

Конкурсная работа

Влияние генератора кислорода на основе зелёной водоросли *Chlorella vulgaris* на качество воздуха в жилом помещении.

Ученика 10"Б" класса МБОУ гимназии №7 имени Д.П. Яковлева

Прохорова Сергея Сергеевича

Проект реализуется в рамках договора о сотрудничестве ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» и МБОУ гимназия №7 имени Д.П. Яковлева г. Красногорск, а также подпрограммы «ВНИРО Юниор» проекта «Навигатор ВНИРО».

Научный Руководитель

Якомазова Татьяна Александровна,

Заместитель директора, учитель биологии

МБОУ гимназия №7 имени Д.П. Яковлева

Красногорск

2025 год

ОГЛАВЛЕНИЕ:

| | |
|--|----|
| 1.Введение..... | 3 |
| 1.1.Актуальность проекта..... | 3 |
| 1.2.Время и место проведения..... | 4 |
| 1.3.Тема проекта..... | 4 |
| 1.4.Цель проекта..... | 4 |
| 1.5.Задачи проекта..... | 4 |
| 1.6.Гипотеза..... | 5 |
| 2.Обзор информации и литературы по теме..... | 5 |
| 3.Материалы и оборудование..... | 7 |
| 3.1.Основная часть, практическая часть..... | 7 |
| 4.Выводы..... | 14 |
| 4.1.Заключение..... | 15 |
| 4.2.Источники..... | 15 |

АННОТАЦИЯ

Влияние генератора кислорода на основе зелёной водоросли *Chlorella vulgaris* на качество воздуха в помещении

Прохоров Сергей Сергеевич

МБОУ гимназия №7 имени Д.П. Яковлева, 10 «Б»

В данной статье рассматривается вопрос эффективности работы генератора кислорода на основе зелёной водоросли *Chlorella vulgaris* собственной разработки в условиях жилого помещения. *Chlorella vulgaris* была взята за основу генератора кислорода, ввиду её способности к эффективному фотосинтезу, обусловленной обширным хлоропластом. В статье также описывается проектирование и сборка генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris*. Для определения значимости влияния устройства на качество воздуха, с помощью многофункционального детектора качества воздуха, был проанализирован уровень влажности воздуха в помещении и уровень содержания кислорода в нём на протяжении работы генератора кислорода. В ходе работы ежедневно велась статистика изменения значений показателей в формате Excel, которая впоследствии подверглась анализу. Во время работы генератора кислорода также взымались образцы биомассы для визуального анализа посредством микроскопии. Результаты анализа

статистических данных показали, что во время работы устройства уровень содержания кислорода в воздухе поднялся на 1.6% (с 19.3% до 20.9%), а также возрос уровень влажности воздуха (с искажениями, вызванными факторами внешней среды), в популяции *Chlorella vulgaris* наблюдался сопоставимый рост.

Ключевые слова: *Chlorella vulgaris*, кислород, влажность, биомасса, фотосинтез, хлоропласт, микроскопия, популяция.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Chlorella vulgaris (хлорелла обыкновенная) является незаменимым ресурсом в различных сферах биологии ещё с середины XX века. *Chlorella*, являясь удобным модельным объектом, была использована для исследования и описания ряда биологических процессов (например опыты Мелвина Кальвина¹ по изучению темновых реакций фотосинтеза проводились на представителях рода *Chlorella*).

В современной биотехнологии *Chlorella* играет незаменимую роль. Она используется в качестве богатой белком и триптофаном пищевой добавки², подкормки для рыб, скота, домашних животных, также является детектором чистоты водоемов и одним из наиболее эффективных органических удобрений. Вдобавок данный организм является объектом исследования эволюции растений.

Chlorella отличается неприхотливостью к условиям содержания, что положительно сказывается на возможности её культивации в различных условиях. Для создания благоприятных данному организму условий необходима водная среда (или прибрежная область) и достаточное освещение при комнатной температуре (подробнее в 3. Материалы и оборудование).

1.1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТА.

Особенный интерес *Chlorella* представляет своей способностью к интенсивному фотосинтезу (подробнее в 2. Обзор информации и литературы по теме). Фотосинтез, в процессе которого выделяется обилие кислорода, в сочетании с микроскопическими размерами организма (2-12 мкм в диаметре), делает данный организм ресурсоёмким и многофункциональным сырьём для создания генераторов кислорода, важность которых описана ниже.

- Переработка диоксида углерода (углекислого газа) в кислород (в случае с кислородным генератором, основанным на фотосинтезирующих организмах), позволяющая эффективно избавляться от во многом вредного

углекислого газа³, являющегося парниковым газом, обилие которого в атмосфере задерживает тепловое излучение солнца, способствуя глобальному потеплению.

- Повышение концентрации кислорода в воздухе, способствующее нормализации его содержания в загрязнённых областях (например в промышленных зонах и крупных городах), а также повышающее уровень здоровья населения.
- Поддержание оптимальных значений влажности воздуха⁴ (подробнее в 3.Материалы и оборудование) замедляет размножение многих патогенных микроорганизмов.
- более 50% кислорода, относительно всех фотосинтезирующих организмов, выделяют водоросли⁵.

Исходя из данных свойств, кислородный генератор на основе *Chlorella* может быть востребованным в медицинских учреждениях, муниципальных предприятиях, а также пользоваться спросом в коммерческой сфере.

1.2.ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ.

Работа проводилась в типовом жилом помещении площадью 11м² с 06.02.25 до 13.06.25 (включительно).

1.3.ТЕМА ПРОЕКТА.

Влияние генератора кислорода на основе зелёной водоросли *Chlorella vulgaris* на качество воздуха в жилом помещении.

1.4.ЦЕЛЬ ПРОЕКТА.

Разработка и создание генератора кислорода на основе зелёной водоросли *Chlorella vulgaris*. Выявление работоспособности и эффективности данного устройства в виде предположительного повышения процентного содержания кислорода в помещении.

1.5.ЗАДАЧИ ПРОЕКТА.

1. Анализ теоретической информации, связанной с процессом фотосинтеза у *Chlorella vulgaris* и оптимальной средой для данного процесса.
2. Проектирование работающего прототипа генератора кислорода на основе существующих чертежей и эскизов, а также собственных наработок.
3. Сборка генератора кислорода из сырья, предоставленного ГНЦ РФ ФГБНУ “ВНИРО” (подробнее в 3.Материалы и оборудование).

4. Заполнение ёмкости генератора кислорода биомассой, предоставленной ГНЦ РФ ФГБНУ “ВНИРО” (подробнее в 3.Материалы и оборудование).
5. Контроль состояния биомассы в генераторе кислорода.
6. Фиксация изменения параметров воздуха в помещении (изменения концентрации кислорода, изменения влажности) в формате Excel.
7. Сформулировать вывод о пользе и надёжности генератора кислорода на основе зелёной водоросли *Chlorella vulgaris*, исходя из полученных во время исследования данных.

1.6.ГИРОТЕЗА.

При активной работе генератора кислорода на основе зелёной водоросли *Chlorella vulgaris*, в воздухе будет наблюдаться повышение уровня влажности и концентрации кислорода.

2.ОБЗОР ИНФОРМАЦИИ И ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ.

Chlorella vulgaris- представитель отдела *Chlorophyta* (зелёные водоросли), рода *Chlorella*, не имеющих двигательных органелл. Имеет сферическую форму, размер варьирует от 2мкм до 12мкм.

Для *Chlorella vulgaris*, как и для других представителей рода *Chlorella*⁶, характерно маленькое (относительно клетки) ядро и обширный чашевидный хлоропласт, занимающий большую часть площади клетки. В хлоропласте содержатся два пигмента, обеспечивающих интенсивный фотосинтез- хлорофилл а и хлорофилл b. Эти пигменты также придают представителям *Chlorella vulgaris* характерный зелёный цвет. В строении данного организма можно отметить трёхслойную клеточную стенку, состоящую из соединений хитин-подобных полисахаридов и целлюлозы, по структуре схожих с хитином. Такое строение клеточной стенки позволяет представителям *Chlorella vulgaris* эффективно противостоять неблагоприятным внешним воздействиям, что выделяет этот организм среди других зелёных водорослей. Следует отметить,

что при длительном воздействии неблагоприятных условий *Chlorella vulgaris* образует цисту, теряя способность к фотосинтезу на время нахождения в цисте.

Размножение у *Chlorella vulgaris* происходит бесполом путём, при помощи деления на автоспоры.

Для *Chlorella vulgaris* характерна водная среда обитания (в основном пресные водоёмы с густой растительностью, но встречается также на корнях высших растений вблизи водоёмов). В толще воды

передвигается по течению, ведя планктонный образ жизни. Среди

представителей своего вида живёт группами, не образуя колонии

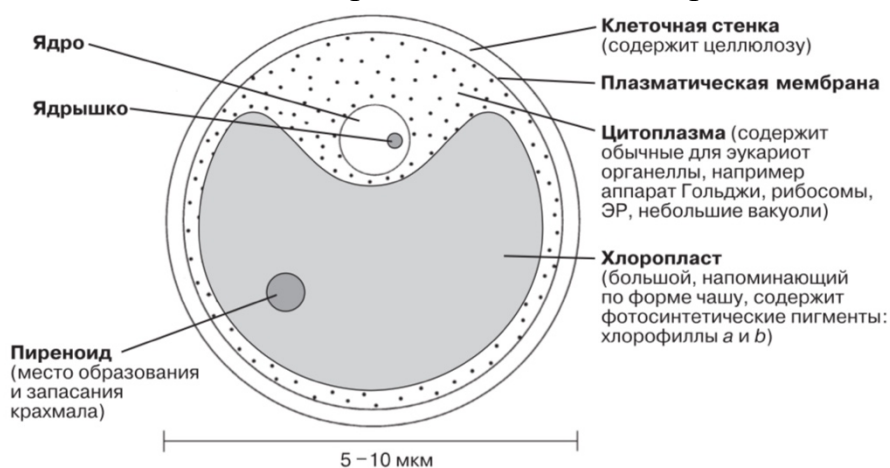


Рисунок 1: строение *Chlorella vulgaris*

В привычном понимании (в скоплениях клетки не теряют автономности (как это происходит в случае с колониальными водорослями), что делает *Chlorella vulgaris* более мобильной в субстрате.

По способу питания *Chlorella vulgaris*, как и большинство растений, является фотоавтотрофом⁷ (организмом, синтезирующим необходимые органические вещества из неорганических веществ и энергии света). Важно отметить, что фотоавтотрофные организмы являются единственными живыми системами, способными к эффективному потреблению энергии света в качестве одного из основных источников энергии. Синтез органических веществ (глюкозы, которые в дальнейшем могут быть преобразованы в другие вещества) происходит у *Chlorella vulgaris* в хлоропласте в ходе реакций фотосинтеза (световой и темновой). Во время фотосинтеза идёт активное поглощение диоксида углерода (углекислого газа), а также выделение обилия кислорода в качестве побочного продукта реакции. Обширность хлоропласта (относительно всей клетки) позволяет представителям рода *Chlorella* выделять кислород в больших количествах с поглощением пропорциональных объёмов диоксида углерода.

3.МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.

Оборудование было представлено ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

Материалы и оборудование для сборки генератора кислорода:

- Стекланный сосуд цилиндрической формы (диаметр 0,24м, высота 0,4м, объём 16л)
- Аэратор для аквариума повышенной плотности «ТПФА» (диаметр 0,13м)
- Одноканальный компрессор «С-JET-180» для аквариума объёмом до 100л, производительность 180 л/ч (частота 50Гц), мощность 2Вт, напряжение 220-240В «Silver Berg»
- Трубка (ПВХ) 1.5м
- Терморегулятор «TETRA» HT25 для аквариумов объёмом 10-25л (25Вт)
- Суспензия хлореллы (*Chlorella vulgaris*) 1 литр «ОРГАНИК+»
- Светодиодная лента полного спектра (430-470нм, 620-665нм) с влагозащитой стандарта IP65, мощностью 10,3Вт, количество диодов 120шт. (длина 2м, ширина 0,01м)
- Вода хлорированная 10 литров

Измерительные приборы:

- Многофункциональный детектор качества воздуха O₂/RH/t° «К6-О» (диапазон измерения влажности: 0-100%, диапазон измерения уровня содержания O₂ (кислорода): 0-30%, диапазон измерения температуры: -9-55°C).

3.1.ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ, ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Проектирование и создание генератора кислорода с подходящими для жизнедеятельности *Chlorella vulgaris* условиями.

Ввиду благоприятности водной среды для *Chlorella vulgaris* и необходимости контакта с окружающей средой, было принято решение взять за основу для генератора кислорода конструкцию типичного открытого биореактора. В качестве возможной конструкции был рассмотрен и проанализирован концепт бытового генератора кислорода на основе микроводорослей, разработанный

Дальневосточным государственным техническим рыбохозяйственным университетом⁸ (смотреть рисунок 2). В эскизах данной версии генератора кислорода прослеживается типичная для открытых биореакторов система поддержания оптимальных условий, расположенная под биомассой и представляющая собой аппараты, обеспечивающие поддержание постоянной температуры и фильтрацию воздуха с аэрацией. Особое внимание стоит уделить выводящей кислород трубке, окружённой светодиодной подсветкой. Недостатками устройства в рамках данной работы являются:

- Система фильтрации, требующая дорогостоящее оборудование
- Большие размеры (в технических характеристиках указан объём 90 литров), подходящие для офисных помещений, но не для жилых

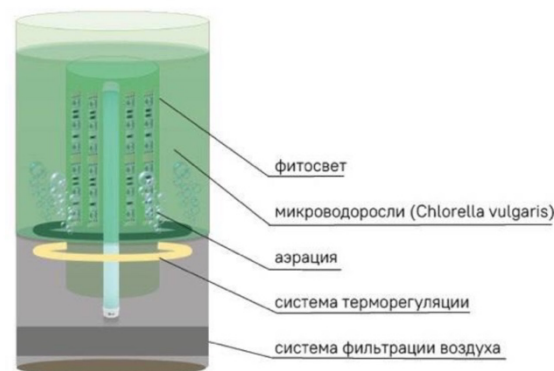
Для устранения данных недостатков пришлось частично переработать дизайн устройства (смотреть рисунок 3). В окончательной версии устройства было решено уменьшить объём сосуда до 16 литров (соответственно уменьшив размер генератора кислорода) и упростить систему фильтрации воздуха до аэратора с компрессором (подробнее в 3.Материалы и оборудование), которые также могут переносить биомассу и доставлять насыщенный диоксидом углерода (углекислым газом) воздух к биомассе. Поскольку роль выводящей трубки теперь играют потоки воздуха, система освещения будет закреплена радиально на внутренней поверхности стенок сосуда.

Вода с биомассой занимают 2/3 объёма сосуда для обеспечения более эффективного газообмена между генератором кислорода и внешней средой. Терморегулятор закреплён на внутренней поверхности стенки сосуда, нагревательный элемент погружен в воду для обеспечения постоянной температуры в её толще. Компрессор установлен на внешней поверхности стенки сосуда над уровнем воды (для того чтобы вода не затекала в трубку при выключении компрессора). Трубка, отходящая от компрессора, подключена к

Бытовой генератор кислорода на основе микроводорослей

Разработчик: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (г. Владивосток)

Конструкционное решение:



Технические параметры:

Ёмкость резервуара: 90 л.
Температура жидкости: 28С
Производительность: до 1200 л. кислорода в день
(потребность 6 человек)
Питание: 12В

Рисунок 2: концепт бытового генератора кислорода на основе микроводорослей, разработанный ДГТРУ

аэратору, обеспечивающему потоки воздуха. Аэратор неподвижно закреплён на дне ёмкости. Радиальная форма аэратора обеспечивает равномерное распределение биомассы в резервуаре.

Для обеспечения условий, оптимальных для жизнедеятельности *Chlorella vulgaris* (в частности размножения и фотосинтеза), внутри генератора кислорода была установлена температура 25°C (при помощи терморегулятора подробнее в 3.Материалы и оборудование), а также интенсивное освещение спектров 430-470нм, 620-665нм⁹. Первые две недели со сборки генератора кислорода система освещения работала непрерывно, для более быстрой адаптации *Chlorella vulgaris* к новому субстрату и увеличения скорости роста популяции. В дальнейшем система освещения ежедневно отключалась на 8 часов, в качестве имитации цикла дня и ночи.

Важно отметить, что установка системы аэрации проводилась перед вливанием биомассы и воды в ёмкость, а системы освещения и терморегуляции-после. Для закрепления аэратора на дне сосуда и компрессора на внешней поверхности стенки сосуда, использовалась двусторонняя изолента и скотч соответственно. Светодиодная лента была оснащена специальной клейкой поверхностью, которая была задействована для закрепления светодиодной ленты на внутренней поверхности стенки сосуда.



Рисунок 3: рабочий прототип генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* (светодиод убран)

Прототип генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* был окончательно введён в эксплуатацию 06.02.25.

Впоследствии были проведены анализы на содержание катионов аммония (NH_4^+), нитрит-анионов (NO_2^-) и уровень pH. Анализы проводились в московском филиале ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО». Результаты тестов выявили низкую кислотность среды ($\text{pH}=6,3\pm 0,2$), пригодную для нормальных физиологических процессов *Chlorella vulgaris*, а также 26 ± 5 (мг/дм³) катионов аммония и $0,91\pm 0,01$ (мг/дм³) нитрит-анионов. Такое содержание электролитов допустимо и является свидетельством активных метаболических процессов, протекающих у *Chlorella vulgaris*.

Исследование влияния генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* на окружающую среду. Выявление эффективности работы генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris*.

С даты запуска генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* (06.02.25) на протяжении 128 дней (до 13.06.25), ежедневно проводились измерения содержания кислорода (O₂) в помещении (%) и влажности воздуха (%) при помощи многофункционального детектора качества воздуха (подробнее в 3.Материалы и оборудование). Полученные данные фиксировались в таблицы Excel. Стоит уточнить, что во время работы генератора кислорода допускалось воздействие внешних факторов (в частности, ежедневные проветривания), которые могли повлиять на полученные в дальнейшем результаты.

Влияние генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* на содержание кислорода в воздухе.

До проведения работы с генератором кислорода (06.02.25) было установлено, что в помещении (подробнее в 1.2.Время и место проведения) содержание кислорода было равно 19.3%, что ниже нормы на 1.6%. Следует отметить, что норма содержания кислорода¹⁰ в воздухе варьирует от 20.9% до 21%, минимальным допустимым значением является 18%, а максимальным допустимым- 23%. Уровень содержания кислорода в помещении начал возрастать, начиная с 11.02.25. Наиболее интенсивный рост содержания кислорода в помещении наблюдался с 28.02.25 до 13.03.25. Прирост за этот промежуток времени составил 0.5%. 14.03.25 уровень содержания кислорода стабилизировался на отметке 20.9% и в дальнейшем не изменялся. Любопытна корреляция между фазами роста популяции¹¹ и ростом уровня содержания кислорода. Так, исходя из графика роста содержания кислорода в помещении (смотреть рисунок 4), можно отметить три фазы роста популяции характерные для микроорганизмов (*Chlorella vulgaris* в том числе):

1. 06.02.25-13.02.25 лаг-фаза, небольшой прирост кислорода в воздухе соответствует низкой скорости роста популяции, ввиду адаптации к новой среде.
2. 14.02.25-14.03.25 экспоненциальная (логарифмическая) фаза, значительное повышение содержания кислорода в воздухе напрямую зависит от интенсивного роста популяции.
3. 15.03.25-13.06.25 стационарная фаза, стабилизация уровня содержания кислорода в воздухе свидетельствует о достижении плато популяции *Chlorella vulgaris*.

4. Фаза отмирания отсутствует, ввиду постоянного поддержания оптимальных условий для жизнедеятельности *Chlorella vulgaris* и слабой внутривидовой конкуренции, вследствие благоприятности условий.

Исходя из данных, полученных во время наблюдения за концентрацией кислорода в воздухе во время работы генератора кислорода, резонно заявить, что уровень содержания кислорода в помещении повысился до оптимальных значений (20.9%), а также популяция *Chlorella vulgaris* достигла предположительного плато.

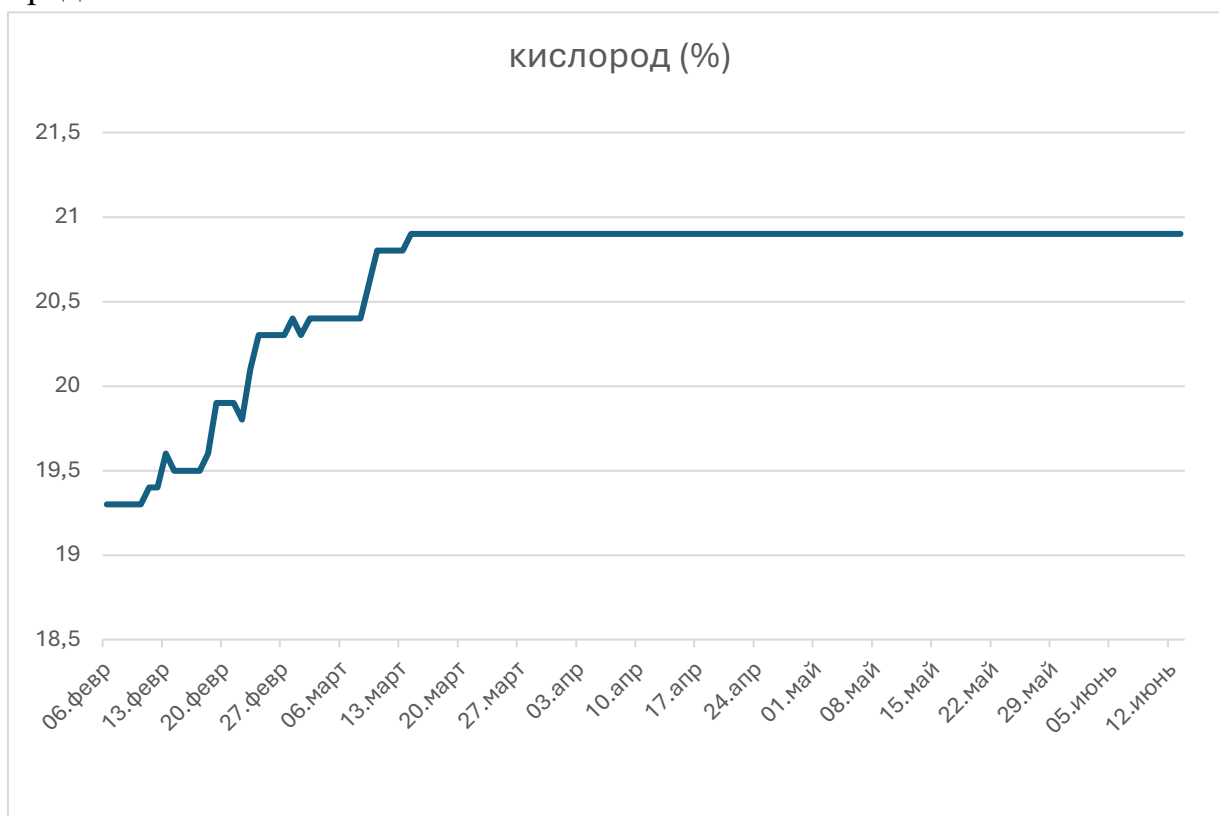


Рисунок 4: график изменения содержания кислорода в помещении

Влияние генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* на влажность воздуха.

Из-за обилия воды внутри генератора кислорода, предполагалось, что во время его работы уровень влажности воздуха повысится. Стоит учитывать, что в норме влажность воздуха зимой ниже, чем летом в среднем на 10% (по ГОСТ в зимнее время влажность колеблется между 35% и 60%, а в летнее- между 45% и 65%). Учитывая воздействие внешней среды на состояние воздуха в помещении (в виде периодических проветриваний), можно списать предположительные 10% прироста на влияние изменения погодных условий. Следовательно, для подтверждения гипотезы о повышении влажности воздуха в помещении, вызванным жизнедеятельностью *Chlorella vulgaris* в генераторе

кислорода, должен наблюдаться прирост влажности выше 10%, или, непосредственно, выше нормы.

До установки генератора кислорода (06.02.25) в помещении (подробнее в 1.2.Время и место проведения) был зафиксирован уровень влажности воздуха, равный 45%, являющийся нормальным во время зимы.

На протяжении работы генератора кислорода наблюдались частые колебания уровня влажности воздуха, предположительно вызванные внешними факторами, так как несмотря на стабильную температуру в генераторе кислорода (подробнее в 3.Материалы и оборудование), температура изменялась под воздействием внешних факторов, таким образом влияя на влажность воздуха в помещении. Относительная стабильность в показателях влажности воздуха продолжалась с 06.02.25 до 04.03.25 (уровень влажности не превышал 50%). Интенсивный рост влажности воздуха начался 05.03.25 и продлился до 06.04.25, уровень влажности возрос до 67% (смотреть рисунок 5). С 07.04.25 наблюдалось снижение влажности, предположительно вызванное резким похолоданием. 14.04.25 падение уровня влажности достигло своего пика- 57%, после чего возобновился рост. Уровень влажности стабилизировался 23.05.25 в диапазоне от 69% до 75%.



Рисунок 5: график изменения уровня влажности воздуха в помещении

Исходя из полученных в ходе наблюдения данных, можно утверждать, что работа генератора кислорода частично оказала влияние на прирост уровня влажности воздуха. Стоит отметить, что в графике изменения уровня

влажности воздуха (смотреть рисунок 5), в отличие от графика изменения содержания кислорода в помещении (смотреть рисунок 4), почти не выражена корреляция с ростом популяции *Chlorella vulgaris*, возможно, в связи с непосредственным влиянием на влажность воздуха водной среды в генераторе кислорода.

Состояние *Chlorella vulgaris* в генераторе кислорода на протяжении эксперимента.

На протяжении работы генератора кислорода наблюдался интенсивный рост популяции *Chlorella vulgaris*, коррелирующий с увеличением уровня кислорода, описанным в начале 3.1. Основная часть, практическая часть. Также у *Chlorella vulgaris* наблюдалась тенденция закрепления на различных поверхностях (в основном на воздухоотводной трубке и дне ёмкости), несмотря на постоянную работу аэратора (подробнее в 3. Материалы и оборудование), что может вызвать интерес в дальнейшем изучении закономерностей поведения данного организма.

Во время наблюдений за биомассой в генераторе кислорода были проведены два контрольных анализа *Chlorella vulgaris* под микроскопом 27.02.25 и 30.03.25 (анализ проводился посредством создания временного раствора с *Chlorella vulgaris* из генератора кислорода и его изучением под световым микроскопом с увеличением 400х). Во время обоих анализов наблюдались скопления живых представителей *Chlorella vulgaris*, большинство которых активно размножались. Важно отметить, что 30.03.25 наблюдалось значительно больше особей, чем 27.02.25, что подтверждает рост популяции,

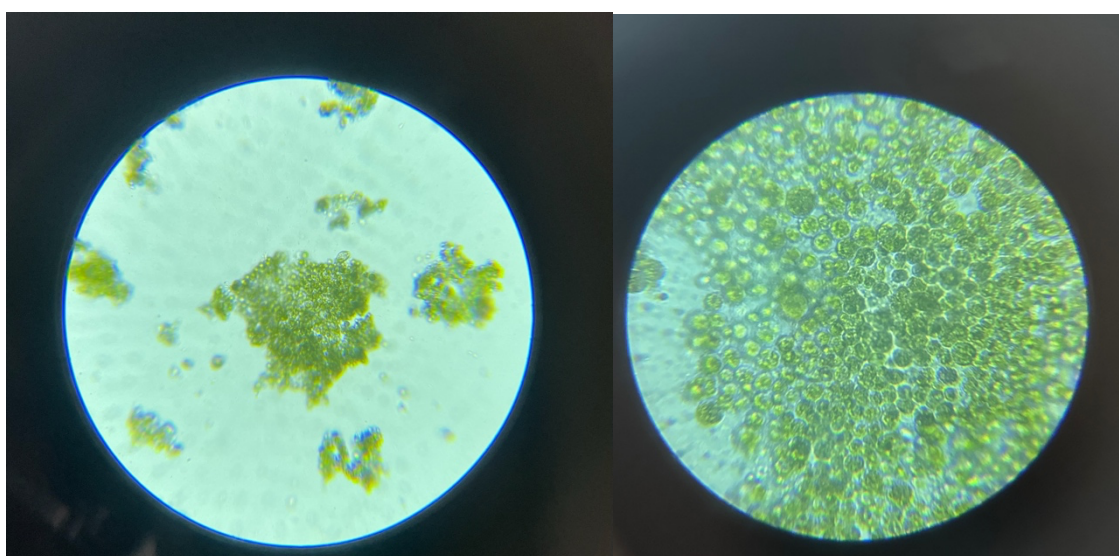


Рисунок 6: оптическая микроскопия *Chlorella vulgaris* 27.02.25 (слева) и 30.03.25 (справа)

вызванный благоприятностью среды в генераторе кислорода.

4.ВЫВОДЫ.

Во время работы генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* наблюдался значительный рост уровня содержания кислорода в воздухе до отметки 20.9%, соответствующей оптимальным значениям (подробнее в 3.1.Основная часть, практическая часть). Немаловажно, что для роста уровня содержания кислорода в воздухе характерна корреляция с ростом популяции *Chlorella vulgaris*, что свидетельствует о прямой связи между этими двумя факторами. По субъективным ощущениям, в ходе работы устройства, наблюдалось повышение собственной продуктивности и работоспособности.

Также работа генератора кислорода на основе *Chlorella vulgaris* оказала значительное влияние на уровень влажности воздуха, подняв его до значений 69-75%(смотреть 3.1.Основная часть, практическая часть), что превышает норму. Стоит отметить, что на влажность воздуха в помещении оказывал влияние не только генератор кислорода, но и другие факторы (такие как проветривание и температура в помещении).

Рост популяции *Chlorella vulgaris* и последующая стабилизация её популяции на некоем плато свидетельствуют о благоприятности условий, созданных в генераторе кислорода, для данного вида. Микроскопия не выявила аномалий в анатомии и физиологии *Chlorella vulgaris*, взятой из генератора кислорода.

Исходя из вышеописанных данных, справедливо заявить, что гипотеза оправдана (смотреть 1.6.Гипотеза).

4.1.ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Изучение *Chlorella vulgaris* представляет огромный интерес в современной биологии и биотехнологии. Возможности практического использования данного организма имеют большие перспективы, особенно в качестве эффективного генератора кислорода. Ввиду проверенной способности *Chlorella vulgaris* к интенсивному фотосинтезу, в ходе которого оказывается положительное влияние на качество воздуха (повышается уровень влажности воздуха, а также содержания в нём кислорода), генератор кислорода на её основе способен к эффективной работе с минимальными энергетическими затратами.

Всвязи с наблюдаемыми во время работы генератора кислорода закономерностями в поведении *Chlorella vulgaris* (такими как, тенденция у весомой части представителей данного вида к закреплению на поверхностях), открываются перспективы в проектировке генераторов кислорода на основе

данной водоросли, использующих различные поверхности для экономии эффективного пространства. Не менее перспективны возможности использования схожих с *Chlorella vulgaris* водорослей, например: способную к самостоятельному движению *Chlamydomonas reinhardtii*, или колониальный *Volvox aureus*.

Вдальнейшем планируется развитие темы изучения биологических свойств *Chlorella vulgaris* и потенциальных возможностей её применения в сфере биотехнологии.

4.2. ИСТОЧНИКИ.

Теоретические сведения:

1. Восстановительный пентозофосфатный цикл Бассхем Дж., Бенсон А., Кальвин М.
https://ru.wikipedia.org/wiki/Восстановительный_пентозофосфатный_цикл
2. Хлорелла (*Chlorella*) 4.0 Важность хлореллы ALEEN Career Institute
https://allen-in.translate.google.neet/biology/chlorella?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq&_x_tr_hist=true
3. Углекислый газ в атмосфере земли Смирнов Б.М. (1978) УФН
<https://ufn.ru/ru/articles/1978/11/f/>
4. О предупреждении переноса в помещении патогенных организмов воздушным путем в холодном климате Тейлор С., Скофилд М., Греф П. АВОК https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8168
5. Фотосинтез водорослей Ма В., Лю Л., Вонг К., Дуанму Д., Киу Б. (2023)
<https://www.frontiersin.org/research-topics/25172/algae-photosynthesis/magazine>
6. Хлорелла (*Chlorella*) 1.0 Строение хлореллы ALEEN Career Institute
https://allen-in.translate.google.neet/biology/chlorella?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq&_x_tr_hist=true
7. Биология в 3-х томах Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. том 1 4-е издание, исправленное (электронное) (2013): стр.253-254
8. Дальневосточный государственный технический рыбный университет (ДГТРУ) <https://dalrybvtuz.ru>
9. Биология в 3-х томах Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. том 1 4-е издание, исправленное (электронное) (2013): стр.260-261

10. *Атмосфера и здоровье* Голицин Г. Грандберг И., Поволоцкая Н. (Гидромедцентр России) <https://meteoinfo.ru/meteo-medic/2918-meteo-med-golicin>
11. *Биология в 3-х томах* Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. том 1 4-е издание, исправленное (электронное) (2013): стр.415-416

Изображения:

Рисунок 1: строение *Chlorella vulgaris*- *Биология в 3-х томах* Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Том 1 4-е издание, исправленное (электронное) (2013): стр.51

Рисунок 2: концепт бытового генератора кислорода на основе микроводорослей, разработанный ДГТРУ- <https://dalrybvtuz.ru>