометрические методы основаны на сравнении поглощения света стандартными и исследуемыми растворами. Измерение оптической плотности стандартного и исследуемого окрашенных растворов всегда производят по отношению к раствору сравнения (нулевому раствору). В качестве раствора сравнения можно использовать аликвотную часть исследуемого раствора содержащего все добавляемые компоненты кроме реагента. Следовательно, получается окрашенное соединение. Если реагент и все остальные компоненты раствора сравнения бесцветны и, следовательно, не поглощают в видимой области спектра, то в качестве раствора сравнения можно использовать дистиллированную воду.

В фотометрическом анализе применяют реакции различных типов. Для фотометрического определения органических компонентов чаще всего используют реакции синтеза окрашенных соединений. Реакции синтеза удобно применять и для определения некоторых неорганических компонентов, например сульфидов или нитритов

Для определения неорганических компонентов чаще всего используют реакции образования (иногда - разрушения) окрашенных комплексных соединений. Большинство металлов и неметаллов способны к образованию различных комплексных соединений, в том числе окрашенных, или во всяком случае способны к взаимодействию с окрашенными комплексами. Поэтому область применения фотометрических методов анализа практически не имеет ограничений; в настоящее время известны достаточно простые фотометрические методы определения почти всех элементов или их соединений

## Глава 2 Биоиндикация

### 2.1 История развития методов биоиндикации

Использование живых организмов в качестве чувствительных к загрязнению окружающей среды уходит своими корнями в древние века. Первые наблюдения сделали еще античные ученые: именно они обратили внимание на связь облика растений с условиями их произрастания. Живший в 327 – 287 гг. до н. э. Теофраст написал широко известную работу «Природа растений», в которой содержится немало советов о том, как по характеру растительности судить о свойствах земель. Аналогичные сведения можно встретить в трудах римлян Катона и Плиния Старшего.

Идею биоиндикации с помощью растений сформулировал еще в I в. до н. э. Колумелла: «Рачительному хозяину подобает по листве деревьев, по травам или по уже поспевшим плодам иметь возможность здраво судить о свойствах почвы и знать, что может хорошо на ней расти». Это направление, ныне получившее название ландшафтной биоиндикации, успешно используется в практических целях [30].

В России в XV и XVI вв., уже упоминались такие понятия, как «лес пашенный» и «лес непашенный», т.е. участки леса пригодные для сведения под пашню и непригодные.

В нашей стране основоположником биоиндикационного использования растений, оценки свойств почв и подстилающих горных пород по особенностям развития растений и составу растительного покрова бесспорно считают А.П.Карпинского. А.П.Карпинский писал о возможности растительной биоиндикации, и использовал характер распространения растений для составления геологических карт. Например, почвенные микроорганизмы и индикаторные растения служат при поисках различных полезных ископаемых. Также в трудах М.В.Ломоносова и А.Н.Радищева есть упоминания о растениях указателях особенностей почв, горных пород, подземных вод.

По словам Кашина, Иванова (1980), «растения являются высокоинформативным индикатором уровня доступных форм химических элементов в окружающей среде и основным источником их для человека и животных. В связи с этим они представляют большой интерес в качестве эффективных объектов при экологическом мониторинге загрязнения окружающей среды ...»[27]. Использование растений как индикаторов загрязнений окружающей среды было показано Константином и Овенсом. У.Д. Мэнинг и У.А. Федер (1985) определяют растение-индикатор как «растение, у которого признаки повреждения появляются при воздействии на него фитотоксичной концентрации одного загрязняющего вещества или смеси таких веществ. Индикаторными могут быть так же те растения, которые аккумулируют в тканях загрязняющие вещества или продукты метаболизма, получаемые в результате взаимодействия растения и загрязняющего вещества. Роль растений как объектов генетических исследований не может не дооцениваться, поскольку лишь благодаря им были установлены основные принципы и положения генетики и цитогенетики.

Ну а самый большой вклад в развитие биоиндикации внес русский ученый-почвовед В.В.Докучаев. По комплексам почвенных животных можно определить типы почв и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности человека.

Самое быстрое освоение биоиндикации началось в XIX в., когда быстрыми темпами стали осваивать окраины нашей страны. Сейчас целесообразно говорить не только о наличии или отсутствии фактора, но и о степени его влияния на природный комплекс. Разная степень влияния на окружающую среду. Это позволяет ввести шкалу воздействий (например, нет воздействия – слабое – сильное). Это шкала экологического фактора позволяет более верно оценивать исследуемую территорию. В этом случае следует говорить – методе количественной оценки степени воздействия

экологического фактора на окружающую природную среду. При помощи биоиндикации устанавливают содержание в субстрате витаминов, антибиотиков, гормонов и др, биологически активных веществ, а также определяет интенсивность различных химических (рН, содержание солей и др.) и физических факторов (радиоактивность) и другие среды. И так, по составу флоры и фауны вод, численному составу их отдельных представителей судят о степени и характере загрязнений, пригодности вод для питья и хозяйственных целей, а так же об эффективности работы очистных сооружений.

На современном этапе наиболее важные задачи биоиндикации и биомониторинга состоят в разработке теоретических основ и методологии анализа реакции биологических систем на многофакторные воздействия с учетом дифференциальных отличий патогенных агентов, факторов риска, патотропных ситуаций и патологических явлений в зависимости от экологических условий и состояния организмов, популяций, ценозов и отдельных экосистем.

Впервые в России в 2001 г. в г. Сыктывкар на базе Института биологии Коми НЦ УРО Российской Академии Наук. Международный союз биологических наук, Междисциплинарная комиссия по биоиндикаторам и Российская академия наук провели XI международный симпозиум по биоиндикаторам «Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга». В нем участвовало 500 представителей 102 организаций из 25 стран мира. К началу симпозиума было опубликовано более 300 присланных научных сообщений. Он стал важным этапом в развитии концептуальных подходов к решению проблемы взаимоотношения человека и природы. Практически с этого момента можно говорить о рождении в нашей стране научно обоснованной концепции биомониторинга. Десять предыдущих симпозиумов в основном были посвящены разработке критериев и методов оценки качества окружающей среды. В этот же раз



обсуждались помимо традиционных вопросов биоиндикации новые методы, включая дистанционное зондирование, и новые подходы, охватывающие комплексные методы индикации – от традиционных биогеохимических до создания геоинформационных систем [27].

## 2.2 Биоиндикация как метод определения загрязненности окружающей среды

В значительной мере теоретическая и практическая неполнота работ в области биоиндикации связана с объективными методологическими трудностями отображения и моделирования предметной области. Оценка антропогенного воздействия на биотические компоненты экосистем во многом осложняется пространственно-временной дифференциацией видовой структуры, т.к. ценопопуляции одного и того же вида, входящие в разные сообщества организмов, характеризуются различными экологическими условиями обитания и их реакции на действие фактора могут существенно отличаться. У видов со слабо выраженными механизмами популяционного гомеостаза эти реакции всегда достаточно контрастно выражаются в снижении физиологической устойчивости части особей к действию антропогенных факторов и, в конечном счете, в нарушении процессов репродукции. Однако для большинства видов реагирование на любое техногенное воздействие (если, разумеется, оно не носит катастрофический характер) принципиально не отличается от выработанных в ходе эволюции тривиальных реакций на колеблющиеся изменения среды. В процессе адаптации биоценоза к меняющимся условиям включаются компенсационные механизмы и, при умеренных воздействиях, в популяциях вырабатывается некоторый средний, генетически обусловленный уровень интенсивности воспроизводства за счет "перераспределения факторов смертности". И только в том случае, когда давление антропогенных факторов выводит экосистему за рамки естественной изменчивости, происходит нарушение динамической стабилизации популяционных связей, изменяется генетический состав и идет подавление наиболее генерализированного свойства популяций – воспроизводственного процесса.

Необходимым условием для выявления качественных нарушений биотических процессов, происходящих в экосистемах под влиянием антропогенных факторов, является знание диапазона естественной изменчивости биоценозов, т.е. построение пространства состояния популяций. В связи с этим возникает необходимость определения тех параметров, которые позволят с заданной подробностью и точностью оценить состояние биоценоза, вычленив изменения, вызванные действием антропогенных факторов, и получить необходимую и достаточную информацию для прогноза возможных изменений состояния экосистемы. Однако для получения такого “динамически достаточного описания” (термин Б.К.Павлова) необходимо знание “правил” внутреннего преобразования популяций в результате действия каких-либо факторов. Но мы не можем сформулировать эти “правила” до тех пор, пока не определим ряд необходимых и достаточных параметров описания состояния популяций, достаточно чувствительных, информативных и обладающих достаточной селективностью в рамках поставленной задачи [30]. Относительно благополучно дело обстоит с описательным объяснением терминов. Например, согласно определению Н.Ф.Реймерса:

*“Биоиндикатор: группа особей одного вида или сообщество, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей... **Сообщество индикаторное** – сообщество, по скорости развития, структуре и благополучию отдельных популяций микроорганизмов, грибов, растений и животных которого можно судить об общем состоянии среды, включая, ее естественные и искусственные изменения”.*

Безусловно, объективные факты свидетельствуют о существовании тесного влияния факторов среды на биотические процессы экосистемы (плотность популяций, динамику видовой структуры, поведенческие особенности). Такие факторы среды, как свет, температура, водный режим,

биогенные элементы (макро- и микроэлементы), соленость и другие имеют функциональную важность для организмов на всех основных этапах жизненного цикла. Однако можно использовать обратную закономерность и судить, например, по видовому составу организмов о типе физической среды. Поэтому *“Биоиндикация – это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. В полной мере это относится ко всем видам антропогенных загрязнений”*.

Существенные методологические трудности биоиндикации возникают и при оценке состояния биоценоза по соотношению видов в конкретной экосистеме выборочным методом. Если исходить из понимания популяции, как совокупности особей, то информация, которую мы получили, не может быть экстраполирована за пределы временного периода или станции (полигона), на котором осуществлена выборка. Необходимо получить информацию о форме распределения вероятностей нахождения особей в той или иной точке пространства экосистемы. Исходя из найденного закона распределения, можно рассчитать число необходимых проб, обеспечивающих заданную точность интерполяции. Такой подход возможен для оценки состояния популяций на небольших площадях, например, в небольших замкнутых мелководных водоемах. Для крупных водоемов количество выборок ограничивается временем, за которое можно сделать пробы в сходных условиях (например, даже в течение суток может произойти перераспределение планктонных особей в пространстве). Проблемы, связанные с изучением пространственно-временной дифференциации зоопланктона при проведении мониторинговых исследований, показаны, например, на большом экспериментальном материале О.М. Кожовой и Б.К. Павловым.

Таким образом, биоиндикацию можно определить как совокупность методов и критериев, предназначенных для поиска информативных компонентов экосистем, которые могли бы:

- адекватно отражать уровень воздействия среды, включая комплексный характер загрязнения с учетом явлений синергизма действующих факторов;

- диагностировать ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах биотических сообществ и оценивать их значимость для всей экосистемы в ближайшем и отдаленном будущем.

### 2.3 Методы биоиндикации

Любая экосистема, находясь в равновесии с факторами внешней среды, имеет сложную систему подвижных биологических связей, которые нарушаются под воздействием антропогенных факторов. Прежде всего, влияние антропогенных факторов, и в частности, загрязнения отражается на видовом составе сообществ и соотношении численности слагающих их видов. Биологический метод оценки состояния системы позволяет решить задачи, разрешение которых с помощью физических и химических методов невозможно. Рекогносцировочная оценка степени загрязнения по составу бионтов позволяет быстро установить его санитарное состояние, определить степень и характер загрязнения и пути его распространения в экосистеме, а также дать количественную характеристику протекания процессов естественного самоочищения.

Биотестирование - использование в контролируемых условиях биологических объектов (тест-объектов) для выявления и оценки действия факторов (в том числе и токсических) окружающей среды на организм, его отдельную функцию или систему организмов [32].

Наиболее полно методы биотестирования разработаны для гидробионтов и позволяет использовать их для оценки токсичности загрязнений природных вод, контроля токсичности сточных вод, экспресс - анализа в санитарно-гигиенических целях, для проведения химических анализов в лабораторных целях и решения целого ряда других задач.

В зависимости от целей и задач токсикологического биотестирования в качестве тест - объектов применяются различные организмы: высшие и низшие растения, бактерии, водоросли, водные и наземные беспозвоночные и другие.

Например, при сбросе в водоем токсических веществ, содержащихся в промышленных сточных водах, происходит угнетение и обеднение

фитопланктона. При обогащении водоемов биогенными веществами, содержащимися, например, в бытовых стоках, значительно повышается продуктивность фитопланктона. При перегрузке водоемов биогенами возникает бурное развитие планктонных водорослей, окрашивающих воду в зеленый, сине-зеленый, золотистый, бурый или красный цвета ("цветение" воды). "Цветение" воды наступает при наличии благоприятных внешних условий для развития одного, редко двух-трех видов. При разложении избыточной биомассы, выделяется сероводород или другие токсичные вещества. Это может приводить к гибели зооценозов водоема и делает воду непригодной для питья. Многие планктонные водоросли в процессе жизнедеятельности нередко выделяют токсичные вещества. Увеличение в водоемах содержания биогенных веществ в результате хозяйственной деятельности человека, сопровождаемые чрезмерным развитием фитопланктона, называют антропогенным эвтрофированием водоемов.

Подчеркивая всю важность биоиндикационных методов исследования, необходимо отметить, что биоиндикация предусматривает выявление уже состоявшегося или происходящего загрязнения окружающей среды по функциональным характеристикам особей и экологическим характеристикам сообществ организмов. Постепенные же изменения видового состава формируются в результате длительного отравления водоема, и явными они становятся в случае в случае далеко идущих изменений. Таким образом, видовой, видовой состав гидробионтов из загрязняемого водоема служит итоговой характеристикой токсикологических свойств водной среды за некоторый промежуток времени и не дает ее оценки на момент исследования.

#### *Живые биоиндикаторы*

Лучший индикатор опасных загрязнений - прибрежное обрастание, располагающиеся на поверхностных предметах у кромки воды. В чистых водоемах эти обрастания ярко-зеленого цвета или имеют буроватый оттенок. Для загрязненных водоемов характерны белые хлопьевидные образования.

При избытке в воде органических веществ и повышения общей минерализации обрастания приобретают сине-зеленый цвет, так как состоят в основном из сине-зеленых водорослей. При плохой с избытками сернистых соединений могут сопровождаться хлопьевидными налетами нитчатых серобактерий – теотриков.

Хорошие результаты дает анализ бентосных (придонных) беспозвоночных. Оценка чистоты водоемов делается по преобладанию, либо отсутствию тех или иных таксонов [25].

♦ **Ностак сливовидный** является хорошим биоиндикатором. Наличие этого вида говорит о чистой воде. Первый признак тревоги - измельчение и нарушение правильной округлой формы изумрудных "шаров" этой водоросли.

♦ Бурное развитие других сине-зеленых водорослей, например, **осциллятории** - хороший индикатор опасного загрязнения воды органическими соединениями.

♦ **Трубочник** образует огромные скопления в илу сильно загрязненных рек, в незначительных количествах встречаются также на песчаных и каменистых грунтах более чистых рек.

♦ **Мотыль** образует большие скопления в силу сильно загрязненных органическим веществом рек.

♦ **Крыска (эриталис)** - это личинка мухи - пчеловидки из семейства журчалок. Крыска обитает в загрязненных органическим веществом водоемах с черным илом и сильным запахом сероводорода.

♦ **Фитопланктон** - важнейший компонент водных систем, активно участвует в формировании качества воды и является чутким показателем состояния водных экосистем и водоема в целом. Фитопланктон наиболее распространенная и хорошо изученная из всех экологических групп водорослей. Состав фитопланктона имеет большую видовую насыщенность. Анализ видового состава, обилия и количественного развития видов



фитопланктона входят во все программы экологического мониторинга водоемов. Изучение фитопланктона водоемов производится путем сбора проб на установленных станциях.

♦ **Сине-зеленые водоросли** - прокариотические организмы, встречаются повсеместно и могут обитать в таких экстремальных биотопах, как горячие источники и каменистые пустыни. Некоторые виды сине-зеленых водорослей могут вызвать токсичное "цветение" в эвтрофированных метообитаниях, представляющие опасность для человека и домашнего скота.

♦ **Диатомовые водоросли** - микроскопические организмы, встречаются во всех видах вод. Образуют основную массу состава продуцентов в водоеме, они являются началом пищевой цепи. Их поедают беспозвоночные животные, некоторые рыбы и молодь. Массовое развитие некоторых диатомовых водорослей может иметь и отрицательные последствия (вливают на качество воды, вызывают гибель личинок рыб, забивая им жабры). Многие диатомеи можно использовать как индикаторы качества воды водоема.

♦ **Зеленые водоросли** - один из самых обширных отделов водорослей, в котором имеются все известные у водорослей структуры, кроме амебоидной и тканевой.

♦ **Эвгленовые водоросли** - Распространены исключительно в пресных водоемах, богаты органическими веществами, в клетках содержит многочисленные кроваво-красные гранулы. При массовом развитии эти виды образуют на поверхности воды налет: красный - на солнечном свете, зеленый в тени или после захода солнца, некоторые виды вызывают "цветение" воды, окрашивая ее в коричневый цвет.

♦ **Золотистые водоросли** - преимущественно пресноводные водоросли, чаще всего встречаются в чистых водоемах. Обычно они развиваются в холодное время года.

♦ **Криптофитовые водоросли** - наиболее обширные порядок криптомонодалные включает водоросли, распространенные в пресных водах и морях. Среди бесцветных криптомонадовых наиболее известен часто встречающийся в загнивающей воде род Хиломонас.

♦ **Динофитовые водоросли** - существуют в пресных водах и в морях. Среди них существуют паразиты, которые уничтожают личинок устриц, есть виды вырабатывающие яд, смертельный для рыб. Кроме, того разлагаясь после своего массового развития, так называемых "красных приливов" , они могут отравлять воду на многие километры вредными продуктами распада, вызывая замор рыбы и других водных животных.

♦ **Желто-зеленые водоросли** - большинство видов пресноводные, широко распространены в различных местообитаниях.

## 2.4 Биотестирование водных сред

*Биотестирование вод.* Определение острой и хронической токсичности водной среды для гидробионтов проводится с использованием различных методов. Применение того или иного метода диктуется, прежде всего, задачей и целями исследования, которые в значительной мере обуславливают как выбор тест-организмов, так и выбор тест-функций [25]. Мы рассмотрим тесты, которые основаны на оценке выживаемости беспозвоночных животных в острых экспериментах продолжительностью от 1 до 4 суток и на регистрации нарушений поведения тест-объектов.

Отбор проб. Пробы воды для исследования токсичности отбирают в тех местах, где предполагается или уже имеет место сброс сточных вод промышленных предприятий или интенсивное поступление ядохимикатов с сельскохозяйственным стоком. Отбор проб производится на расстоянии не более 500 м от предполагаемого источника загрязнения. Желательно отбирать с помощью батометра отдельно поверхностные и придонные пробы. Воду из батометра сливают в 3-5 литровую бутылку, которую затем этикеткируют с указанием места, времени, глубины и орудия отбора пробы. Консервацию проб не производят. Поэтому, как мы уже говорили, опыт следует проводить как можно скорее после отбора материала.

Ведение тест-культур. Для лабораторных опытов желательно иметь постоянные культуры инфузорий *Paramecium caudatum*, дафний *Daphnia magna*, циклопов *Cyclops strenuus*, червей *Tubifex tubifex*, моллюсков-живородок *Viviparus viviparus*, личинок мотыля *Chironomus plumosus*, водяных осликов *Asellus aquaticus*, бокоплавов *Gammarus pulex*, а также рыбок-гуппий *Lebistes reticulatus*. Рассмотрим вкратце, как поддерживать лабораторные культуры перечисленных животных: Инфузорий выращивают на сенном отваре. Для этого берут 10-20 г сена и кипятят 20 мин в 1 л воды. Отвар фильтруют, доводят до исходного объема и хранят на холоде. Перед опытом отвар засевают кормовыми бактериями, а через 1-3 дня вносят

культуру инфузорий. Дафний выращивают от одной или нескольких одновозрастных самок и получают выровненную культуру, т.е. состоящую из особей одного вида, размера и возраста. Появляющуюся молодь регулярно отсаживают, не допуская переуплотнения культуры. Оптимальная плотность культуры не должна превышать 200 особей на 1 л воды. Культуры поддерживают в аквариумах при постоянном световом и температурном режиме (20С). Подкормку дафний производят, добавляя пипеткой взвесь культуры зеленых водорослей (например, хлореллы) до легкого позеленения среды. Повторная подкормка производится при осветлении воды, что указывает на исчезновение корма. Кроме того, в качестве витаминной добавки периодически следует добавлять взвесь свежих пекарских дрожжей. Воду в аквариуме следует периодически менять. Для смены воды пользуются сифоном.

#### **2.4.1. Биотестирование с использованием дафний как метод контроля очистки сточных вод**

*Методика биотестирования.* Метод основан на определении изменений выживаемости и плодовитости дафний при воздействии токсических веществ, содержащихся в тестируемой воде, по сравнению с контролем [30].

Кратковременное биотестирование (до 96 час) позволяет определить острое токсическое действие воды на дафний по их выживаемости. Показателем выживаемости служит среднее количество тест-объектов, выживших в тестируемой воде или в контроле за определенное время. Критерием токсичности является гибель 50 и более процентов дафний за период времени до 96 ч в тестируемой воде по сравнению с контролем.

Длительное биотестирование (20 и более суток) позволяет определить хроническое токсическое действие воды на дафний по снижению их выживаемости и плодовитости. Показателем выживаемости служит среднее количество исходных самок дафний, выживших в течение биотестирования, показателем плодовитости - среднее количество молоди, выметанной в течение биотестирования, в пересчете на одну выжившую исходную самку. Критерием токсичности является достоверное отличие от контроля показателя выживаемости или плодовитости дафний.

В лаборатории специалист определяет вид рачков под микроскопом. Доставленных в лабораторию дафний вместе с водой переводят в кристаллизаторы. Отобранную природную воду фильтруют через бумажный фильтр для предупреждения попадания в культуру других организмов - конкурентов дафний по способу питания.

Заранее подготовленные стеклянные сосуды емкостью 3-5 л заполняют на 1/3 объема отфильтрованной природой водой и в них переносят дафний с помощью стеклянной трубки (внутренний диаметр 0,5-0,7см) с оплавленным или опиленным надфилом концом, чтобы не травмировать рачков. Такую трубку используют и в дальнейшем при пересадке дафний.

Начальная плотность посадки - 6-10 особей на 1 л воды. Спустя 5-7 суток, в течение которых дафнии привыкают к лабораторным условиям существования и начинают размножаться, в сосуды доливают воду для дальнейшего культивирования.

Культуру дафний выращивают в климатостате, люминостате, боксе или помещении, не содержащем токсических паров или газов. Оптимальная температура для культивирования дафний и биотестирования составляет  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , освещенность 400-600лк при продолжительности светового дня 12-14ч.

Не допускают освещения дафний прямыми солнечными лучами. Стекланную посуду для содержания дафний моют питьевой водой, хромовой смесью или соляной кислотой. Нельзя использовать для мытья синтетические моющие средства и органические растворители. В помещении, где находятся дафнии, не проводят обработку инсектицидами, не хранят летучие вещества и не работают с ними. Для культивирования дафний используют водопроводную воду, которую отстаивают и насыщают кислородом с помощью микрокомпрессоров не менее 7 суток. Используют также природную воду из незагрязненных водоемов. Вода для культивирования должна удовлетворять следующим требованиям: pH 7,0-8,2; жесткость общая 3-4 мг экв/л; концентрация растворенного кислорода не менее 6,0 мг/л.

Оптимальная плотность культуры - 25 половозрелых самок в 1л воды. Раз в 7-10 суток половину объема воды в сосуде с культурой дафний заменяют на свежую, удаляют сифоном скопившийся на дне осадок и при большой плотности культуры ее прореживают. Не рекомендуется аэрировать воду в сосудах с дафниями.

Кормом для дафний служат зеленые водоросли (хлорелла или сценедесмус) и хлебопекарные дрожжи.

Суспензии хранят в холодильнике не более 14 суток. Водоросли вносят в культуру дафний из расчета 1мл суспензии (600-1000 млн.кл/мл) на 1л воды.

1-2 раза в неделю дафний кормят хлебопекарными дрожжами. Для приготовления дрожжевого корма 1г свежих или 0,3г воздушно-сухих дрожжей заливают 100 мл дистиллированной воды. После набухания дрожжи тщательно перемешивают. Образовавшуюся суспензию отстаивают в течение 30 мин. Надосадочную жидкость добавляют в сосуды с дафниями в количестве 3 мл на 1л воды.

*Адаптация дафний к среде с повышенной минерализацией* При необходимости биотестирования воды с общим содержанием солей свыше 3 г/л выращивают культуру, адаптированную к повышенной минерализации среды. Для этого в воду, в которой культивируют дафний и минерализация которой известна, постепенно порциями добавляют хлористый натрий. Вначале его вносят из расчета 500 мг/л. Через неделю минерализацию воды повышают еще на 250 мг/л. Через неделю минерализацию воды повышают еще на 250 мг/л. Эту операцию повторяют каждую неделю до тех пор, пока содержание солей в среде не достигнет нужного уровня (но не выше 6 г/л с учетом начальной минерализации). В дальнейшем достигнутый уровень минерализации среды поддерживают постоянно

Эта же среда служит контролем при биотестировании и в качестве разбавляющей. Адаптированных к повышенному содержанию солей дафний нельзя использовать для тестирования вод с более низким содержанием солей.

#### ***Условия и процедура биотестирования.***

*Подготовка дафний к биотестированию.* Чтобы получить исходный материал для биотестирования. 30-40 самок дафний с выводковыми камерами, полными яиц или зародышей, за 1-3 суток до биотестирования пересаживают в 0,5-1 л емкости (стаканы, кристаллизаторы) с водой

для культивирования, в которую перед посадкой дафний вносят корм. После появления молоди (каждая самка может выметать от 10 до 40 молодых дафний) взрослых особей удаляют. Односуточных дафний используют при кратковременном биотестировании, а двухсуточных самок при длительном биотестировании.

*Условия биотестирования.* Биотестирование проводят в климатостате, люминостате, боксе или помещении, в котором отсутствуют токсические пары или газы, при оптимальных температурном и световом режимах.

Результаты биотестирования считают правильными, если гибель дафний в контроле не превышает 10% за весь период наблюдений и концентрация растворенного в тестируемой воде кислорода в конце биотестирования составляет не менее 2 мг/л.

*Процедура биотестирования.* Для определения наличия острого токсического действия контролируемой воды воду тестируют без разбавления.

Объем пробы воды для биотестирования - 500мл.

Посадку дафний в сосуды для биотестирования проводят следующими способами (возможны и другие).

Стеклянной трубкой диаметром 0,5-0,7см отлавливают дафний из культуры, помещают в сачок из планктонного газа, погрузив его в тестируемую воду, переводят в нее дафний, посадку ведут от разбавлений тестируемой воды с большей кратностью к меньшей; стеклянной трубкой отлавливают дафний и вместе с водой, попавшей в трубку, переносят в пустой сосуд для биотестирования. Затем пастеровской пипеткой отсасывают жидкость и осторожно, чтобы не повредить дафний, приливают отмеренный объем тестируемой воды.

В сосуды наливают по 100мл контрольной и тестируемой воды или ее разбавлений. Повторность трехкратная. В каждый сосуд помещают по 10 односуточных дафний и экспонируют при оптимальных условиях (п.



1.4.2) в течение времени до 96 часов. При кратковременном биотестировании дафний не кормят. Учет выживших дафний проводят через 1, 6, 24, 48, 72 и 96 часов. Особей считают выжившими, если они свободно передвигаются в толще воды или всплывают со дна сосуда не позднее 15 с после его легкого покачивания. Если в любой учитываемый период времени в тестируемой воде гибнет 50 и более процентов дафний, биотестирование прекращают.

Для определения наличия хронического токсического действия воды в контрольном и других створах водного объекта воду тестируют без разбавления. Если требуется сравнить степень токсичности разных проб воды или использовать результаты биотестирования при установлении величин ПДС, готовят серию разбавлений. Определяют минимальную кратность разбавления, при которой хроническое токсическое действие не проявляется.

Объем пробы воды для биотестирования без разбавления - 1л, с учетом разбавлений - 2л.

В сосуды наливают по 300мл контрольной и тестируемой воды или ее разбавлений. Повторность трехкратная. В каждый сосуд вносят одинаковое количество корма, помещают по 10 двухсуточных самок дафний и экспонируют при оптимальных условиях (п. 1.4.2). Дафний кормят ежедневно. Три раза в неделю в сосудах производят смену контрольной и тестируемой воды на свежееотобранную. При смене воды дафний кормят за 3 часа до смены. С момента появления молоди, в те сутки, когда меняют воду, производят учет выживших исходных самок и выметанной молоди.

Для этого самок с помощью стеклянной трубки пересаживают в заранее подготовленные сосуды с контрольной и тестируемой водой (соответственно) и подсчитывают их количество в каждом сосуде. Оставшуюся воду процеживают через сито из планктонового газа. При этом на сите остается выметанная молодь, которую подсчитывают и удаляют.

После того, как в контроле все исходные самки дадут по четыре помета, биотестирование заканчивают. Время биотестирования сокращается, если при промежуточном подсчете устанавливают достоверное отличие от контроля показателя выживаемости или плодовитости дафний.

*Обработка и оценка результатов при кратковременном биотестировании.* При биотестировании воды для определения возможного наличия острого токсического действия рассчитывают процент погибших дафний (А) в тестируемой воде по сравнению с контролем.

Если  $A > 50\%$ , тестируемая вода оказывает острое токсическое действие, если  $A < 50\%$ , тестируемая вода не оказывает острого токсического действия на дафний.

Степень острого токсического действия тестируемой воды рассчитывают графическим методом.

Степень токсичности можно также установить, рассчитав ЛТ50 - среднее время гибели 50% дафний в тестируемой воде. Для этого строят график (на оси абсцисс откладывают время наблюдения, на оси ординат - выживаемость в процентах к контролю. Чем меньше ЛТ50, тем токсичнее тестируемая вода.

*Обработка и оценка результатов при длительном биотестировании.* При биотестировании воды из контрольного или других створов родного объекта вывод о наличии хронического токсического действия делают на основании установления достоверности различия между показателем выживаемости или плодовитости дафний в контроле и в тестируемой воде.

Для этого рассчитывают:

- среднее арифметическое показателей выживаемости и плодовитости в контрольной и тестируемой воде
- среднее квадратическое отклонение показателей выживаемости и плодовитости

- ошибку среднего арифметического показателей выживаемости и плодовитости

- критерий достоверности разности двух сравниваемых величин

$$t_a = \frac{\bar{X}_k - \bar{X}_t}{\sqrt{S_k^2 + S_t^2}} \quad \text{где}$$

$\bar{X}_k, \bar{X}_t$  - средние арифметические показателя выживаемости или плодовитости контроле и тестируемой воде;

$S_k^2, S_t^2$  - квадраты ошибок средних арифметических. Рассчитанные величины  $t_a$  сравнивают со значениями критерия Стьюдента ( $t_{st}$ ) для уровня значимости  $P=0,05$  и степени свободы  $n_k+n_t-2$ . Если рассчитанная величина  $t_a$  больше или равна значению критерия Стьюдента ( $t_a < t_{st}$ ), то различие между величинами показателя в контрольной и тестируемой воде достоверно. (Ашихмина Т.Я. и др. Биоиндикация и биотестирование – методы познания экологического состояния окружающей среды. – Киров, 2005).

В этом случае считают, что тестируемая вода оказывает хроническое токсическое действие на дафний.

Если рассчитанная величина  $t_a$  меньше  $t_{st}$ , то различие между сравниваемыми величинами недостоверно. Тестируемая вода не оказывает хронического токсического действия на дафний, если отличия от контроля показателей выживаемости и плодовитости недостоверны.

Результаты биотестирования разбавлений тестируемой воды с целью их использования при установлении величин ПДС или определения степени хронического токсического действия тестируемой воды обрабатывают с помощью выше описанных приемов. Определяют минимальную кратность разбавления тестируемой воды, при которой различия между величинами показателей выживаемости и плодовитости дафний в контроле и соответствующем разбавлении будут недостоверными.

Если получают две разные величины минимальной кратности разбавления тестируемой воды (одну, при которой недостоверным будет

отличие от контроля показателя выживаемости, и другую, при которой недостоверным окажется отличие от контроля показателя плодовитости), вывод об отсутствии хронического токсического действия на дафний делают на основании большей величины.

### Глава 3      Материалы и методы

#### 3.1      Ведение тест-культуры

В качестве тест-объекта использовали *Daphnia magna Straus*.

Характеристика тест-объекта:

Тип	<i>Arthropoda</i>
Класс	<i>Crustacea</i>
Отряд	<i>Cladocera</i>
Семейство	<i>Daphniidae</i>
Род	<i>Daphnia</i>
Вид	<i>Daphnia magna Straus</i>

Доставленных в лабораторию дафний вместе с водой перевели в кристаллизаторы. Отобранную природную воду отфильтровали через бумажный фильтр для предупреждения попадания в культуру других организмов - конкурентов дафний по способу питания.

Заранее подготовленные стеклянные сосуды емкостью 3л заполнили на 1/3 объема отфильтрованной природой водой и в них перенесли дафний с помощью стеклянной трубки (внутренний диаметр 0,5-0,7см) с оплавленным или опиленным надфилом концом, чтобы не травмировать рачков. Такую трубку использовали и в дальнейшем при пересадке дафний.

Начальная плотность посадки - 6-10 особей на 1 л воды. Спустя 5-7 суток, в течение которых дафнии привыкают к лабораторным условиям существования и начинают размножаться, в сосуды доливали воду для дальнейшего культивирования.

Культуру дафний выращивали в помещении, не содержащем токсических паров или газов. Старались поддерживать оптимальную температуру для культивирования дафний и биотестирования составляющую 20±2°C, освещенность 400-600лк при продолжительности светового дня 12-14ч.

Не допускали освещения дафний прямыми солнечными лучами. Стекланную посуду для содержания дафний мыли питьевой водой, или соляной кислотой, так как нельзя использовать для мытья синтетические моющие средства и органические растворители. В помещении, где находились дафнии, не проводили обработку инсектицидами, не хранили летучие вещества и не работали с ними. Для культивирования дафний использовали водопроводную воду, которую отстаивали и насыщали кислородом с помощью микрокомпрессоров не менее 7 суток. Использовали также природную воду из незагрязненных водоемов. Вода для культивирования удовлетворяла следующим требованиям: рН 7,0-8,2; жесткость общая 3-4 мг экв/л; концентрация растворенного кислорода не менее 6,0 мг/л.

Оптимальная плотность культуры - 25 половозрелых самок в 1л воды. Раз в 7-10 суток половину объема воды в сосуде с культурой дафний заменяли на свежую, удаляя сифоном скопившийся на дне осадок и при большой плотности культуры ее прореживали. Воду в сосудах с дафниями не аэрировали.

Кормили дафний зелеными водорослями (хлорелла) и хлебопекарными дрожжами.

Суспензии хранили в холодильнике не более 14 суток. Водоросли вносили в культуру дафний из расчета 1мл суспензии (600-1000 млн.кл/мл) на 1л воды.

1-2 раза в неделю дафний кормили хлебопекарными дрожжами. Для приготовления дрожжевого корма 1г свежих или 0,3г воздушно-сухих дрожжей заливали 100 мл дистиллированной воды. После набухания дрожжи тщательно перемешивали. Образовавшуюся суспензию отстаивали в течение 30 мин. Надосадочную жидкость добавляли в сосуды с дафниями в количестве 3 мл на 1л воды.

### **3.2. Отбор проб**

Забор проб воды для исследования путем биотестирования производился под строгим контролем сотрудников предприятия N. Данное предприятие N относится к ряду объектов, занимающихся гальваническим производством. Главным образом, основная деятельность направлена на изготовление гальванических покрытий.

Пробы воды для исследования отбирали в тех местах, где имеет место сброс сточных вод предприятия. Отбор проб производился на расстоянии не более 500 метров. Воду сливали в трехлитровую бутылку, которую затем этикетировали с указанием места, времени и повторности отбора пробы. Консервацию проб не производили, в связи с этим опыты проводили не позднее 6 часов после отбора материала.

Отбор проб осуществлялся сезонно в течение трех лет 2009-2011 гг.

### **3.3. Методика биотестирования**

#### **3.3.1 Подготовка дафний к биотестированию**

Чтобы получить исходный материал для биотестирования, 30-40 самок дафний с выводковыми камерами, полными яиц или зародышей, за 1-3 суток до биотестирования пересадили в 0,5-1 л емкости (стаканы) с водой для культивирования, в которую перед посадкой дафний внесли корм. После появления молоди (каждая самка может выметать от 10 до 40 молодых дафний) взрослых особей удалили. Односуточных дафний использовали при кратковременном биотестировании.

#### **3.3.2 Процедура биотестирования**

Для определения наличия острого токсического действия контролируемой воды, воду тестировали без разбавления.

Объем пробы воды для биотестирования - 500мл.

Посадку дафний в сосуды для биотестирования проводили следующим способом (возможны и другие).





часов	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	8	7	8	7	7	5	6	7	5	8	5	6	7	7	5	10	1	1	1
24	5	6	6	5	4	5	5	5	4	5	4	5	5	6	4	10	1	1	1
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

I – V – номер сосуда,

1,2,3 – повторность

Спустя 1, 6, 24, 48, 72, 96 часов проводили учет количества выживших дафний.

Использовали 150 особей односуточных дафний для тестируемой воды и 30 особей для контроля. В качестве контроля здесь и последующих тестированиях используем отстоянную водопроводную воду.

В результате получили следующую реакцию тест-объекта на тестируемую воду:

- спустя 1 час после начала тестирования гибели особей не наблюдали;- спустя 6 часов количество погибших особей составило 52;- спустя 24 часа погибло 76 особей (всего от начала тестирования), что составило 50% особей, помещенных в тестируемую воду. В связи с гибелью 50% особей спустя сутки, тестирование прекратили. Гибель особей в таком и большем количестве в любой период тестирования говорит об остром токсическом

действию тестируемой воды на тест-объект. По отношению к контролю за время тестирования погибло 50 %

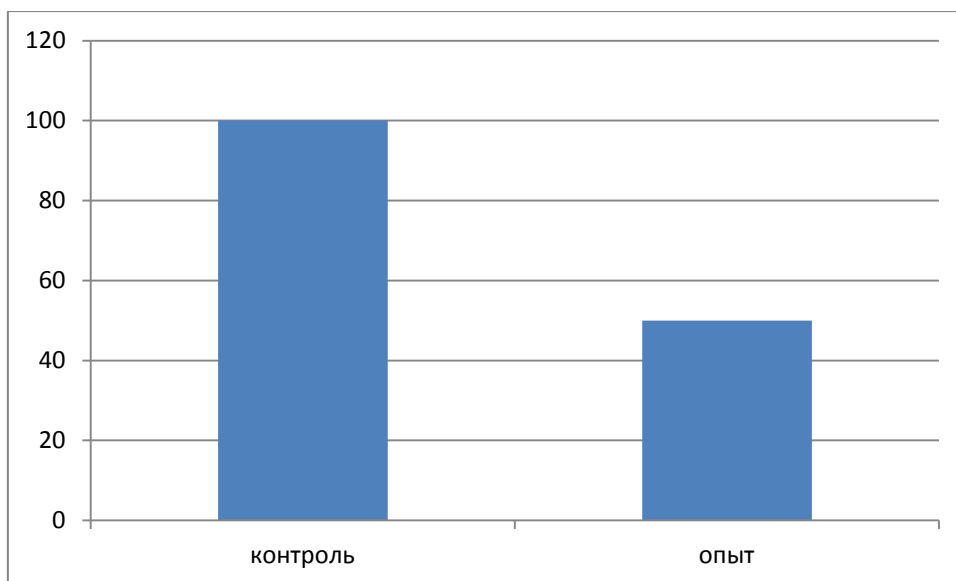


Таблица 2

Количество выживших особей.Проба 2 (весна, 2009 год)

Кол-во часов	I			II			III			IV			V			Контроль			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	9	8	7	9	7	8	7	9	8	7	9	8	9	9	8	10	10	10	10
24	8	8	6	7	6	7	6	7	8	7	9	7	9	8	8	10	9	9	9
48	7	8	5	7	6	6	6	7	7	7	8	7	8	8	6	10	9	9	9
72	7	8	5	7	6	6	6	7	7	7	8	7	8	8	6	10	9	9	9
96	7	8	5	7	6	6	6	7	7	7	8	7	8	8	6	10	9	9	9

Наблюдали следующую реакцию тест-объекта :

- спустя 1 час от начала тестирования гибели дафний не наблюдали, как и в двух предыдущих случаях; - через 6 часов отметили гибель 28 особей дафний;- спустя 24 часа погибло 39 особей в тестируемой воде, также отметим гибель двух особей в контроле, что не выходит за рамки нормы согласно методике тестирования;- спустя 48 часов погибло 47 особей (всего от начала тестирования);- через 72 часа не наблюдали гибели дафний ни в тестируемой воде, ни в контроле;- спустя 96 часов изменения количества особей также не отметили.

В результате исследования токсического действия третьей пробы воды наблюдали гибель дафний в количестве 47 особей, что составляет 31% от общего числа, за период тестирования, равный 48 часам. Далее гибели тест-объектов не наблюдали. Следовательно, за весь период тестирования погибло дафний в количестве 27% ( $A < 50\%$ ), что является показателем отсутствия острого токсического действия тестируемой воды. Гибель особей в контроле составила менее 10%, что позволяет говорить о достоверности полученных результатов.

Таким образом, определили минимальную кратность разбавления, при которой острое токсическое действие тестируемой воды на тест-объект не проявляется. Гибель особей по отношению к контролю составила 27%:

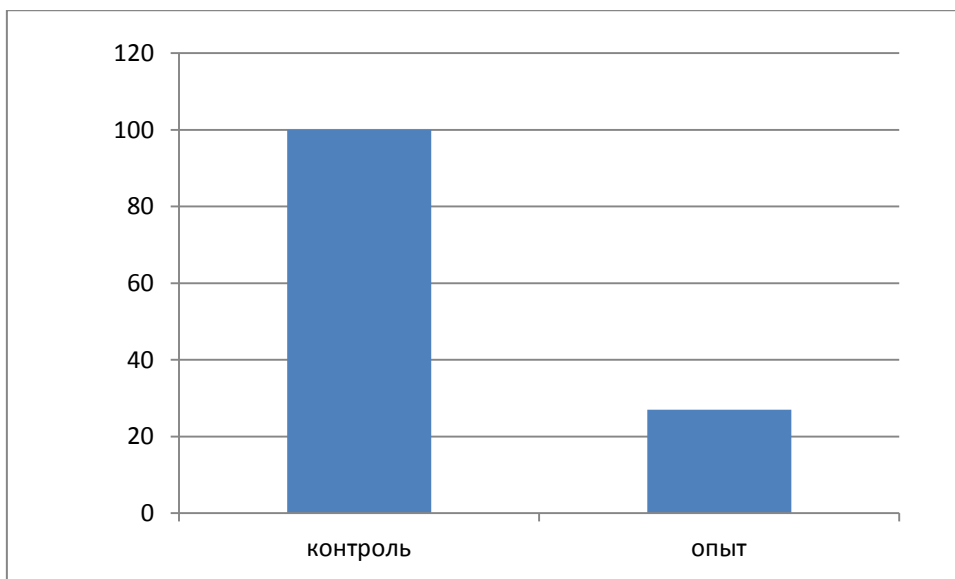


Таблица 3

## Количество выживших особей.Проба 3(лето, 2009 год)

Кол-во часов	I			II			III			IV			V			Контроль		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10	10
6	9	8	8	8	9	9	9	7	8	8	9	9	7	6	9	10	10	10
24	7	7	6	8	8	8	9	7	7	7	8	6	7	6	7	10	10	10
48	5	5	5	6	6	7	7	5	5	4	6	5	6	5	5	10	9	10
72	4	4	4	4	5	3	5	5	3	4	5	5	5	4	5	10	9	10
96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В данном случае реакция тест-объекта тестируемую воду оказалась следующей:- спустя 1 час от начала тестирования гибели особей не наблюдали;- спустя 6 часов погибло 27 особей; спустя 24 часа количество погибших особей составило 42;- спустя 48 часов погибло 68 особей; отметим, что на данном этапе тестирования погибла 1 особь, помещенная ранее в контрольную воду, что не выходит за рамки возможного процента гибели особей в контроле.- через 72 часа отметили гибель 81 особи, что составляет 54% . Количество особей в контроле не изменилось.

Гибель более 50% особей на любом этапе тестирования является критерием прекращения эксперимента, что и было сделано. В данном случае, как и в предыдущем тестировании (где использовали тестируемую воду без разбавления), имеет место острое токсическое действие воды на тест-объект. Отметим, что в отличие от тестирования первой пробы воды, в случае со второй, гибель более 50% особей наблюдали по истечении 3 суток (72ч) от

начала тестирования. В первом же случае произошло это спустя 1 сутки от начала эксперимента. Гибель особей по отношению к контролю в процентах:

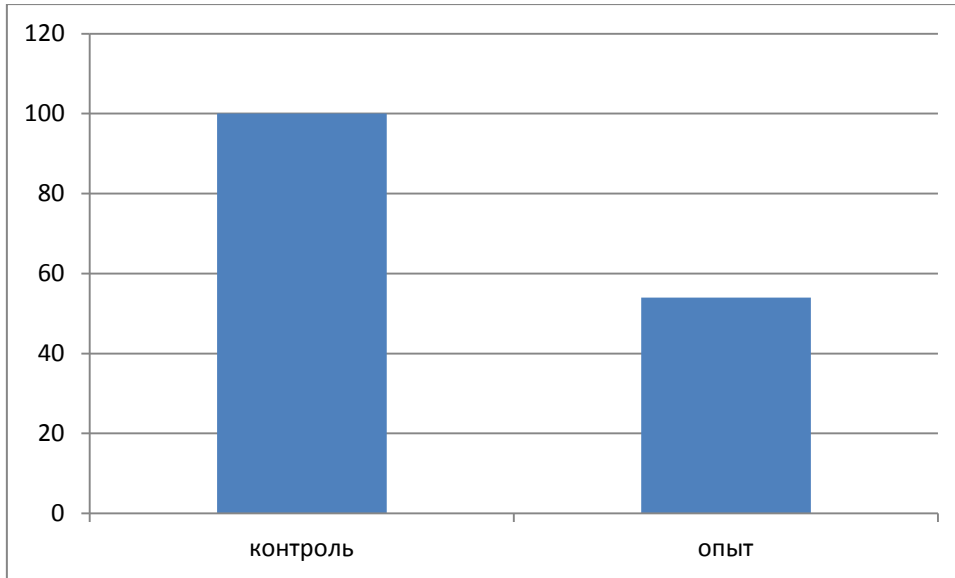


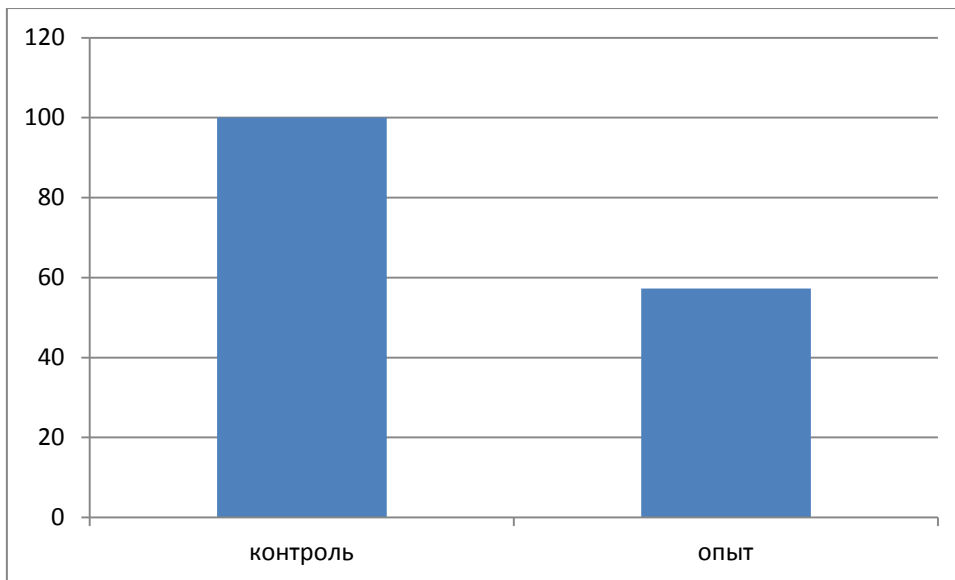
Таблица 4

Количество выживших особей.Проба 4 (осень, 2009 год)

Кол-во часов	I			II			III			IV			V			Контроль		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10	10
6	9	8	8	8	9	9	9	7	8	8	9	9	7	6	9	10	10	10
24	7	7	6	8	8	8	9	7	7	7	8	6	7	6	7	10	10	10
48	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	10	9	10
72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В данном случае реакция тест-объекта тестируемую воду оказалась следующей:- спустя 1 час от начала тестирования гибели особей не

наблюдали;- спустя 48 часов погибло 86 особей, что составило 57,3 %; отметим, что на данном этапе тестирования погибла 1 особь, помещенная ранее в контрольную воду, что не выходит за рамки возможного процента гибели особей в контроле. Гибель более 50% особей на любом этапе тестирования является критерием прекращения эксперимента, что и было сделано. В данном случае, как и в предыдущем тестировании имеет место острое токсическое действие воды на тест-объект. Отметим, что гибель более 50% особей произошла спустя 48 часов от начала тестирования. По отношению к контролю в тестируемой воде погибло около 57% особей:

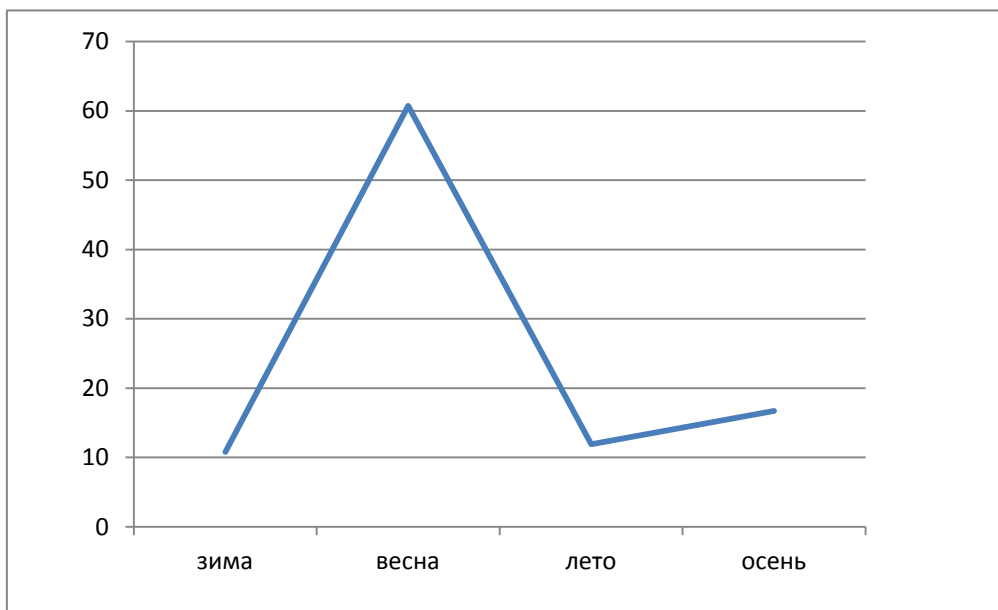


По результатам первого года исследований выяснили, что весной тестируемая вода острой токсичностью по отношению к тест-объекту не обладала. Во всех остальных случаях – напротив. Предположили, что это может быть связано с так называемым эффектом разбавления. По данным Росгидромет, по количеству выпавших осадков в целом по России 2009 год был влажным. Однако в нашем регионе отмечался дефицит осадков во все сезоны, кроме весеннего.

Динамика распределения осадков по сезонам, 2009 год:

Сезон	% от общего количества за год
Зима	10,8

Весна	60,7
Лето	11,9
Осень	16,7
Итого	100



Сезонное распределение годовых осадков

Сопоставив результаты экспериментов и сезонное количество осадков в 2009 году, наблюдаем прямую зависимость: наиболее емким по количеству осадков сезоном оказалась весна, именно весенняя проба тестируемой воды не оказывает острого токсического действия на тест-объект. В 2010 году наблюдали аномально высокие температуры в летний период. Однако список погодных аномалий данного года этим не завершился: в феврале случился длительный рекордный снегопад. Высота снежного покрова достигла величины в 67 см. Результаты тестирования проб воды, забранной в 2010 году показали, что не обладает острым токсическим действием на тест-объект весенняя проба, как и в 2009. Предположили, что это связано с





6	9	8	8	8	9	9	9	7	8	8	9	9	7	6	9	10	10	10
24	7	7	6	8	8	8	9	7	7	7	8	6	7	6	7	10	10	10
48	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	10	9	10

В данном случае произошла гибель 52% особей за период, равный 48 часам. Отметим гибель 1 особи в контроле, что составляет около 3% - данная величина является допустимой.

За 48 часов по отношению к контролю погибло 52% особей :

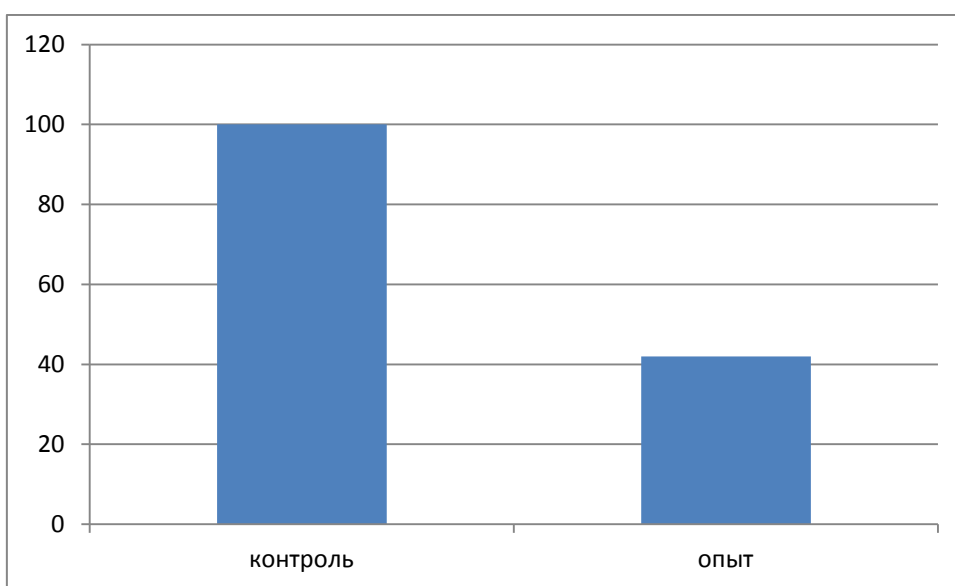


Таблица 6

Проба 6 (весна, 2010 год)

Кол-во часов	I			II			III			IV			V			Контроль		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	9	8	7	9	7	8	7	9	8	7	9	8	9	9	8	10	10	10





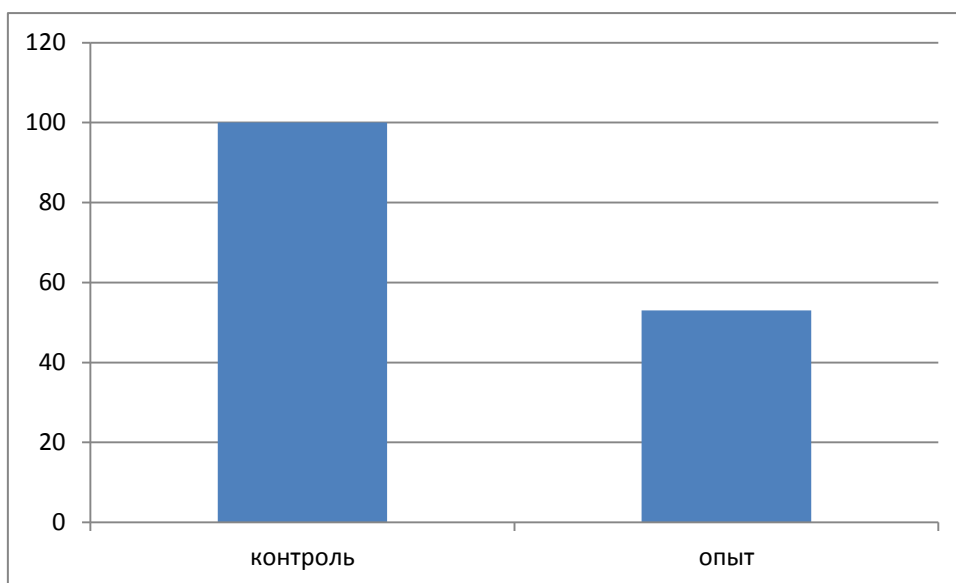
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10	10
6	7	8	7	8	7	9	8	7	8	8	9	9	7	6	9	10	10	10	10
24	7	7	6	8	7	8	8	7	6	5	8	5	6	5	7	10	10	10	10
48	4	4	4	4	4	5	4	6	5	4	5	5	6	4	5	10	10	10	10
72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В результате тестирования осенней пробы выявили 46% выживших особей.

Гибели особей в контроле не наблюдали. За 48 часов от начала теста погибло

54% особей

относительно  
контроля:



Данная проба

обладает острым токсическим действием относительно тест-объекта.

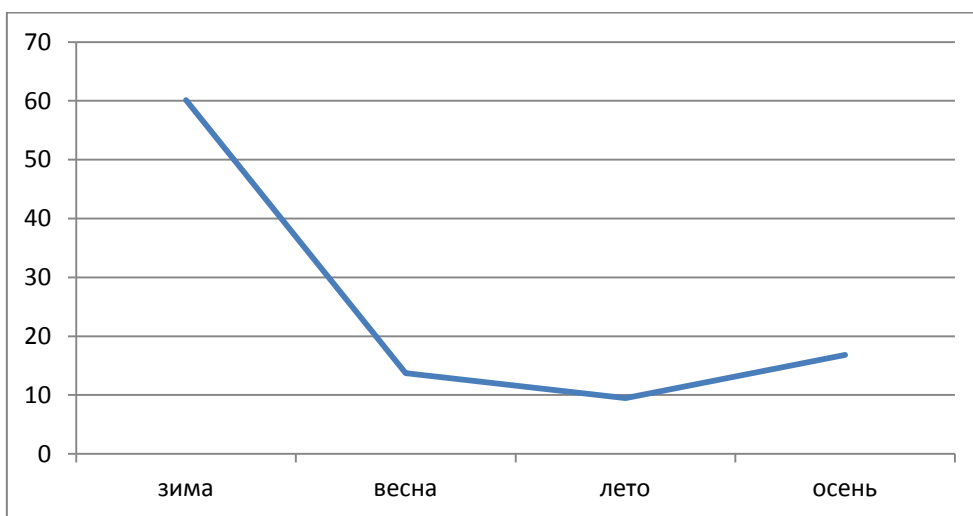
Сумма выпавших осадков в зимний период 2011 года составила 176% от нормы. Высота снежного покрова по снегомерной рейке на 1 марта 2011 года составила 65 см., аномалия высоты снежного покрова составила +38 см.

Отметим, что аналогичная высота на конец зимы наблюдалась в 2010 году.

Результаты тестирования проб, отобранных в 2011 году, показали похожую картину, что позволяет судить о влиянии снежного покрова на разбавление вод в весенний период, как и годом ранее.

Динамика распределения осадков по сезонам, 2011 год:

Сезон	% от общего количества за год
зима	60,1
Весна	13,6
Лето	9,5
Осень	16,8
Итого	100



Сезонное распределение годовых осадков

Таблица 9

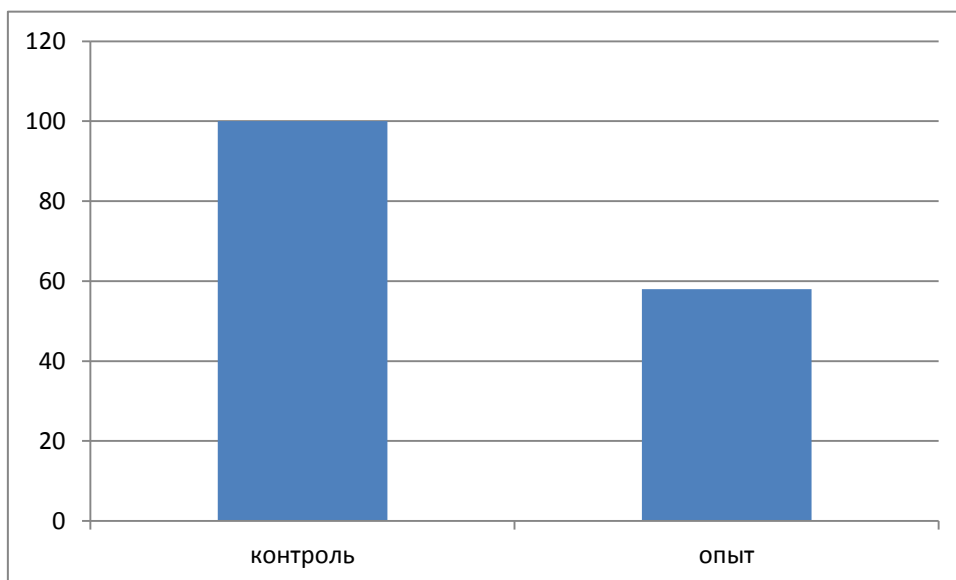
Проба 9 (зима, 2011 год)

Кол-во часов	I			II			III			IV			V			Контроль		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	7	7	8	8	7	9	9	7	7	8	9	9	7	6	9	10	10	10
24	6	7	6	6	7	8	8	6	7	6	5	6	6	5	7	10	10	10

48	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	10	10	10
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

В данном случае выжило 46% особей, гибель в контроле не наблюдали.

Относительно контроля погибло 54%:



Проба 9 оказывает острое токсическое воздействие на тест-объект, о чем можно судить по гибели 54% особей за 2 суток от начала тестирования.

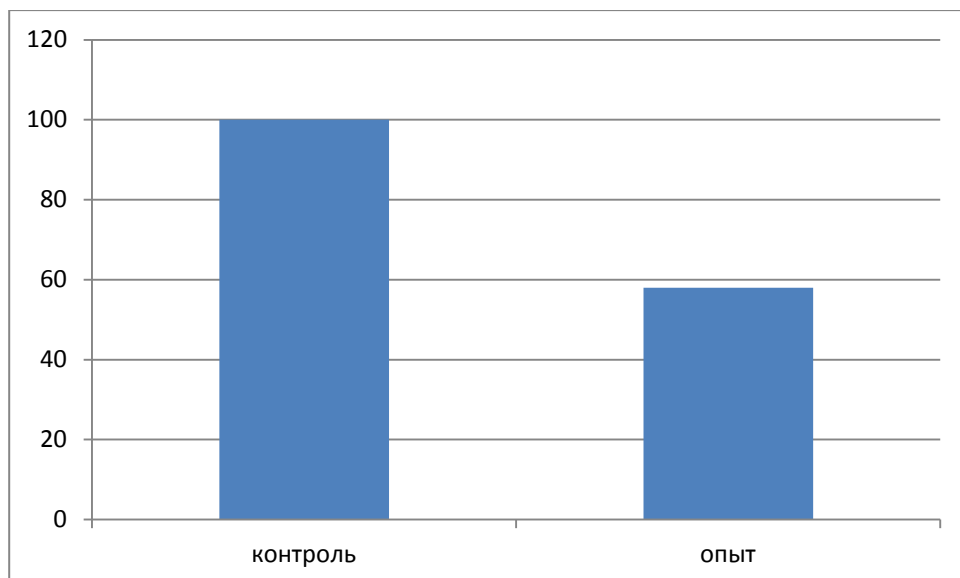
Таблица 10

Проба 10 (весна, 2011 год)

Кол-во часов	I			II			III			IV			V			контроль		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	8	8	7	9	7	8	8	8	8	7	9	8	9	9	8	10	10	10
24	8	8	7	7	7	7	8	8	8	7	9	7	9	7	8	10	10	9
48	8	7	6	7	7	6	7	8	7	7	8	7	8	7	6	10	10	9
72	7	7	5	7	7	6	7	8	7	7	8	7	7	7	6	10	10	9

96	7	7	5	7	7	5	7	8	7	7	8	7	7	7	6	10	10	9
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	---

Отметили гибель 3% особей в контроле. Учитывая, что в контрольной воде допускается 10% гибель, результаты считаем достоверными. В опыте выжило около 71%. Относительно контроля, в опыте погибло 29% особей:



Согласно полученному результату можно говорить об отсутствии острого токсического действия тестируемой воды данной пробы на тест-объект.

Таблица 11

Проба 11 (лето, 2011 год)

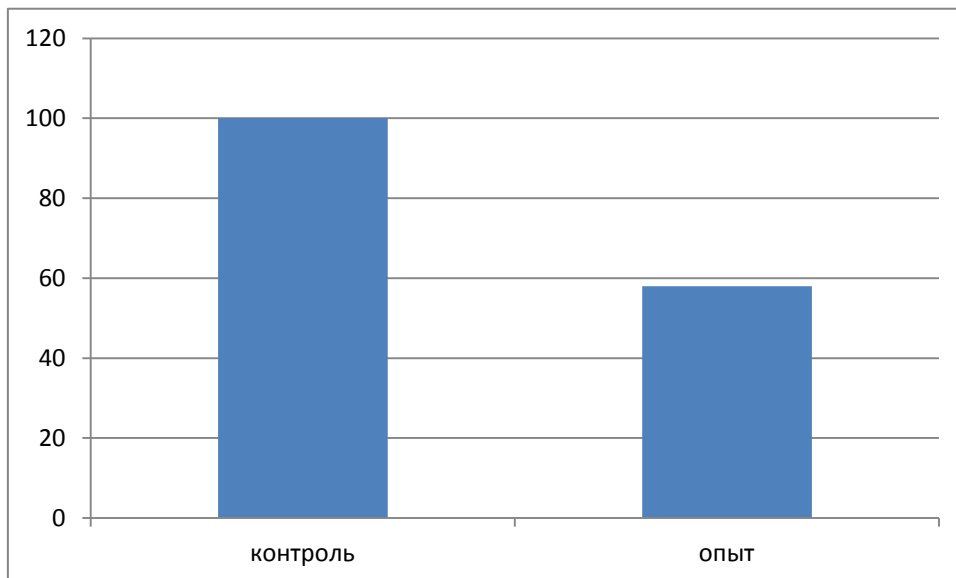
Кол-во часов	I			II			III			IV			V			Контроль		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10	10
									0			0						





1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10	1	10	10	10	10	10	10
6	9	7	7	8	8	7	7	6	7	7	7	6	7	6	8	10	10	10	10
24	7	6	4	5	4	4	4	4	5	4	7	4	5	4	6	10	10	10	10
48	6	5	4	4	4	3	4	3	5	4	5	4	4	4	4	10	10	10	10

Гибель особей в контроле не отметили. Процент выживших особей составил 42. Следовательно, в опыте погибло 58% особей относительно контроля:



В случае гибели 50 % и более особей относительно контроля за время тестирования, как при тестировании пробы 12, говорят об остром токсическом действии тестируемой воды на тест-объект.

**Выводы:**

В результате тестирования проб воды, отобранных сезонно в период 2009-2011гг, наблюдали:

1. Наличие острого токсического действия тестируемой воды на тест объект зимой, летом и осенью во все годы наблюдений;
2. Отсутствие острого токсического действия тестируемой воды на тест-объект в весенние периоды 2009, 2010 и 2011 годов;
3. Прямую зависимость между количеством осадков весной 2009 года и отсутствием острой токсичности пробы воды, отобранной в этот период;
4. Прямую зависимость между высотой снежного покрова в 2010 и 2011 годах, который предположительно стал причиной разбавления, и отсутствием острой токсичности воды в весенние периоды 2010 и 2011 годов.

**Список литературы**

1. «Охрана окружающей среды от отходов гальванических производств». Москва 1990 г., 95с.
2. Кудрявцева. Н.Т. Прикладная электрохимия. Учебное пособие для вузов. Л.: Химия, 1980 г.-288 с.
3. Виноградов. С.С. «Экологически безопасное гальваническое производство». Под редакцией проф. В.Н.Кудрявцева. – М.: производственно – издательское предприятие «Глобус», 1998.- 302с.
4. «Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учеб. пособие/ Д.А.Кривошеин, П.П.Кукин, В.Л.Лапин – М.: Высшая школа, 2003. – 344с.:ил.
5. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.О. «Методы очистки производственных сточных вод». М: Стройиздат, 1977г.
6. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды. Учебник для вузов. М.: Химия, 1989.-512 с.
7. Мухина Е.А. Физико-химические методы анализа. М.:Химия, 1995-416с.
8. Харитонов Ю.А. Аналитическая химия. В 2 кн. Кн.2. Количественный анализ. Физико-химические методы анализа: Учеб. для вузов- М.: Высш.шк., 2001.-559с.
9. Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В. Аналитическая химия 1,2 часть.- М.:Химия 1990.
10. Васильев В.П. Аналитическая химия. В2 кн.: Кн.2: Физико-химические методы анализа: Учеб. для студ.вузов, обучающихся по химико-технол. спец.- 3-е изд., стереотип. – М.:Дрофа, 2003.-384 с.: ил.
11. Щербов, М.А. Матвеец.П.А. «Аналитическая химия кадмия». Москва 1973г.
12. СНиП 2.04.03 – 85.
13. Патент № 1204241; В 01F 5/06; 10.11.83.; В.А.Власов.
14. Патент № 1236323; G 01 J 1/04; 31.08.84; С.А. Хуршудян.

15. Насыров М.К., Дровников Ю.С., Касимов Э.Д. Организационно – экономическая часть курсового и дипломного прокта // Учебно – методическое пособие. Казань, 2002 – 25.
16. Голдобеев Е.В., Илмилов В.А., Методы определения затрат на создание научно – технической продукции // Учеб. Пособие. – Казань, КГТУ – 2003.
17. Расчет экологического ущерба и платежей за загрязнение окружающей природной среды: Методические указания/КГТУ. Составители: Т.З.Мухутдинова, Г.И.Рахимова, О.В.Газизова – Казань, 2000-28с.
18. Арустамов Э.А., Волощенко А.Е., Гуськов Г.В., Платонов А.П., Прокопенко Н.А. Безопасность жизнедеятельности: Учебник - 7-е изд., перераб. и доп. – М.:Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2004.- 496с.
19. Магулаев А.Ю. Основы биологической статистики: Учебное пособие. Ставрополь: СГПИ, 1994. 52с.
20. Оценка токсичности воды методом биотестирования. Химия растительного сырья, 2001. 1 С 89 —92
22. Поступление свинца, кадмия, цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений .Биол. науки. 1989. N 9. 72
23. Методика определения токсичности воды по хемотаксической реакции инфузорий. Информационно методический комплект к прибору «Биотестер 2» 137 ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.3
24. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почвы и отходов по смертности и изменению плодовитости дафний 138 ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.4
25. Методическое руководство по биотестированию воды. М., 1991. 40 с. РД 52.18.344
26. Методические указания. Методика выполнения измерений интегрального уровня загрязнения почвы техногенных районов методом биотестирования РД 52.18.191

27. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почв. Гигиенические требования
28. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления М.: Минздрав России. 2003. —20с.
29. Дьяченко Г.И. Мониторинг окружающей среды (Экологический мониторинг) Новосибирск. – 2003.
30. Ашихмина Т.Я. и др. Биоиндикация и биотестирование – методы познания экологического состояния окружающей среды. – Киров, 2005.
31. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР. 1. 39. 2001. 00283. М.: Акварос, 2001. 47 с.
32. Селевановская С.Ю., Латыпова В.З. Создание тест-системы для оценки токсичности многокомпонентных образований, размещаемых в природной среде//Экология.2009.№ 1.С. 21-24.