



Государственное общеобразовательное
учреждение Ярославской области
«Средняя школа «Провинциальный колледж»

Исследовательское направление – экология

**Изучение состояния экосистемы модели водоема при внесении
минерального азота и растительного опада.**

Исследовательская работа

Выполнена учениками 10 класса
ГООУ ЯО Средней школы
«Провинциальный колледж»:
Березников Роман
Глущенко Ярослав
Донник Ульяна
Мелесова Анна
Овчинникова Анастасия

Научный руководитель -
старший преподаватель кафедры
экологии и зоологии ЯрГУ
Русинова Надежда Викторовна

Ярославль, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	5
II. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ	9
2.1 Организация эксперимента	9
2.2 Методика оценки органолептических свойств воды	10
2.3. Методика определения концентрации соединений азота в воде	10
2.4. Методика оценки биоты	12
III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	14
3.1. Характеристика органолептических свойств воды	14
3.2. Содержание форм азота	16
3.3. Развитие биоты	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27
Список литературы	28
ПРИЛОЖЕНИЕ	30

ВВЕДЕНИЕ

Вода является необходимым условием для существования жизни, в том числе и для жизни человека. Задача изучения и сохранения пресных водоемов в настоящее время является одной из приоритетных в мировой и государственной экологической политике (Указ президента...,2017). Круговорот биогенных элементов, в том числе азота, оказывает большое влияние на качество воды, развитие биоты в ней. Знание закономерностей и особенностей протекания азотного цикла в водоемах необходимо для решения многих практических задач:

- для обеспечения работы искусственных аквасистем: аквариумов, рыбопродуктивных прудов, УЗВ (установки замкнутого воспроизводства)

- для обеспечения нормальных условий функционирования и благоприятной среды в искусственных водоемах: прудах-охладителях, пожарных водоемах, рекреационных городских водоемах.

- для работы очистных сооружений сточных вод

- для оценки последствий влияния различных загрязнений на водоемы

- для понимания условий «цветения» воды и путей предотвращения этого явления

В нашем исследовании были использованы аналоговые модели водоема – то есть создание «мини-водоема» в изолированных сосудах, находящихся в условиях лаборатории. Этот метод имеет ряд преимуществ:

- возможность для наблюдения вне сезона полевых работ

- малый объем ведет к ускорению всех процессов

- можно моделировать самые разные ситуации

- нет риска для настоящей экосистемы

- соблюдение контролируемых условий эксперимента

- аналоговая модель дает возможность включать в эксперимент все условия и особенности среды, даже если мы точно о них не знаем.

Степень изученности

Проблема сохранения и использования водных ресурсов была давно осознана учеными, а потому в этой области проводились многочисленные исследования. Для каждого типа водоемов изучены основные группы обитающих там существ, описаны принципиальные схемы круговорота веществ и энергии, структура экосистем и влияние на нее многих загрязняющих веществ.

Однако экосистемы водоемов сложны и очень разнообразны, процессы в каждом случае могут идти с различными вариациями. Поэтому изучение каждого конкретного

случая может добавлять знания в общую картину, понять особенности протекания экологических процессов в каждом конкретном водоеме.

Также проведенный эксперимент помогает проиллюстрировать и понять как организована экосистема водоема и какие процессы в ней происходят при разных внешних воздействиях, а значит актуален, как часть учебного познавательного процесса.

Объект исследования: искусственные аналоговые модели водоема

Предмет исследования: органолептические свойства воды, содержание форм азота, биота модельных водоемов.

Цель работы: изучить состояние экосистемы модели водоема при внесении минерального азота и растительного опада.

Задачи:

1. оценить первоначальное качество воды из природного водоема, используемой в эксперименте

2. изучить изменение органолептических свойств воды в модельных экосистемах при внесении минерального азота и растительного опада.

3. измерить содержание разных форм азота в модельных экосистемах при внесении минерального азота и растительного опада.

4. изучить состав живых организмов и их взаимодействие в модельных экосистемах при внесении минерального азота и растительного опада.

I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Нормирование качества природных вод. Качество воды в поверхностных водоемах, имеющих большое значение, как для хозяйства человека, так и для функционирования экосистем регулируется Российским законодательством. Регулируется качество вод с двух позиций :

1. опасное для здоровья людей снижение качества питьевой воды и санитарно-эпидемиологического загрязнения водных объектов рекреационного назначения (т.е. фактор изменения среды обитания человека) – это санитарно-гигиенический фактор;

2. создание угрозы деградации или нарушения функций воспроизводства основных биотических компонентов естественных экологических систем водоемов (т.е. "общеекологический" фактор изменения природной среды) Определены как показатели органолептических свойств (Оценка и нормирование... , 2012)

Контроль качества природных вод проводится в соответствии с ГОСТ Р 58556-2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций». При оценке качества учитываются органолептические, химические, бактериологические и биологические показатели. К органолептическим показателям относятся мутность, цветность, запах и вкус воды. Экологически благополучными и пригодными для общехозяйственного значения являются водоемы, в которых вода не имеет определяемого цвета при высоте столба жидкость 20 см, не имеет выраженного постороннего запаха и вкуса (ГОСТ 2761-84). Для химических веществ, имеющих потенциальную опасность для экосистем и здоровья человека установлены ПДК. (СанПиН 1.2.3685-21). В том числе ПДК установлены и для соединений азота. При этом аммиак и нитриты отнесены к 3 классу опасности, лимитирующим показателем вредности являются санитарно-токсикологические показатели, а для аммиака также запах.

Показатели	Класс качества вод <1>				
	I	II	III	IV	V
Значение рН, ед. рН	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-8,5	6,0-9,0
Аммоний (N), мг/дм <2>	<0,1	0,1-0,2	0,3-0,5	0,6-2,0	3,0-5,0
Нитриты (N), мг/дм <2>	<0,002	0,002-0,005	0,006-0,02	0,03-0,05	0,05-0,1
Нитраты (N), мг/дм <2>	<1	1-3	4-5	6-10	11-20
Азот общий, мг/дм <2>	<1,5	1,5-4,0	4,1-7,5	7,6-17	17,1-35

1.2. Азотный цикл в водоемах. Азот является одним из биогенных элементов, поэтому его круговорот в любой экосистеме важен для её функционирования. Молекулярный азот атмосферы недоступен растениям, которые могут усваивать этот элемент только в виде ионов аммония, нитратов или из почвенных или водных растворов. Поэтому недостаток азота часто является фактором, лимитирующим первичную продукцию. Тем не менее, атмосферный азот широко вовлекается в биологический круговорот благодаря деятельности прокариотических организмов. Способностью к фиксации молекулярного азота обладают очень многие прокариоты. В большой мере она развита у фотосинтезирующих сине-зеленых водорослей (цианобактерий). Активно фиксируют азот свободно живущие в почве бактерии рода *Azotobacter*, а также клубеньковые бактерии *Rhizobium*, живущие на корнях растений семейства бобовых. Отмирая, бактериальные клетки обогащают почву азотными соединениями, доступными для растений. Симбиотические формы снабжают хозяина и за счет прижизненных выделений. В круговороте азота принимают большое участие также аммонифицирующие микроорганизмы. Они разлагают белки и другие содержащие азот органические вещества до образования аммиака. В аммонийной форме азот частью вновь поглощается корнями растений, а частью перехватывается нитрифицирующими микроорганизмами. Они используют для себя химическую энергию, окисляя аммиак сначала в нитритную форму (бактерии *Nitrosomonas*). Окисление нитритов в нитраты производят бактерии рода *Nitrobacter*. Образовавшиеся нитраты вновь используются растениями в ходе фотосинтеза. Прямо противоположна по функциям группа микроорганизмов – денитрификаторов. В анаэробных условиях в почвах или водах они используют кислород нитратов для окисления органических веществ, получая энергию для своей жизнедеятельности. Азот при этом восстанавливается до молекулярного. Азотфиксация и денитрификация в природе приблизительно уравновешены. Цикл азота, таким образом, зависит преимущественно от деятельности бактерий, тогда как растения встраиваются в него, используя промежуточные продукты этого цикла и намного увеличивая масштабы азотной циркуляции в биосфере за счет продуцирования своей биомассы (Леонтьев, 2015).

1.3. Токсичность аммиака. Аммиак — это соединение азота и водорода с формулой NH_3 . Аммиак представляет собой бесцветный газ с характерным резким запахом. Аммоний - наиболее токсичная форма из всех соединений неорганического азота, образующихся в воде (Спотт, 1983). Он образуется в воде в результате минерализации органических веществ гетеротрофными бактериями, а также как побочный продукт азотистого обмена гидробионтов. Одним из наиболее характерных свойств аммиака

является его основность. Аммиак считается слабым основанием. Когда аммиак (рН 7,4) апплицируется на культивируемые клетки (например, астроциты), NH_3 (<2%) быстро диффундирует через плазматическую мембрану и устанавливает равновесие внутри клетки путем комбинирования с цитозольным H^+ с образованием NH_4^+ : $\text{H}^+ + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+$ Следовательно, внутриклеточный рН увеличивается, что приводит к внутриклеточному подщелачиванию. Когда аммиак растворяется в воде, незначительное количество аммиака превращается в ионы аммония: $\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{NH}_4^+$ Аммиак в водных растворах является уникальной молекулой в том смысле, что он может действовать как слабое основание (NH_3) или как слабая кислота (NH_4^+), существующие в зависящем от рН равновесии, определяемом уравнением Хендерсона-Хассельбаха: $\log_{10} [\text{NH}_3/\text{NH}_4^+] = \text{pH} - \text{pKa}$ При 37°C рКа аммиака составляет 9,15. Поэтому в нормальных физиологических условиях (рН 7,4) более 98% аммиака присутствует в ионной форме (NH_4^+). Обе формы влияют на рН, электролитическое, кислотно-основное и ионное равновесие. Термин «аммиак» будет относиться к двум химическим видам (NH_4^+ и NH_3), а при обращении к определенной молекулярной форме будут использоваться « NH_4^+ » или « NH_3 ».

Все живые организмы производят аммиак в качестве побочного продукта клеточного метаболизма. При высоких концентрациях аммиак является токсичным и оказывает на функционирование клетки негативное влияние, которое может включать в себя нарушение клеточного энергетического метаболизма, митохондриальную дисфункцию, модуляцию воспалительных реакций и нейротрансмиссию в нейронах (Атолагебе, 2018). Поскольку большинство гидробионтов выделяет аммиак в качестве продукта обмена в воду путем диффузии, высокое содержание аммиака в воде оказывает косвенное токсическое действие, истинное отравление происходит из-за того, что животные не могут освободиться от избытка аммония, накапливающегося в ходе азотистого обмена. При низком содержании в воде растворенного кислорода токсичность аммония усиливается. Исследователи заключили, что длительное пребывание в среде, насыщенной аммиаком, ведет к ацидемии. Это в свою очередь нарушало способность гемоглобина переносить кислород. Ацидемия, сопровождающаяся нарушением внутреннего кислотно-щелочного баланса, ведет к преждевременному отщеплению кислорода (Спотт, 1983). Внешне отравление рыб аммиаком выглядит следующим образом (Азотный цикл в аквариуме...):

- Недостаток кислорода и затруднение дыхания
- Нарушение координации движений и попытки выпрыгнуть из воды
- Потемнение окраски тела
- Повреждение жабр

1.4. Цветение водоемов. Поскольку азот относится к биогенным элементом, то его повышенное содержание может вызвать цветение. «Цветение вооемов» - это явление, характеризующееся повышением содержания фитопланктона и как результат изменением естественного цвета водоёма на зеленый. Как правило, цианобактерии или по-другому называемые сине-зеленые водоросли вызывают цветение (Филенко, Михеева, 2007) . Цианобактериям необходимы несколько условий для развития: свет (источник энергии), углерод (строительный материал) и элементы минерального питания. Эвтрофикация происходит, как правило, в стоячих водах в летний период, так как для цианобактерий, способных к фотосинтезу, очень важным фактором является свет. Часто в летний период возрастает объём органических веществ и, в связи с этим выделяется большее количество азота, что является элементом минерального питания, который обычно находится в дефиците. Ещё одной причиной может стать рост сельскохозяйственной деятельности человека, требующая внесения дополнительного количества минеральных веществ. То в таком случае часть азотных удобрений попадет с дождями и сточными водами в водоём, вызвав цветение. Цветение водоемов для человека создаёт ряд проблем. Причиной проблем является то, что водой нельзя пользоваться не в каких-либо целях, так как при цветении образуются большие массы органического вещества, в том числе токсичного (David W. Schindler, 2012). Так же эвтрофикация является проблемой не только для человека, но и для обитателей водоёма. Так, например развивающиеся в местах скопления цианобактерий другие микроорганизмы могут также служить источником токсинов. Гниение водорослей и активное развитие бактерий приводит к образованию избыточного количества аммиака, сероводорода и других газов, которые во взаимодействии с кислородом вызывают замор рыб и других обитателей водного объекта (Филенко, Михеева, 2007). Борьба с такой проблемой весьма сложно. Меры по предотвращению развития цианобактерий разрабатываются.

II. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

2.1 Организация эксперимента

В октябре были отобраны пробы воды из пруда в парке «Нефтяник», оценили её состояние по органолептическим свойствам, измерили содержание иона аммония и рассмотрели живые организмы, которые смогли там обнаружить

Затем мы воду из водоема, с небольшим количеством донного грунта и ветками элодеи разделили и поместили в три прозрачных стеклянных сосуда, емкостью около 1л.

В первый из них добавили 10 мл раствора аммиака, во второй – добавили растительный опад в виде сухих опавших листьев, собранных на берегу пруда, в третий сосуд ничего не добавляли и оставили его в качестве контроля. Также взяли емкость с дистиллированной водой и добавили в нее 10 мл раствора аммиака.

Все сосуды экспонировались на окне с естественным освещением и при комнатной температуре. Сосуд с дистиллированной водой был закрыт, остальные – открыты (Рис.1.).

Далее раз в неделю с 15 октября по 12 ноября проводились наблюдения. Для каждого из модельных водоемов определяли ряд параметров:

- органолептические свойства воды: цвет, запах, прозрачность, а так же наличие осадка, пленки и т.п.

- концентрацию иона аммоний, а на третьей и четвертой неделе содержание нитрат-ионов

- наличие, численность и состояние живых организмов: состояние и длину веточек элодеи, другие растения и животные, видимые невооруженным глазом в банке, одноклеточные и другие мелкие организмы – под микроскопом.



Рис.1 Сосуды с модельными экосистемами на 3 неделе эксперимента.

Результаты наблюдения заносились в таблицы. Затем на основании наблюдений проводили анализ данных. Были построены схемы потоков вещества и энергии в каждой из моделей.

2.2 Методика оценки органолептических свойств воды

Методика определения запаха. Для определения запаха исследуемую воду помещали чистой в коническую колбу, закрывали пробкой и несколько раз интенсивно взбалтывали. После этого пробку открывали, открытую колбу подносили к лицу эксперта на расстояние 15-20 см на уровне носа. Определялся характер запаха и его интенсивность. Интенсивность запаха оценивали по относительной шкале: «слабый» - если запах улавливался с трудом, был плохо различим; «средней интенсивности» - если чувствовался явственно, но не вызывал дискомфорт, переставал чувствоваться при удалении колбы от лица; «сильный» - если запах чувствовался очень интенсивно даже при удалении колбы от оценщика, вызывал дискомфортные ощущения при оценке. Характер запаха оценивали как схожесть с известными пахнущими веществами или предметами, например, запах водной растительности, запах гниения, сероводорода, запах аммиака и т.д.

Методика определения прозрачности. Мутность воды обусловлена содержанием взвешенных в воде мелкодисперсных примесей – нерастворимых или коллоидных частиц различного происхождения .. Исследуемую воду наливали в прозрачный стеклянный цилиндр, который оборачивался плотной белой бумагой. Прозрачность воды измеряют как высоту столба воды, при взгляде сквозь который на белой бумаге можно различить стандартный печатный шрифт на белой бумаге, подложенной снизу под цилиндр. Высота столба измерялась линейкой с точностью до мм.

Методика определения цвета. Определение цвета проводили одновременно с прозрачностью. Определяли цвет столба жидкости в мерном стеклянном цилиндре на фоне белой бумаги при ярком дневном освещении (Пугал, Евстигнеев, 2012).

2.3. Методика определения концентрации соединений азота в воде

Определение ионов аммония

Для проведения исследования использовали следующее оборудование:

1. Набор реактивов для определения аммиака и иона аммония «Нилпа»
2. Пипетка
3. Пробирки с пробкой

Тесты воды «НИЛПА»

1. Перед проведением теста всполоснуть пробирку дважды водой из аквариума.
2. Набрать в пробирку требуемый для теста объём аквариумной воды.
3. После проведения теста тщательно всполоснуть пробирку холодной водой из крана

$\text{NH}_3/\text{NH}_4^{(2)}$	5 мл	4 капли реактива №1 → взболтать → 4 капли реактива №2 → взболтать → 4 капли реактива №3	Ждать 5 минут. Оценка по шкале (прилагается)
---------------------------------	------	--	---



Рис.2. Тест-система фирмы «Нипла» для определения ионов аммония и аммиака в воде.

Для определения концентрации ионов аммония и аммиака в воде в чистую пробирку наливали 5 мл воды из сосуда с тестируемой водой. Добавляли 4 капли реактива №1 из набора, взбалтывали раствор. Затем добавляли 4 капли реактива №2 и затем 4 капли реактива №3. Полученный раствор взбалтывали и оставляли на несколько минут до появления окраски. Интенсивность окраски сопоставляли со шкалой. Более интенсивная окраска соответствует большей концентрации ионов аммония или аммиака.

Определение нитрат-ионов

Определение проводили визуально-колориметрическим методом. Метод основан на восстановлении нитрат-иона цинковым восстановителем с последующем образованием азот-красителя с реактивом Грисса.

Необходимое оборудование и реактивы: ложка мерная, пробирка градуированная с пробкой, дистиллированная вода, порошок цинкового восстановителя, реактив Грисса, контрольная колориметрическая шкала (мобильная лаборатория)

- в градуированную пробирку налить 3 мл исследуемой воды, довести до 12 мл дистиллированной водой, закрыть пробкой перемешать.

- добавить 1 мерную ложку без верха реактива Грисса, закрыть пробкой, перемешать.

- добавить 1 мерную ложку без верха цинкового восстановителя, закрыть пробку и перемешать.

- оставить пробирку на 30 минут, периодически встряхивая для перемешивания осадка.

- слить в чистую пробирку 10 мл раствора без осадка. Провести сравнение со стандартной шкалой. Сравнение проводить на белом фоне при рассеянном дневном свете. Чем более интенсивная розовая окраска, тем больше исходная концентрация нитрат-ионов (Рис.3) (Орликова, 2018).

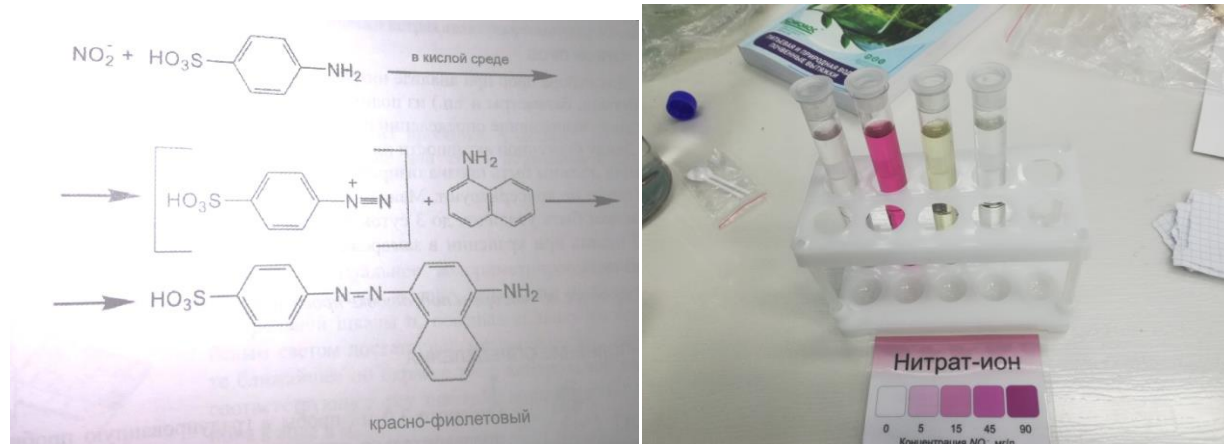


Рис.3 визуально-колориметрический метод определения концентрации нитрат-ионов.

2.4. Методика оценки биоты

Для каждого экспериментального модельного водоема заполняли таблицу, приведенную ниже. Если биота отсутствует (в контроле с дистиллятом) – ставили прочерк.

1. Вытащить пинцетом в чашку Петри и рассмотреть веточки элодеи канадской. Отметить соотношение живых и мертвых листьев, состояние листьев, их цвет. Общую длину веточек и их живой части. Наличие прироста, общее состояние растения. После осмотра и проведения записей, поместить обратно в водоем.

2. Выполнить определение и подсчет планктонных организмов. Для подсчета и определения планктонных организмов: взять пипеткой каплю воды из исследуемой емкости, нанести её на предметное стекло, накрыть покровным.

2. Поместить под микроскоп. Просмотреть каплю воды, двигая стекло. Определить группы встречающихся организмов, пользуясь «Определителем пресноводных беспозвоночных...» (1977). Определение можно проводить не до вида, а до типов, классов. Например, жгутиконосцы, амёбы, инфузории, ветвистоусые рачки...

3. Провести подсчет встреченных организмов, каждой категории. При массовом количестве, расчет произвести в 1 поле зрения.

4. Повторить пп 1-3 пять раз, стараясь брать пробы с разных участков модельного водоема (с поверхности, из толщи, со стенок, с дна...).

Таблица 1

Состояние экосистемы модельного водоема в эксперименте.

параметры	1 контроль	2 природная вода +	3 природная вода + опад	4 дистиллиров
Номер / название модельного				

водоема		аммиак		анная вода + аммиак
Дата наблюдения				
Цвет воды				
Прозрачность				
запах				
Элодея (наличие и доля живых листьев, цвет, состояние листьев, длина живого стебля, наличие прироста и т.д.)				
Планктонные организмы				

Для сравнения сходства видового состава живых организмов в разных моделях использовали индекс Сьеренсена (Мэгарран, 1992). Рассчитывали его по формуле:

$$CS=2j/(a+b), \text{ где:}$$

j - число общих видов в обеих экосистемах,

a – число видов в первой экосистеме,

b – число видов во второй экосистеме

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Характеристика органолептических свойств воды

Для проведения эксперимента была взята вода из Крестовского пруда в парке «Нефтяник». Она характеризовалась следующими органолептическими показателями: вода имела еле заметный желтоватый цвет, прозрачность более 30 см, очень слабый запах воды и водной растительности. Было измерено содержание кислорода, которое составило 8 мг/л, и определено содержание ионов аммония около 0,5 мг/л. Вода в контроле сохраняла органолептические характеристики в течение всего эксперимента.

Наблюдение за органолептическими свойствами далее проводили раз в неделю. Результаты представлены в таблице 2 и на рис.4.

Таблица 2

Органолептические свойства воды в экспериментальных сосудах

	Время, нед.	Цвет	Запах	Прозрачность	Другие характеристики
Контроль	1	Желто-зеленоватый, светлый	Слабый запах водной растительности, водоема	8,4	
	2	Светлый, бледно-желто-зеленоватый		7,5	
	3	Светло-желтоватый		10,7	
	4	Светло-зеленоватый		10,8	
Природная вода + аммиак	1	Светло-желтый с оттенками серого	Слабый запах аммиака	3,5	
	2	Светло-зеленый	Сильный запах водной растительности, слабый запах аммиака	1,5	
	3	Ярко-зеленый	Сильный запах водной растительности, слабый запах аммиака	2	
	4	Светло-зеленый	Сильный запах водной растительности, слабый запах	1	

			аммиака		
Природная вода + лиственной опад	1	Желто-коричневый	Гниющей органики, сероводорода	0,8	-
	2	Темно-коричневый	Гниющей органики, сероводорода	1,3	Бактериальная пленка на поверхности и стенках
	3	Коричневый	Гниющей органики	1,5	
	4	Коричневый	Гниющей органики	2	

В начале наблюдений в одну из банок с прудовой водой мы добавили лиственной опад. Под действием бактерий, которые продолжали активно развиваться на протяжении всего времени наблюдения, лиственной опад начал гнить и элодея также начала разлагаться. В результате этого начали выделяться гуминовые кислоты, поэтому вода приобрела коричневый цвет, ее прозрачность понизилась, а также появился резкий запах сероводорода. Затем прозрачность постепенно начала повышаться, так как организмы, развивающиеся в воде этой банки, начали поедать находящуюся в ней органику.

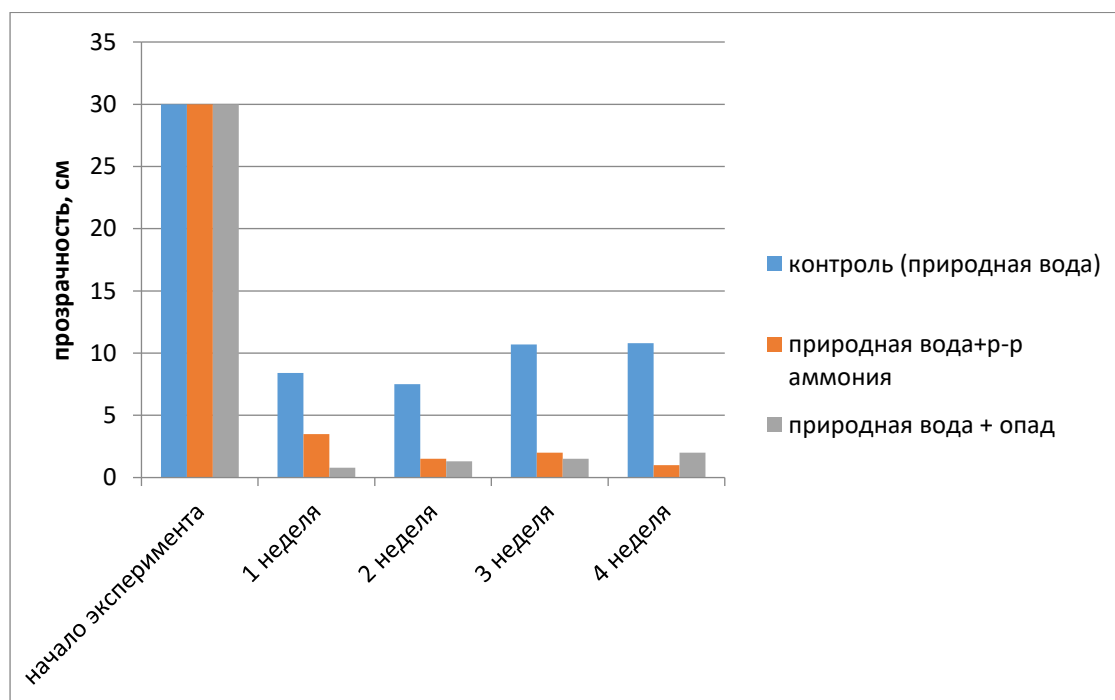


Рис.4 Прозрачность воды в экспериментальных сосудах.

В природной воде, в которую мы в начале наблюдений добавили аммиак, прозрачность со временем начала постепенно понижаться, так как, в этой банке начали развиваться сине-зеленые водоросли, и, возможно, другие бактерии. Они создавали взвесь в воде, которая объясняет зеленый цвет и снижение прозрачности. Аммиак, внесенный в банку, не мог сразу усвоиться живыми организмами и испариться, поэтому на протяжении

первых двух недель присутствовал в воде и давал характерный запах. Также организмы, погибшие при его воздействии, давали запах водорослей.

В дистиллированной воде с аммиаком на протяжении всего периода наблюдений вода оставалась прозрачной и с резким запахом аммиака.

3.2. Содержание форм азота

Результаты исследования воды по содержанию ионов аммония представлены на диаграмме (рис. 5)

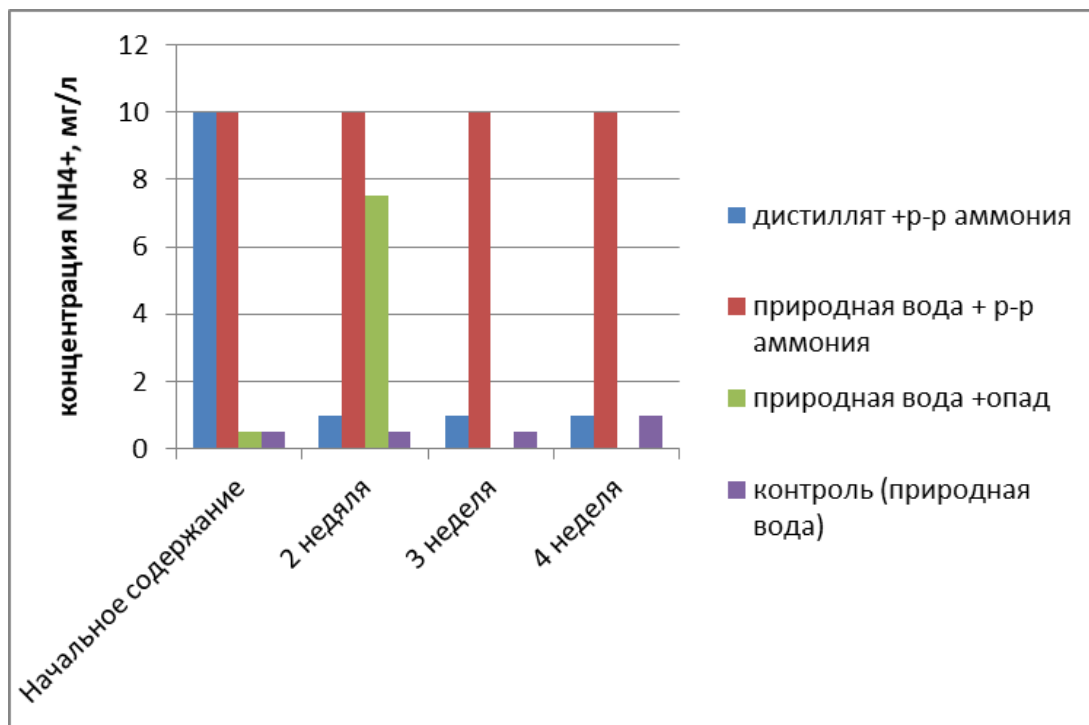


Рис. 5. Содержание ионов аммония в воде экспериментальных моделей.

Соединения азота – образуются из белковых соединений, которые попадают в воду вместе с продуктами жизнедеятельности животных и с органическим опадом. В прудовой воде, которая использовалась для эксперимента, содержание иона аммония составляло около 0,5 мг/л. Что ниже ПДК для природных вод (СанПиН 1.2.3685-21). Содержание аммиака является важным показателем, характеризующим процессы, происходящие в воде прудов. Содержание нитрат-иона было на минимальном уровне 0-0,1 мг/л, и не определялось calorиметрически. Также был взят один сосуд с дистиллированной водой, в которой любые посторонние соединения, в том числе и соединения азота, отсутствуют.

В два сосуда (с природной и дистиллированной водой) в начале эксперимента было добавлено по 10 мл концентрированного раствора аммиака, что соответствовало концентрации иона аммония около 10 мг/л.

Содержание ионов аммония в контроле сохранялось низким в течении всего периода исследования, не поднимаясь существенно по сравнению с показателями в природном водоеме. Это говорит о том, что процессы, обуславливающие круговорот азота в нашем модельном водоеме происходили так же как в естественных условиях и были сбалансированы.

В сосуде с природной водой и раствором аммиака, его содержание сохранялось одинаково высоким, около 10мг/мл на протяжении всего эксперимента. Можно предположить, что внесенный в начале аммиак частично испарялся, о чем говорит присутствующий характерный запах. Но концентрация его поддерживалась за счет разложения организмов, погибших при воздействии внесенного в начале аммиака.

Значение концентрации NH_4^+ в воде с органическим опадом возможно было определить, только в первую неделю и оно показало 7,5мг/л, то есть значительно выросло, хотя и было ниже, чем при внесении раствора аммиака. Об этом мы можем судить по тому факту, что в этом сосуде активно развивались различные организмы, в то время как в сосуде, куда был добавлен аммиак, произошла их гибель. В дальнейшем в сосуде с опадом этот показатель нельзя было определить. На его выявление повлияли другие факторы (цветность, мутность), препятствующие определению колориметрическим методом. Также, возможно, содержание было слишком высоким, выше пределов чувствительности метода. Высокое содержание объясняется влиянием работы живых существ по разложению опада.

Резкий спад содержания ионов NH_4^+ в пробе с дистиллированной водой и растворенным аммиаком свидетельствует о том, что аммиак с течением времени испарялся.

В ходе исследования нами не было выявлено накопления нитратов ни в одной из проб, кроме сосуда с раствором аммиака и природной водой. На 3 неделе эксперимента концентрация нитрат-ионов составляла 0 - 0,5 мг/л в контроле, растворе аммиака в дистилляте и воде с опадом. Нитраты образуются в ходе азотного цикла. Фекалии и органический опад в ходе гниения и разложения выделяет аммиак, далее он в свою очередь превращается в нитриты под действием бактерий нитрозомонас, нитриты под действием бактерий нитробактер превращаются в нитраты, которые потребляются водорослями закрывая цикл. Одной из причин отсутствие значительных концентраций нитрат-иона, может являться потребление нитратов водорослями в целях питания и роста

а сосудах с природной водой (контроль) и опадом. В сосуде с раствором аммиака, образование нитратов шло более всего и достигало на 3 неделе 10 мг/л, а потом снизилось, так как там водоросли развивались медленнее из-за первоначальной гибели и расход шел медленнее.

На основании полученных результатов нами были сделаны следующие выводы:

1. В наших экспериментальных водоемах источником аммиака является: внесение раствора NH_3 или разложение органических остатков.
2. Концентрация аммиака после внесения раствора снижается вследствие испарения или окисления бактериями.
3. Концентрация аммиака в модели с органическим опадом возрастает, но не достигает высоких значений, так как не наблюдается гибель живых организмов.
4. В наших модельных экосистемах происходило бактериальное окисление аммиака до нитрат ионов.
5. Накопление нитрат ионов не происходило, так как они использовались водорослями на рост и питание и таким образом, включались в водоворот.

3.3. Развитие биоты

3.3.1. Развитие биоты в сосуде с добавлением раствора аммиака

До начала эксперимента была элодея, а также малое количество простейших.

При добавлении раствора аммиака организмы, находившиеся в воде до эксперимента погибли. Это произошло, так как аммиак обладает токсичностью и создает щелочную среду, в то время как в природных водоемах среда нейтральная или слабокислая. Элодея уже через неделю после начала эксперимента стала желтой, размягченной и при касании разваливалась на куски. К четвертой неделе её остатки полностью превратились в илоподобный осадок на дне сосуда.

Ряска появилась позже, через неделю, но затем тоже погибла. Это произошло из-за того, что скорее всего в банке были семена растения или почки, которые в ходе эксперимента образовали новое растение. Оно оказалось более устойчиво, чем элодея и простейшие, так как плавает на поверхности и поэтому меньше подвергалось действию раствора аммиака.

Через неделю эксперимента стали отмечаться мелкие зеленые клетки цианобактерий и слизистая бактериальная пленка на стенках сосуда. Количество цианобактерий увеличивалось с первой до 3 недели, появлялись их небольшие скопления.

Данная экосистема развивается за счет размножения и существования сине-зелёных водорослей, которые пользуются световой энергией для фотосинтеза, а также

постоянного поступления NO_2 от бактерий-нитрификаторов. Последние могли для жизнедеятельности использовать как внесенный аммиак, так и тот, который выделялся при разложении отмерших организмов. Схема потоков вещества и энергии в нашей модели водоема при добавлении раствора аммиака представлена на рис.6.

Таблица 3

Состав живых организмов в сосуде с природной водой при добавлении аммиака

Название	Трофическая группа	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя
Ряска	Автотроф	---	---	+	---
Элодея	Автотроф	+	+	+	---
Сине-зелёные водоросли	Автотроф	+	++	++	++
Бактериальная плёнка	Гетеротроф	+	+	+	+

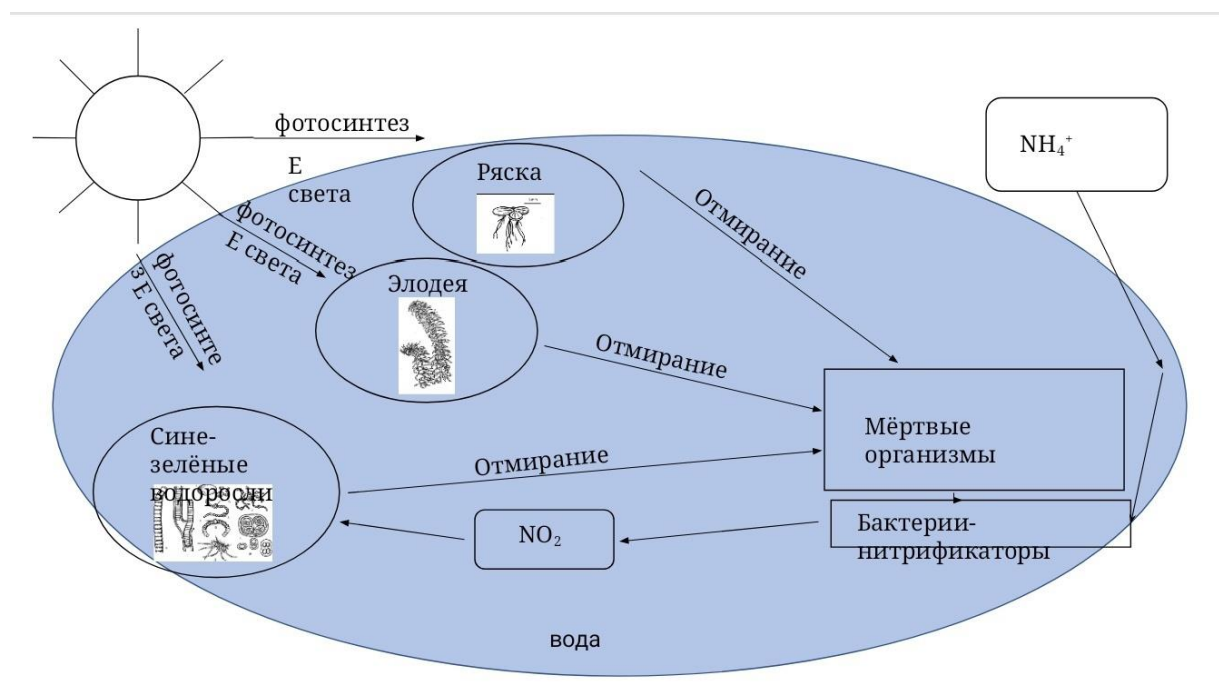


Рис 6. Схема потоков вещества и энергии в модели водоема при добавлении раствора аммиака

Цианобактерии являются одними из самых простых организмов (прокариоты), видимо, устойчивы к высоким концентрациям аммиака. Также в данной экосистеме представлены питательные вещества и световая энергия постоянно поступающие к ним. При этом отсутствовала конкуренция со стороны других организмов, не было организмов, которые могли бы поедать цианобактерии. Эти условия позволили им быстро размножиться. Мы наблюдали изменение цвета воды на зеленый, повышение её мутности, то есть в нашей модели водоема произошло «цветение» водоема.

3.3.2. Развитие биоты в сосуде с добавлением листового опада

Присутствие и количество организмов в модельной экосистеме водоема при добавлении опада показано в таблице 4

Таблица 4

Состав живых организмов в сосуде с природной водой при добавлении листового опада

Название	Трофическая группа	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя
Эвглена зеленая	миксотроф	++	++	++	++
Коловратка	гетеротроф				+
Амёба раковинная	гетеротроф		+		+
Сценедесмус	автотроф				+
Инфузория туфелька	гетеротроф	+	+++	+	+
Хламидомонада	миксотроф		++		
Стилонихия	гетеротроф			+	
Дрожжи	гетеротроф	+			
Диатомовые водоросли	автотроф	+			
Бактериальная плёнка	гетеротроф	+	+	+	+

На протяжении всех четырех недель на поверхности воды присутствовала бактериальная плёнка.

В начале наблюдений преобладали эвглены зеленые, также в небольших количествах были инфузории туфельки, дрожжи и диатомовые водоросли.

На второй неделе также были замечены амеба раковинная и хламидомонады, исчезли дрожжи и диатомовые водоросли. Количество инфузорий туфелек значительно увеличилось.

На третьей неделе появились стилонихии. Раковинная амеба и хламидомонады исчезли. Количество инфузорий туфелек снова сократилось.

На четвертой неделе появились коловратки, сценедесмус. Снова была замечена раковинная амеба. Пропали стилонихии.

Количество эвглен зеленых было относительно постоянным и на протяжении всего времени они оставали самыми многочисленными организмами.

Количество видов на каждой неделе наблюдений практически не меняется, однако виды сменяют друг друга. Наибольшая биомасса наблюдалась на второй неделе, когда наблюдалось увеличение численности инфузорий туфелек. В остальное время почти все виды кроме эвглены, были представлены единичными особями. Можно предположить, что малочисленные виды не всегда попадали в наши пробы, так как их концентрация мала. Виды, которые не отмечались в начале эксперимента, например, коловратки, водоросль рода сценедесмус, попали с природной водой или листовым опадом в покоящихся, неактивных стадиях, в виде яиц, спор. Затем, когда в модельной экосистеме сложились благоприятные условия, они вышли из покоящихся стадий и начали размножаться. В целом общая биомасса и разнообразие системы растут. В данной экосистеме складывается самое высокое разнообразие и развивается самая большая биомасса, по сравнению с контролем и с внесением аммиака.

Основным источником энергии в экосистеме является энергия химических связей органического вещества в опаде, автотрофы также используют энергию солнечного света. Основным источником питательного вещества является листовый опад (мертвые организмы), занесенный в экосистему перед началом наблюдений. Из организмов в экосистеме преобладают гетеротрофы и миксотрофы. Последние в условиях эксперимента питаются как гетеротроф, так как не имеют яркой зеленой окраски. Схема потоков вещества и энергии в экосистеме представлена на рис 7.

В данную экосистему изначально было занесено много органических веществ в виде листового опада, следовательно она содержала много питательных веществ и

энергии. Образовалась благоприятная среда, которая и послужила большому разнообразию организмов в этой экосистеме.

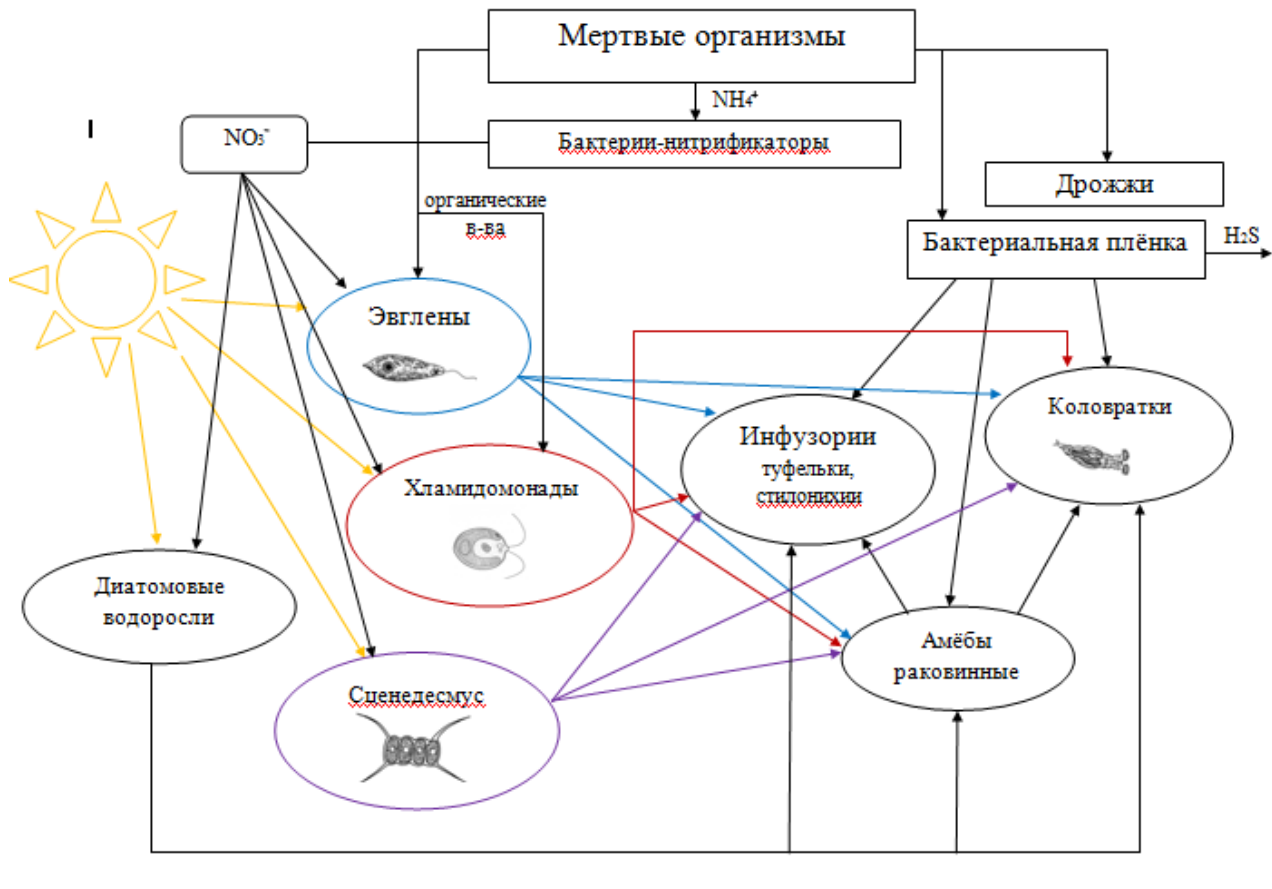


Рис. 7. Схема потоков вещества и энергии в модели водоема при добавлении листового опада

3.3.3. Развитие биоты в контроле

В начале эксперимента в воде водоема не наблюдалось живых организмов, кроме элодеи. Можно предположить, что другие организмы находились в состоянии покоящихся стадий, спор, цист в донном осадке. Или же их количество было очень мало, поэтому они не попадали в пробы, которые просматривались под микроскопом.

В течение эксперимента в контрольной модели элодея оставалась живой и увеличивала свой размер. Это говорит о наличии всех условий для ее роста: благоприятной температуре, освещении, наличии в воде необходимых минеральных питательных веществ. Поскольку мы ничего не вносили в данную банку, то можно предположить, что все необходимые элементы и минеральные вещества уже содержались в природной воде и небольшом донном осадке.

В процессе эксперимента количество видов организмов, которые мы обнаруживали в пробах, увеличивалось. Уже через две недели после начала наблюдений были отмечены единичные представители водоросли спирогиры, инфузории рода стилонихия, личинки циклопов. В соскобе со стенки были отдельные клетки цианобактерий. Результаты наблюдений представлены в таблице 5

Таблица 5

Состав живых организмов в сосуде с природной водой без добавления посторонних веществ (контроль)

Название	Трофическая группа	1 Неделя	2 Неделя	3 Неделя	4 Неделя
Элодея	Автотроф	+	++	++	++
Сине-зеленые водоросли	Автотроф	-	+	++	++
Стилонихия	Гетеротроф	-	+	+	-
Циклопы	Гетеротроф	-	+	+	++
Хлорелла (в цистах)	Автотроф	-	-	-	+
Спирогира	Автотроф	-	+	+	++

В течение третьей и четвертой недели количество представителей всех видов увеличивалось, кроме стилонихий. Они оставались очень малочисленными. Возможно, это связано с развитием циклопов, для которых инфузории являются кормом. На четвертой неделе наблюдений был обнаружен еще один вид зеленых водорослей, предположительно относящихся к роду хлорелла.

Таким образом, в экосистеме контрольного модельного водоема развивались преимущественно автотрофные организмы. Их общая биомасса нарастала медленно, так как количество питательных веществ в среде было ограничено. Они могли поступать в воду только при разложении отмирающих особей в донном осадке. Поскольку увеличение биомассы все же происходило, можно предположить, что в экосистеме были бактерии, способные к азотфиксации, например, цианобактерии, отмеченные нами или другие

бактерии. Но этот процесс шел медленно, и потому общий объем биомассы в контроле был меньше, чем в обоих экспериментальных моделях. Гетеротрофы представлены единичными особями, так как для их массового развития не хватает питания. Схема потоков веществ и энергии в контрольной модели водоема представлена на рис.8.

При сравнении видового состава организмов, выявленных нами в разных моделях, мы выявили, что он сильно отличается. Мера сходства Сьеренсена (C_s) показывает низкие значения сходства между всеми моделями, её значение лежит в пределах от 0,125 до 0,4 (Мэгарран, 1992). Наиболее сильное отличие от контроля показала экосистема с внесением опада (Таблица 6), с самой многвидовой и разнообразной экосистемой. Меньшее отличие в экосистеме при внесении раствора аммиака ($7C_s = 0,4$) можно объяснить общим малым количеством видов в данной модели, которые частично наблюдались и в контроле.

Таблица 6

Значения коэффициента Сьеренсена для контрольной и экспериментальных моделей водоема

	контроль	Модель с внесением NH_3	Модель с внесением опада
контроль		0,4	0,125
Модель с внесением NH_3	0,4		0,29
Модель с внесением опада	0,125	0,29	

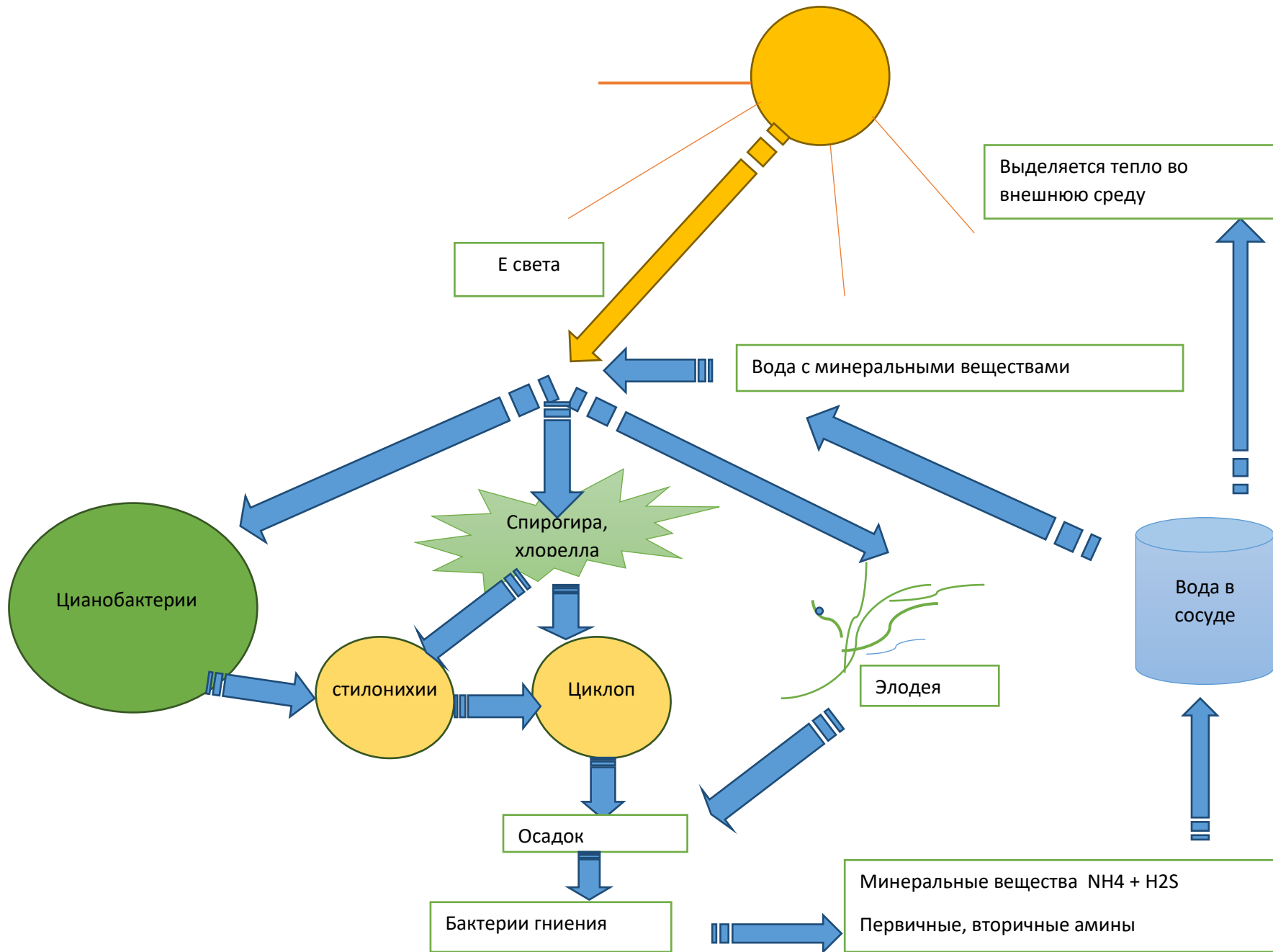


Рис.7 Схема потоков вещества и энергии в контрольной модели водоема

Заключение по разделу «Изучение биоты»

- В воде из водоема находится некоторое количество организмов в покоящихся стадиях: цист, спор, яиц, которые могут развиваться при наступлении благоприятных условий.
- В контрольной модели развивается экосистема с преобладанием фотосинтезирующих автотрофов и небольшим количеством гетеротрофов. Нарастание биомассы в этой экосистеме происходит медленно из-за ограничения питательных веществ, в том числе азота. Ни один из видов не достигает высокой численности, так как устанавливается сбалансированный круговорот всех веществ и энергии.
- Внесение минерального азота в виде раствора аммиака в значительных концентрациях оказывается губительным для большинства организмов даже в покоящихся стадиях. В условиях эксперимента выжили и смогли развиваться только цианобактерии, которые очень быстро размножились и достигли высокой численности. Они придали воде зеленый цвет и характерный запах водорослей, снизили прозрачность, что можно назвать «цветением» модельного водоема.
- В модели водоема с внесением органического опада сформировалась самая многовидовая экосистема, в которой преобладали гетеротрофы и миксотрофы. Общая численность организмов была высокой. Основным источником питательного вещества была разлагающаяся органика. Вода приобрела неприятный гнилостный запах, была очень мутной.
- Таким образом, при внесении в модель экосистемы питательных веществ в виде минерального азота или органического опада происходит увеличение биомассы организмов в экосистеме и значительно изменяется их видовой состав по сравнению с контролем. Также изменяются и ухудшаются органолептические показатели воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проделанной работы были сделаны следующие выводы:

1. Вода пруда парка «Нефтяник» по органолептическим свойствам и содержанию соединений азота соответствовала нормам, установленным в законодательстве для водоемов общехозяйственного назначения. В воде находились организмы в покоящихся стадиях, которые при попадании в благоприятные условия сформировали стабильную экосистему, в которой вода сохраняла первоначальные характеристики.

2. Внесение в модель водоема азота в любых формах вызвало резкое ухудшение органолептических свойств воды. Эти изменения были вызваны деятельностью измененной биоты в большей степени, чем самих азот-содержащих веществ.

3. В экспериментальных моделях водоемов наблюдалось содержание ионов аммония, превышающее установленные ПДК. Источником избытка аммония могло быть как непосредственное внесение раствора аммиака, так и добавление органического опада. Содержание нитрат-ионов не превышало ПДК и оставалось к концу эксперимента на уровне около 0,5 мг/л, так как нитраты сразу поглощались водорослями.

4. Внесение в модель водоема избыточного азота в любой форме привело к значительному изменению видового состава организмов и росту общей биомассы. Внесение раствора аммиака резко снижает биоразнообразие за счет токсического действия аммиака на все организмы кроме цианобактерий. Внесение азота в органической форме привело к формированию экосистемы с высоким биоразнообразием и преобладанием гетеротрофных организмов.

Список литературы:

1. <https://gidrologia.ru/publikatsii/krugovorot-azota-v-iskusstvennom-vodoeme.html>
Internet-ресурс: круговорот азота в искусственном водоеме. (дата обращения 1.02.2022)
2. Леонтьев В.В. Краткий курс лекций по гидробиологии. Учебное пособие для студентов-бакалавров биологических направлений. Елабуга, 2015. – 90с. (с 18-19 цикл азота в водах)
3. ГОСТ Р 58556-2019 Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций / национальный стандарт российской федерации. Internet-ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200168048> (дата обращения 1.02.2022)
4. ГОСТ 2761-84 Межгосударственный стандарт источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Internet-ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200003220?marker=7D20K3>. (дата обращения 1.02.2022)
5. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. - М.: Мир, 1992. - 184 с.
6. Определитель Пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос) / Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И., Ленинград: Гиброметеиздат, 1977, 510с.
7. Орликова Е.К. Контрольные измерительные материалы. Вода и водные объекты: показатели экологического состояния и инструментальные методы их оценки: учебно-методическое пособие. – СПб.: Изд-во ЗАО «Кристалл+». 2018. – 29с.
8. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: Учебно-методическое пособие Текст / сост. О.В. Гагарина. / Ижевск: Издательство «Удмуртский университет». - 2012. - 199 с
9. Пугал Н.А., Евстигнеев В.Е. Методические рекомендации по проведению экологического практикума / М.: Химлабо, 2012г. 28 с.
10. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки/ под ред. Муравьева А.Г. – изд. 5-е, перераб. И дополнен. – СПб.: «Кристалл+», 2021. – 360 с.
11. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" Постановление от 28 января 2021 года N 2. Internet-ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560IO>
12. Спотт С. «Содержание рыбы в замкнутых системах», 1983 г., 160с.

13. Указ президента Российской Федерации «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» №176 от 19 апреля 2017 года. Internet-ресурс: [.http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636](http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636) (дата обращения 28.01.2022)
14. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. М.: Колосс, 2007. – 144с.
15. David W. Schindler. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes // Proc. R. Soc. B. 2012. Published online before print August 22, 2012.

ПРИЛОЖЕНИЕ

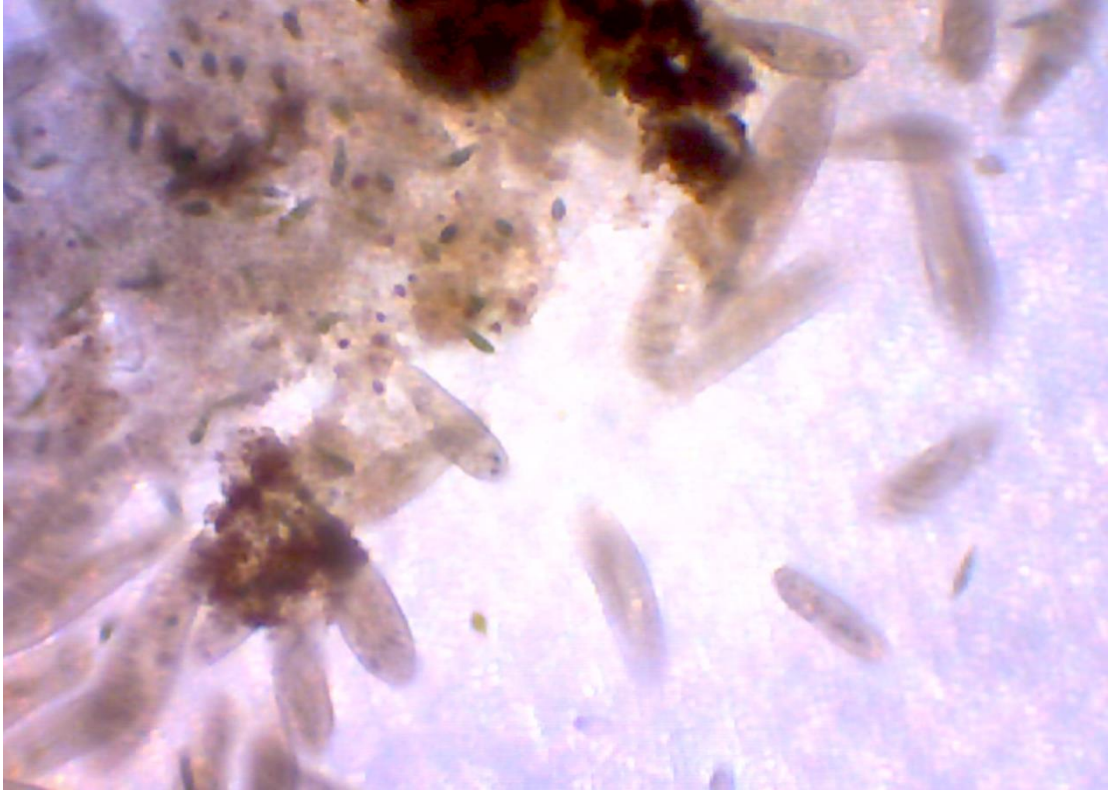


Рис. П-1 Инфузории туфельки и эвглены, питающиеся бактериальной пленкой на поверхности воды в модели с добавлением опада.

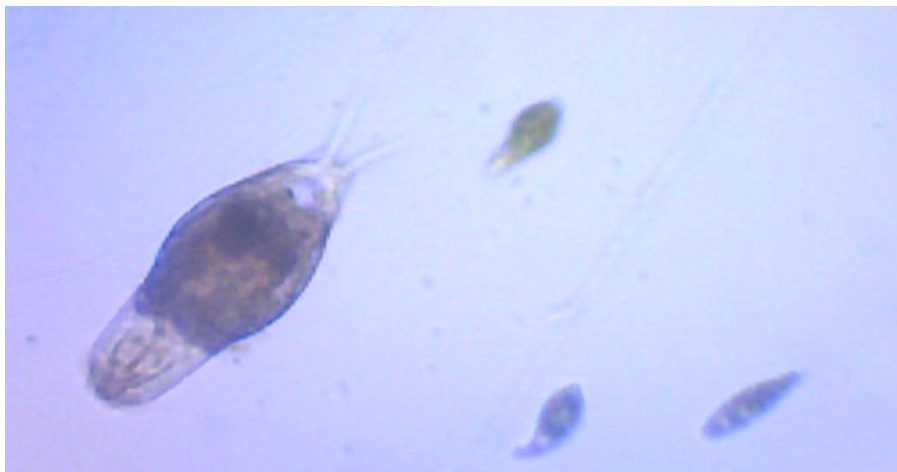


Рис. П-2. Колончатка и инфузории в воде из модели с листовым опадом на 4 неделе эксперимента.

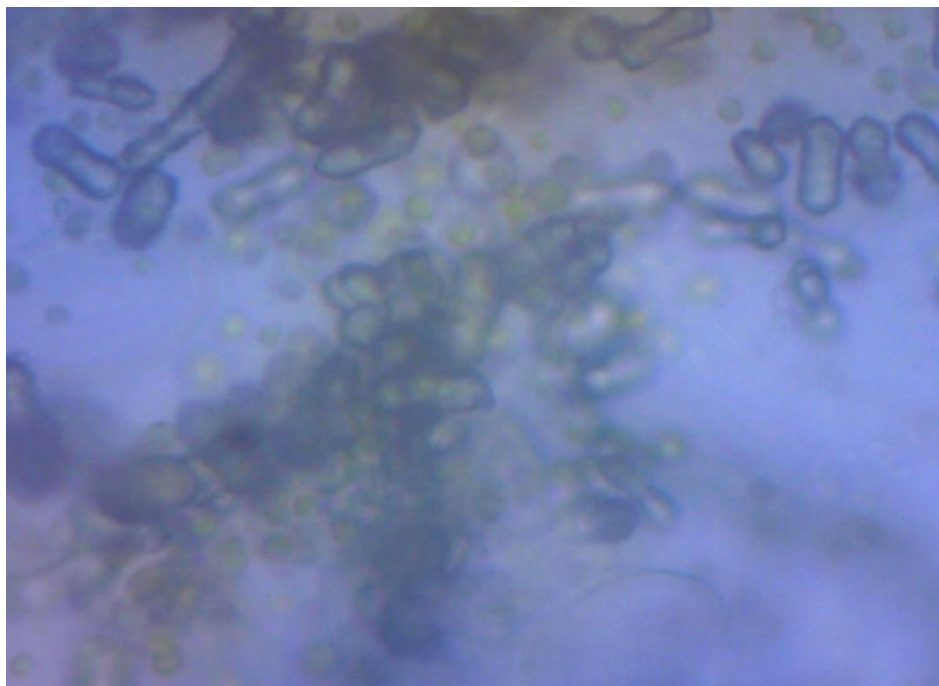


Рис. П.3. Цианобактерии в модели водоема с добавлением аммиака



Рис. П.4. Личинка циклопа в контрольной модели водоема.

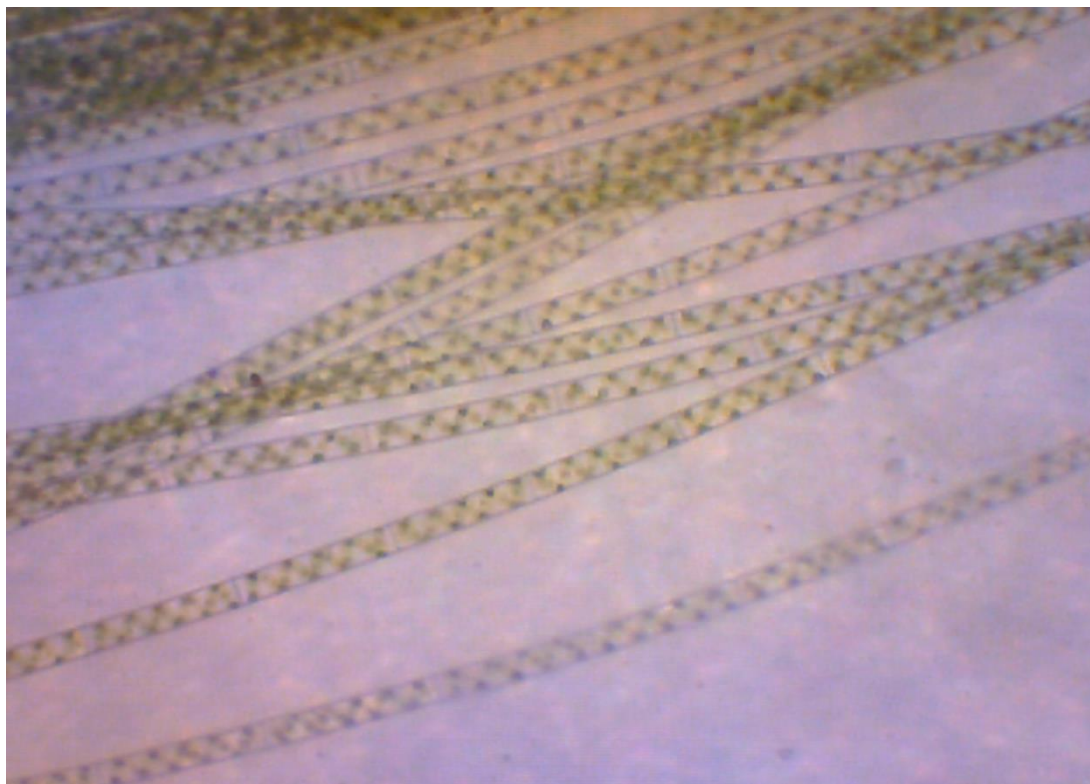


Рис. П.5. Спирогира в контрольной модели водоема.



Рис. П.6. Сценедесмус в воде модели водоема с добавлением листового опада.