

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.А. Кратасюк

«_____» _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

03.03.02 Физика

«Оценка влияния физико-химической очистки газовой среды
замкнутой системы жизнеобеспечения на высшие растения»

Научный руководитель _____ ст. науч. сотр.
ИБФ СО РАН,
кан. биол. наук

Трифонов С.В.

Студент БФ16-01Б _____

Тубол Н. А.

Красноярск 2020

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа по теме «Оценка влияния физико-химической очистки газовой среды замкнутой системы жизнеобеспечения на высшие растения» содержит 40 страниц, 26 иллюстраций, 10 таблиц и 30 использованных источников.

ЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ, ЧЕЛОВЕК-ВЫСШИЕ РАСТЕНИЯ, ПОЧВО-ПОДОБНЫЙ СУБСТРАКТ, РЕАКТОР МОКРОГО СЖИГАНИЯ, УСТАНОВКА ГЛУБОКОГО ОКИСЛЕНИЯ ГАЗА.

Самая важная проблема в создании биолого-технических систем жизнеобеспечения (БТСЖО) является создание экологически безопасного физико-химического метода переработки органических отходов, способного за короткое время преобразовать органический материал в форму, которая будет доступна для дальнейшего поступления в звено высших растений. Предметом исследования является возможное токсичное влияние переработанной газовой среды на высшие растения. Данная работа посвящена изучению возможности внесения переработанного газа, образующегося в ходе переработке органических отходов, в фототрофное звено.

Цель работы: оценка воздействия продуктов глубокого окисления предполагаемых газовых сред БТСЖО на растения салата, как модельный тест-объект.

Задачи:

1. Получить хроматограмму органических летучих соединений газовой компоненты продуктов «мокрого» сжигания метаболитов человека до и после глубокой каталитической очистки.

2. Подобрать приемлемые температуру и освещенность для выращивания растений салата «Московского парникового» в условиях интенсивной светокультуры.

3. Используя растения салата провести биотестирование газообразных продуктов окисления, возникающих при переработки экометаболитов человека путем метода мокрого сжигания.

Проведены серии экспериментов, в которых растения выращивались в герметичной вегетационной камере, при этом создавались условия, позволяющие выявить токсическое воздействие возможных примесей летучих соединений газа из реактора мокрого сжигания. Для этого газ неоднократно подавался в камеру.

Сделаны следующие выводы:

1. Установка глубокой очистки газов удаляет летучие органические соединения из состава атмосферы вегетационной камеры, оставляет следы окислов азота.

2. Биохимический состав и минеральное питание растений не нарушены при очистке газов с помощью установки глубокой очистки.

3. Происходит угнетение растений при подаче газа из реактора мокрого сжигания, не очищенного с помощью установки глубокой очистки воздуха: снижаются сухая масса растения и содержание углеводов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Обзор литературы.....	5
1.1. Системы жизнеобеспечения.....	5
1.2. Виды систем жизнеобеспечения по способу регенерации среды.....	6
1.3. Проекты замкнутых биологических систем обеспечения.....	7
1.4. Методы очистки газовой среды.....	9
2. Материалы и методы.....	11
2.1. Метод «мокрого сжигания».....	11
2.2. Система глубокой очистки газа.....	12
2.3. Оценка газового состава.....	15
2.4. Тест объект - высшие растения.....	16
2.5. Методы.....	17
2.6. Приборы.....	17
2.7. Методика выращивания растений.....	17
2.8. Определение минерального состава.....	20
3. Результаты и обсуждения.....	22
3.1. Состав газа.....	22
3.2. Средние массы и фото салата «Московский парниковый».....	24
3.3. Газообмен.....	27
3.4. Минеральный и биохимический состав.....	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	36
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	38

ВВЕДЕНИЕ

Идея создания в космической ракете замкнутой системы кругооборота всех необходимых для жизни веществ, принадлежит К. Э. Циолковскому.

На космическом корабле должны быть воспроизведены в миниатюре все основные процессы превращения веществ, которые совершаются в земной биосфере.

С этой целью Циолковский предложил на сравнительно небольших космических кораблях создавать искусственную атмосферу, занимая определённую площадь под оранжереи, используя для этой цели высшие растения, выращивая их на жидких питательных средах, используя метод, ГИДРОПОНИКА. При этом методе растения выращиваются без почвы и получают все питательные вещества, необходимые для роста, из растворов. В дальнейшем этот метод развивал К. А. Тимирязев, однако длительное время исследования по гидропонике проводили только с различными солевыми питательными растворами.

До настоящего времени жизнь в космических полетах поддерживалась сухими основными продуктами питания или формулами питания, поставляемыми с Земли, потому что производство свежих продуктов в космических условиях остается проблемой из-за ряда ограничений и отсутствия знаний о физиологии растений в таких условиях.

Обеспечение длительного пребывания человека на будущих космических станциях тесно связано с адекватной средой обитания. Поэтому исследование научных принципов создания среды, пригодной для длительного пребывания человека вне биосферы, приобретает все большую актуальность.

Необходимо создание такой системы жизнеобеспечения (СЖО), которая будет являться для человека источником пищи, обеспечивать круговорот воды и кислорода и регенерацию среды [1].

Наиболее приемлемым СЖО являются системы, в которых кислород, пищу и воду для экипажа обеспечивают высшие растения. Главной задачей при этом является организация круговорота вещества между людьми и растениями таким образом, чтобы отходы экипажа и растительного звена могли быть переработаны в минеральные удобрения [2]. Высшие растения, являясь источником углеводов, растительных белков, жиров и витаминов, способны удовлетворить потребности человека в растительной пище [3]. Поэтому исследования в области выращивания растений в условиях искусственных экосистем представляются актуальными.

Метод мокрого сжигания в среде перекиси водорода, разработанный в лаборатории управления биосинтезом фототрофов Института биофизики Сибирского Отделения Российской Академии Наук, является одним из экологически безопасным и наиболее перспективным методов переработки органических отходов. Это уникальная физико-химическая технология переработки отходов человека, при которой отходы жизнедеятельности минерализуются и превращаются в питательные вещества для растений - неорганические вещества и минеральные растворы.

Проведенные ранее эксперименты с использованием минерального раствора в работе с разными растениями, в лаборатории биосинтеза фототрофов ИБ СО РАО показали хорошие результаты.

Помимо раствора необходимо включать выделяющийся при переработке отходов газ в массообмен системы через фототрофное звено. Установлено, что этот газ содержит в себе ряд токсичных органических соединений, при этом наибольшее их выделение наблюдалось при утилизации экзометаболитов человека.

Данные соединения могут быть практически полностью окислены до CO_2 и H_2O на платиновом катализаторе, разогретом до температуры 1000°C .

Данная работа посвящена изучению возможности внесения переработанного газа в фототрофное звено.

Цель настоящей работы: оценить воздействия продуктов глубокого окисления предполагаемых газовых сред БТСЖО на растения салата.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Получить хроматограмму органических летучих соединений газовой компоненты продуктов «мокрого» сжигания метаболитов человека до и после глубокой каталитической очистки

2. Подобрать приемлемые температуру и освещенность для выращивания растений салата «Московского парникового» в условиях интенсивной светокультуры.

3. Используя растения салата провести биотестирование газообразных продуктов окисления, возникающих при переработки экзометаболитов человека путем метода мокрого сжигания.

1 Обзор литературы

1.1 Системы жизнеобеспечения

Жизнь в земной биосфере может существовать благодаря замкнутости и цикличности превращений веществ, которые осуществляются всеми членами биомов Земли благодаря энергии Солнца. Следовательно, в природных экосистемах происходит уравнивание потоков вещества. Причем, разные потоки замыкаются друг на друге и образуют замкнутый цикл круговорота веществ. Таким образом экспериментальные модели экосистем должны быть замкнуты по потокам веществ.

Совершенствование систем жизнеобеспечения (СЖО) экипажа космического корабля или межпланетной станции приведет к успешному выполнению перспективных орбитальных и межпланетных полетов. Эти системы жизнеобеспечения включают в себя функционально взаимосвязанные средства и мероприятия, которые создают среду обитания, способную обеспечить поддержание энерго-массообмена членов экипажа с окружающей средой с сохранением здоровья и работоспособности членов экипажа [4].

По замкнутости СЖО можно разделить на незамкнутые, частично замкнутые и замкнутые СЖО.

Первыми попытки покорения космоса были осуществлены при помощи СЖО незамкнутого типа в 40 – 50 - ые года прошлого века, когда в основном проводились запуски пилотируемых аппаратов в стратосферу Земли. СЖО такого типа имели только источник сжатого воздуха и не содержали запасов воды и пищи. Пример - полет в космос по баллистической кривой обезьянки Гордо в головном конусе ракеты «Юпитер» в 1958 года. [5].

Для полетов в космос человека были созданы СЖО частично замкнутого типа. В таких СЖО происходит частичная регенерация воды и кислорода из продуктов переработки отходов экипажа. Продукты питания и вода регулярно поставляются с Земли. Примером этих СЖО являются разработанные комплексы для станций Мир и МКС [6].

Современные СЖО частично замкнутого типа способны работать лишь в течение непродолжительного времени.

Изучение космического пространства нельзя представить без нахождения человека в космосе. Чтобы обеспечить возможность длительного существования человека в условиях космических миссий необходимо поместить его в соответствующую среду на космическом судне или станции.

Для обеспечения этого необходимо создать СЖО замкнутого типа, в основе которой лежит непрерывный материальный и энергетический круговорот между животным и растительным миром.

Замкнутые СЖО основаны на создании замкнутого биологического цикла. Все компоненты такой системы взаимодействуют и восстанавливают друг друга. Отходы жизнедеятельности человека перерабатываются растениями и полученный продукт вновь используется человеком. Ядром подобной системы является фотосинтез. В результате растения поглощают углекислый

газ и выделяют кислород. Эти системы хорошо подходят для создания межпланетных кораблей и станций. [7]. Для обеспечения витаминами экипажа в состав СЖО должна входить оранжерея.

1.2 Виды систем жизнеобеспечения по способу регенерации среды

По способу регенерации среды системы жизнеобеспечения подразделяются на физико-химические, биологические и биотехнические.

В физико-химической системе жизнеобеспечения средообразующим звеном является человек. Очистка и регенерация среды обитания происходит физико-химическими методами (ассимиляция CO_2 , синтез кислорода и воды, переработка отходов системы). [8].

Физико-химические системы не способны создавать пищу, но в таких системах оборот веществ происходит быстрее, чем в биологической СЖО.

Биологическая система жизнеобеспечения (БСЖО) – это искусственно созданная система взаимосвязанных биологических объектов, с расходом веществ и технических средств, которая обеспечивает в ограниченном замкнутом пространстве существование человека автономно благодаря устойчивому биологическому круговороту веществ в среде обитания [9;10]. Биологические методы регенерации среды в плане производства пищи для экипажа незаменимы

Несмотря на многочисленные варианты регенерации среды биологическими методами в замкнутых СЖО, в наши дни не существует ни одной действующей СЖО, основанной на использовании только биологических методов регенерации среды, либо системы с включенными в нее только биологическими методами окисления отходов.

Так же одним из недостатков БСЖО является ее энергозатратность и более большие размеры по сравнению с физико-химическими СЖО.

Несмотря на определенный ряд плюсов и минусов сравнении друг с другом, ни биологическая, ни физико-химическая системы не могут замкнуть круговорот веществ, что отразится на автономности итоговой СЖО.

Этому условию соответствуют системы, которые сочетают в себе биологические и физико-химические методы очистки и регенерации вещества. Такими системами являются интегрированные биолого-технические системы жизнеобеспечения (БТСЖО).

В БТСЖО средообразующая роль принадлежит растительному звену, а физико-химические методы используются для переработки органических отходов жизнедеятельности человека [11].

1.3 Проекты замкнутых биологических систем жизнеобеспечения

Создано несколько проектов замкнутых БТСЖО. Ведущие разработки принадлежат таким странам как Россия, США, Китай и Япония.

Проекты замкнутых БТСЖО необходимы для изучения процессов, протекающих в изолированном, замкнутом пространстве, которое будет

автономным аналогом земной биосферы, где частью этой биосферы является человек. Биос-3", "Биосфера-2" и "Юэгу-1" являются примерами таких проектов советской, американской и китайской сторон соответственно.

Проект замкнутой системы жизнеобеспечения человека с автономным управлением БИОС-3, созданный советскими учеными в Институте Биофизике в городе Красноярске, до настоящего времени является самым успешным проектом.

БИОС-3 был реализован в 1972 году. Объем герметичного помещения составил 315 м³ и состоял из четырех отсеков [12;13].

В течение полугода экипаж из трех человек находился в автономном режиме, выполнял задачу по изучению процессов, протекающих в изолированном, замкнутом пространстве и выращивал растения в оранжерее, обеспечивая себя пищей. БИОС-3 обеспечила полное замыкание системы по воде и газу и наполовину по пище. В ходе проведенных опытов БИОС-3 концентрация СО₂ и кислорода поддерживалась на уровне концентрации этих газов в земной атмосфере .

На состоянии здоровья экипажа пребывание в БИОС-3 в течение опытов не отразилось [14;15].

В БИОС-3 заложена и на практике реализована возможность внутреннего управления всеми процессами самим экипажем испытателей.

В начале 1990-ых, в США был реализован проект, получивший название "Биосфера-2. Эта искусственно-созданная замкнутая СЖО стала первой попыткой моделирования процессов в естественных экосистемах Земли [16].

Биосфера – 2 представляла собой изолированную, герметичную систему уменьшенных биомов Земли, в которую был помещен экипаж из восьми человек на два года [17]. Положительный результат эксперимента позволил бы разработать СЖО для планетарных баз. Но в ходе эксперимента возникло много проблем. Не было просчитано взаимодействие биомов между собой, что привело к низкому уровню кислорода в атмосфере СЖО и высокому уровню углекислого газа. Для этих проблем было необходимо нарушить изоляцию Биосферы -2 от внешней среды.

«Юэгу-1» - первая в Китае закрытая наземная интегрированная экспериментальная система биологического жизнеобеспечения.

«Юэгу-1» состоит из одной комплексной кабины и двух кабин для растений, общая площадь – 160 кв. метров, общий объём – 500 куб. метров. Комплексная кабина включает в себя комнаты для сна, общения и работы, умывания, обработки отходов и насекомых. В каждой кабине для растений имеется по две комнаты, предусмотрена изоляция растений в случае необходимости. «Юэгу-1» схож с «микробиосферой» Земли, при помощи этой системы можно осуществить цель по длительному нахождению человека в космическом пространстве». Ещё один интересный момент: 15% белковой диеты экипажа составляли черви, растения 30-40% общей диеты, вода и воздух были замкнуты на 99%. Проект китайской установки «Юэгу-1» продолжает идеи проекта БИОС-3 с учетом современных технологий.

Примером БТСЖО следующего этапа, где в систему помимо высших растений, человека и блока переработки отходов вовлечены представители животного мира (для обеспечения животной пищи), является проект ученых Японии СЕЕФ (Closed Ecology Experiment Facilities). Прогрессивность этого проекта заключается в том, что была разработана технология, где каждый элемент, необходимый системе, производится внутри системы, вследствие чего была повышена автономность БТСЖО. Но эксперименты были кратковременными по следующим причинам:

- возникла проблема с увеличением отходов жизнедеятельности животных, вследствие чего потребовались другие методы физико-химические методы переработки отходов;
- участие человека в эксперименте на длительный срок было запрещено, для того чтобы избежать причинения вреда здоровью.

В настоящее время российские ученые ведут исследования для создания проекта БТСЖО следующего поколения БИОС-4 с большей степенью замкнутости

1.4 Методы очистки газовой среды

Первые физико-химическими СЖО выполняли следующие основные задачи:

- очистка атмосферы космического корабля от CO_2 ;
- регенерация кислорода;
- регенерация воды.

Одним из первых методов очистки от углекислого газа атмосферы корабля было пропускание воздуха через раствор щелочей или надперекиси щелочных металлов. В случае с надперекисью щелочных металлов одновременно происходила регенерация кислорода. Одним из минусов такого метода невозможность восстановления запасов поглотителя в течение полета. В дальнейшем были разработаны твердые поглотители углекислоты на основе твердых амидов и цеолитов, который обеспечивал лучший контакт с газовой средой и был более удобен в эксплуатации в условиях невесомости [18].

В настоящее время разработан российский метод очистки воздуха от CO_2 с помощью гранулярного твердого адсорбента ПРИЦ-М на основе гидрата циркония, который способен восстанавливаться под действием перегретого водяного пара (до температур от $120\text{ }^\circ\text{C}$ и выше). С помощью такого адсорбента можно выделить углекислый газ с чистотой не менее 98 % [19].

Российскими учеными был разработан метод регенерации кислорода путем электролиза урины без предварительного выпаривания воды из нее. Данная технология основывается на электролизе мочи в щелочном электролите (водный раствор KOH), при этом происходит выделение кислорода, хлора, водорода, а также аммиака при разложении карбамида до NH_3 и CO_2 , кроме того, выпадают в осадок некоторые соли. Преимуществом данной системы является низкое энергопотребление и техническая простота (отсутствует узел предварительной дистилляции), однако при этом требуются адсорбенты

аммиака, хлора и водорода. Водород, выделяющийся в этом процессе, может быть направлен в систему утилизации CO_2 [20].

Образующиеся газы требуют дальнейшей переработки, а именно - необходима фиксация углекислого газа (чтобы избежать неконтролируемого попадания в атмосферу станции), доокисление низших оксидов азота и поглощение их. Доокисление проводится на платиновом катализаторе при высоких температурах, а затем полученные окислы азота абсорбируются смесью KMnO_4 и щелочного активированного угля.

Один из методов переработки отходов органического состава – это метод «мокрого» сжигания в перекиси водорода под действием переменного электрического тока.

Этот метод является относительно простым, компактным в исполнении, не оказывает на окружающую среду негативных воздействий, и достаточно эффективным. К одному из важнейших преимуществ метода относится то, что азот сохраняется в формах, легкодоступных для дальнейшей переработки и вовлечения этого вещества в круговоротные процессы [21].

2 Материалы и методы

2.1 Метод мокрого сжигания

В условиях замкнутой БТСЖО в области решения проблем восстановления среды обитания человека перспективным методом является метод «мокрого» сжигания в среде перекиси водорода под действием переменного тока, разработанный в лаборатории управления биоситезом фототрофов Института биофизики Сибирского отделения Российской академии наук.

Метод не предполагает использование громоздкого оборудования (схема реактора представлена на рисунке 1), процесс проходит в течение короткого промежутка времени при небольших значениях температуры и давления.

Измельченные твердые и жидкие отходы смешивают с определенным количеством перекиси водорода, помещают в реактор и подвергают действию переменного электрического потенциала через помещенные в реактор угольные электроды.

Расход перекиси водорода определяется из соотношений, что на окисление:

- 1 г сухой соломы, клетчатки, лигнина расходуется 16 – 18 мл 33 %-ной H_2O_2 ;
- 1 г плотных отходов человека - 4 мл 33 %-ной H_2O_2 ;
- 1 мл урины - 0,5 мл 33 %-ной H_2O_2 [22].

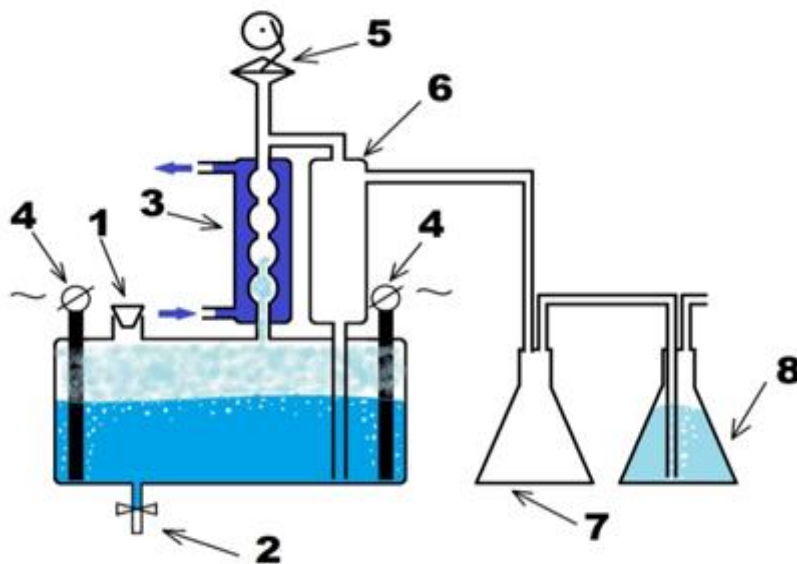


Рисунок 1 –Схема реактора «мокрого» сжигания

- 1 – отверстие для загрузки отходов; 2 - сливной клапан; 3 - водный холодильник; 4- угольные электроды; 5-пеногаситель; 6 - пеносборник; 7 - буферная емкость для предотвращения смешивания кислоты и отходов; 8 - емкость с кислотой для фиксации аммиака.

Переменный электрический ток активизирует реакцию выделения атомарного кислорода (и других его активных форм) из перекиси водорода и происходит окисление органических отходов. Температура реакции - 95-98 °С.

Время минерализации и величина используемого напряжения зависят от объема и состава органических отходов. Например, процесс окисления экзометаболитов человека проходит примерно за 2 часа, при этом происходит практически полное разложение твердого органического вещества, но мочевина окисляется слабо и при этом сохраняется около 80 % от ее исходного количества [11].

Возможны два способа возврата продуктов утилизации отходов жизнедеятельности человека в круговорот веществ:

- использование минерального раствора, образованного в результате работы реактора мокрого сжигания для полива растений;

- запуск выделяемого газа при переработке в вегетационную камеру для вовлечения газа в массообмен растений.

2.2 Система глубокой очистки газов

Рассмотрен состав микропримесей летучих органических соединений, выделяемых различными звеньями системы, и эффективность их каталитической очистки газовой среды. Было установлено, что наиболее активным источником данных примесей является реактор «мокрого» сжигания органических отходов. В составе выделяющегося из него газа были обнаружены спирты, альдегиды и летучие углеводороды C₂-C₆, при этом наибольшее их выделение наблюдалось при переработке экзометаболитов человека [11]. Состав газа, который образуется в ходе работы реактора мокрого сжигания, представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав газа, выделяющегося из лабораторного реактора при минерализации экзометаболитов человека

Состав газа	Содержание
CO ₂	3,6 %
O ₂	65,6 ± 1 %
H ₂	27,5 ± 1 %
NH ₃	3,2 %
CH ₄	0,12 %
Углеводороды C ₂ - C ₆	<100 ppm
Спирты, альдегиды	<100 ppm
S-содержащие соединения	0
Объем газа	72 ± 2 л

Газ из реактора «мокрого» сжигания требует дальнейшей переработки. Данные соединения могут быть практически полностью окислены на платиновом катализаторе, разогретом с помощью индукционной печи до

температуры 950-1050 °С. Среди летучих неорганических соединений в газе из реактора «мокрого» сжигания были обнаружены H_2 , CO_2 , O_2 и NH_3 , которые легко вовлекаются во внутрисистемный массообмен [23].

Таким образом, использование платинового катализатора позволит каталитической установке выполнять ряд функций в структуре ЭМЗЭ: полное окисление летучих органических соединений, окисление аммиака и стерилизация воздуха. Данная установка может также независимо работать как со звеном высших растений - стерилизация и каталитическая очистка воздуха, так и со звеном физико-химической утилизации отходов - очистка газа, выделяющегося из реактора "мокрого" сжигания.

Принципиальное устройство каталитической камеры, наполненной платиновым катализатором показано на рисунке 2.

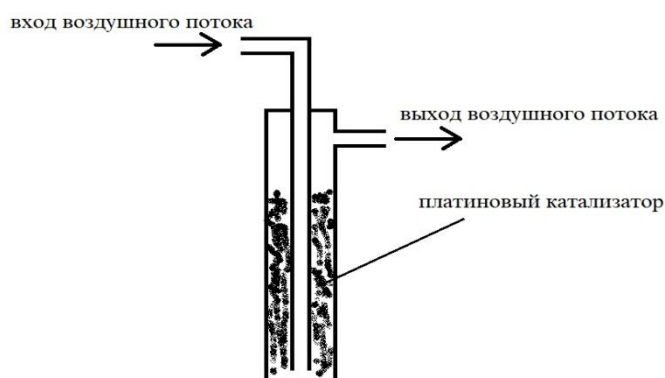


Рисунок 2 - Схема каталитической камеры

Данная камера устанавливается в спираль индукционной печи и нагревается до необходимой температуры. Воздух накаляется при прохождении через платиновый катализатор, в результате чего происходит каталитическое окисление содержащихся в нем органических примесей.

Для предотвращения электрического замыкания индукционной спирали и корпуса каталитической камеры, последняя закрывается сверху термостойким керамическим кожухом.

Для определения оптимальных условий пропускания воздуха через платиновый катализатор было рассмотрено два варианта формы катализатора - платиновая чернь и платиновая стружка (рисунок 3).

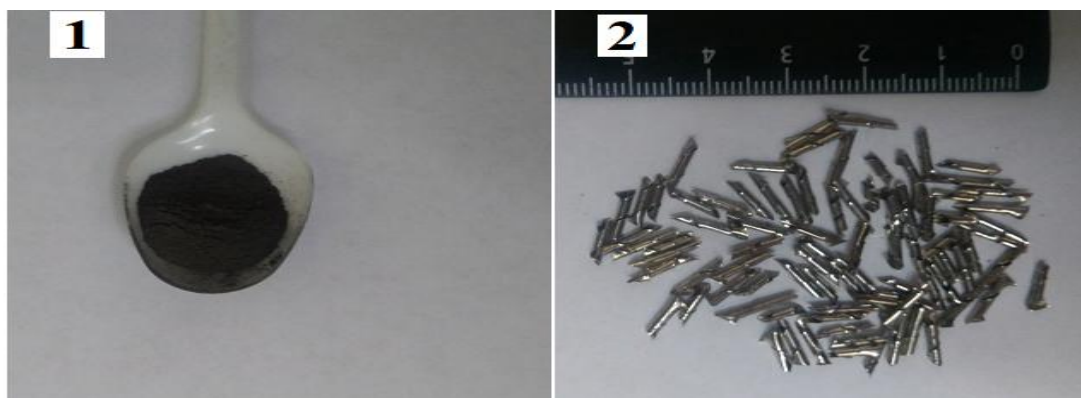


Рисунок 3 - Внешний вид платинового катализатора

В результате выполненных работ была сконструирована каталитическая камера из нержавеющей стали с рабочим объемом 13,6 мл. Испытания показали, что платиновая чернь имеет слишком большую насыпную плотность. Также при больших интенсивностях протока газа наблюдается выдувание мелкодисперсной пыли платиновой черни из каталитической камеры, что приведет к потере катализатора. Было принято решение использовать платиновую стружку в качестве наполнителя каталитической камеры. Общая масса платиновой стружки для данной камеры - 21,1 г, скорость протока газа - 0,5 л/мин, что обеспечивает время контакта 1,6 с [24].

Для охлаждения исходящего из каталитической камеры воздуха и индукционной печи выбран принцип водного охлаждения с единым замкнутым водным контуром, в котором змеевик охлаждения исходящего газа находился в баке с водой, из которого по замкнутому контуру водным насосом прокачивается вода через контур охлаждения индукционной печи - индукционную спираль. Вся система глубокой очистки газа смонтирована на одной металлической раме с полиуретановыми колесами, что позволяет использовать ее независимо от внешнего водообеспечения и состыковать с газовым контуром ЭМЗЭ в любой точке.

Апробацию работы вновь созданной каталитической камеры проводили в замкнутом газовом контуре, подключенном к реактору "мокрого" сжигания, так как газ, выделяющийся из реактора, содержит в себе органические примеси (метан, этилен, летучие спирты легких фракций).

В газовые пути к газовому контуру реактора "мокрого" сжигания для подключения системы глубокой каталитической очистки газообразных выделений встроен газгольдер, который используют хранения выделившегося из реактора газа, для предотвращения детонации газа в газгольдере в случае образования вспышки в каталитической камере - водный замок и воздушный насос - для циклического прогона воздушной смеси из газгольдера через каталитическую камеру по замкнутому воздушному контуру (рисунок 4) [24].

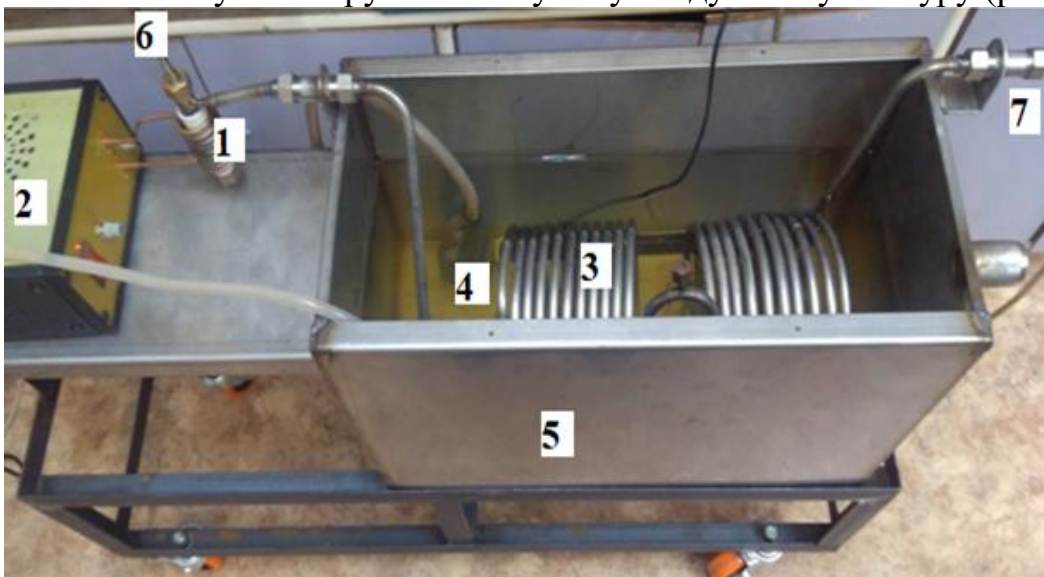


Рисунок 4 - Система глубокой очистки газов. 1 – каталитическая камера; 2 - индукционная печь; 3 - змеевик охлаждения; 4 - водный насос; 5 - бак с водой; 6 - вход газового пути; 7 - выход газового пути

Такой способ организации газового контура позволяет осуществлять глубокую каталитическую очистку газа из реактора "мокрого" сжигания необходимое время независимо от реактора и после окончания его работы.

Водород и углеводороды, проходящие через трубку с катализатором, окисляются до воды кислородом, содержащимся в газе, выделяемом реактором.

Таким образом, снижается объем газа, выделяемого с 1 л раствора, благодаря чему давление газа в системе уменьшается.

Газ очищается от углеводородов, что снижает токсическое воздействие на растения.

Для того, чтобы провести оценку эффективности метода переработки газа, который выделяющегося из реакторов, проводился анализ в двух вариантах:

- 1) анализировали газ, который не подвергался переработке;
- 2) анализ газа, переработанного данным методом, то есть пропускали газ через сосуд фиксации аммиака и платиновый катализатор.

При сжигании органических отходов весь объем газа собирался в полиэтиленовый газгольдер объемом ~1250л для получения однородной газовой смеси. Далее, из газгольдера газ забирался в прорезиненные мешки для проведения анализа состава на газовом хроматографе [11].

2.3 Оценка газового состава

Отбор пробы производили с использованием пробоотборника из герметичной подушки. Скорость забора газов составляла 100 мл/мин. Весь газ продували через концентрационный патрон с Tennaks, предварительно продутый гелием при температуре до 200 °С в течение 1 часа.

Наличие органических соединений определялось хромато-масс-спектрометрическим методом на хроматографе Agilent Technologies 7890 GC System с квадрупольным масс-спектрометром 5975 С в качестве детектора. В испаритель хроматографа вводили 1 мкл этанольного раствора [30]. Условия хроматографирования: температура испарителя составляла 280° С, температура источников ионов 173 ° С, газ носитель- гелий 1мл/мин. Температура колонки: 50 °С (2 минуты), программируемый нагрев от 50 до 270 °С (со скоростью 4 °С в минуту), изотермический режим в течение 10 минут.

Идентификацию компонентов проводили по полным масс-спектрам получаемых веществ с масс-спектрами из базы данных NIST -08. Количественный анализ компонентов проводили по предварительной калибровке по основному компоненту по площадям пиков в аналитической лаборатории ИБФ СО РАН.

Контроль накопления окислов азота (NO, NO₂) в вегетационной камере проводили с помощью анализатора TELEDYNE T200, подсоединяя напрямую с камерой. Хемилюминесцентный газоанализатор оксидов азота NO/NO₂/NO_x оснащен современной электроникой и с высокой точностью определяет концентрации окислов азота, в диапазоне 0 ÷ 50 ppb.

2.4 Тест объект - высшие растения

Высшие растения являются источником углеводов, растительных белков, жиров, минеральных веществ и витаминов для экипажа при выполнении длительных космических миссий. Кроме этого они выполняют ряд важных функций, таких как синтез кислорода, что очень важно для жизнедеятельности экипажа, регенерацию воды и ассимиляцию CO_2 , сдерживают развитие микрофлоры, то есть выполняет несколько задач в нормальном режиме функционирования БТСЖО.

В настоящее время является важным изучить вопрос, как влияют физико-химических методов регенерации среды замкнутой БТСЖО на высшие растения. Главное требование к данным методам заключается в том, что они не должны препятствовать получению максимального урожая, его качеству и безопасности для человека.

Как уже было сказано ранее, физико-химическим методам в первую очередь отводится роль утилизации и переработки органических отходов. Как правило, эксперименты, связанные с разработкой данных методов и их тестированию, протекают параллельно с экспериментами по выращиванию растений на получаемых продуктах минерализации.

В процессе работы проведены эксперименты, в которой растения выращивали в герметичной камере с подобранным приемлемым режимом.

В качестве растений выбран салат, как один из кандидатов космической оранжереи с хорошо выраженной реакцией на неблагоприятные факторы.

В таблице 2 представлена схема, по которой планировалось провести эксперименты.

Таблица 2- Схема планируемых экспериментов

КЕРАМЗИТ	ППС
1. КОНТРОЛЬ (питательная среда – раствор Кнопа, атмосфера вегетационной камеры – воздух + CO_2);	1. КОНТРОЛЬ (атмосфера вегетационной камеры – воздух и CO_2 из баллона);
2. ОПЫТ 1 (питательная среда –раствор Кнопа, атмосфера вегетационной камеры – воздух+ CO_2 + каталитическая очистка (Pt));	2. ОПЫТ 1 (атмосфера вегетационной камеры – воздух, CO_2 +Pt);
3. ОПЫТ 2 (питательная среда –раствор Кнопа, атмосфера камеры – воздух + газ из реактора мокрого сжигания + CO_2)	3. ОПЫТ 2 (атмосфера вегетационной камеры - газ из реактора мокрого сжигания + CO_2)
4. ОПЫТ 3 (питательная среда –раствор Кнопа, атмосфера вегетационной камеры – воздух + газ из реактора мокрого сжигания + CO_2 + каталитическая очистка (Pt))	4. ОПЫТ 3 (атмосфера вегетационной камеры - газ из реактора мокрого сжигания + CO_2 + каталитическая очистка (Pt)).

2.5 Методы

В ходе проведения экспериментов использованы следующие методы и методики:

- каталитический метод очистки газов на платиновом катализаторе;
- методика по сбалансированию минеральных элементов в окисленных органических отходах для выращивания растений фототрофного звена применительно к замкнутым экосистемам;
- методика выбора световых режимов культивирования растений фототрофного звена при использовании минерализованных органических отходов для искусственных экосистем [25];
- метод глубокого окисления газов на платиновом катализаторе.

2.6 Приборы

В данной работе были использованы следующие приборы:

- Газоанализатор по контролю CO_2 : LI-820, LI-COR. с рабочим диапазоном $0 \div 20000$ ppm. В основе анализа - метод недисперсионной инфракрасной спектроскопии. Для записи данных на персональный компьютер и возможностью подключения к локальной сети сбора данных газоанализатор имеет собственное программное обеспечение.

- Анализатор окислов азота (NO , NO_2)-TELEDYNE T200. Хемилюминесцентный газоанализатор оксидов азота $\text{NO}/\text{NO}_2/\text{NO}_x$.

- Лиофильная сушка ЛС-500. Применяется для получения сушки растений и его корней.

- Установка глубокой очистки воздуха, в состав которой входит платиновый катализатор.

- рН метр testo-206 для измерения рН раствора КНОП и воды после полива ППС.

- Реактор «мокрого» сжигания для переработки отходов путем окисления перекисью водорода под действием переменного электрического тока.

- Лабораторная мельница для перемалывания сухих образцов.

2.7 Методика выращивания растений

Оценка возможного негативного влияния переработанного газа на фототрофное звено проводилась на основе среднестатистических сухих масс растений салата, выращенных при различных условиях воссоздания атмосферы в камере, в сравнении с контролем.

Проведена серия экспериментов, в которой растения выращивались в герметичной вегетационной камере. Путем неоднократной подачи газа из реактора «мокрого» сжигания в камеру выявлялось токсическое воздействие возможных примесей летучих соединений на выращиваемые растения.

В качестве высших растений был выбран салат, как один из кандидатов в космическую оранжерею и с хорошо выраженной реакцией на неблагоприятные факторы для регистрации токсического воздействия газа.

Для выращивания салата в качестве субстрата использован керамзит и почвоподобный субстрат (ППС).

Выращивание проводилось методом агрегатопоники [7].

Использование в качестве субстрата керамзита позволяет полнее раскрыться биологическому потенциалу растений, так же упрощается борьба с болезнями и вредителями. В крупных порах субстрата содержится воздух, что благоприятно влияет на водно-воздушный режим проращивания растений [26].

Выращивание салата проводилось на зрелом почвоподобном субстрате (ППС), приготовленном из соломы пшеницы.

Почвоподобный субстрат получают в результате переработки несъедобной части растений при помощи грибов, бактерий и червей. В дальнейшем измельченные растительные отходы добавляются в уже приготовленный ППС без переработки [27; 28].

Для изучения влияния газа, выделявшегося из реактора «мокрого» сжигания, на выращенный салат, газ подавался в ходе эксперимента в вегетационную камеру.

При выращивании салата на керамзите полив осуществлялся автоматически каждые 4 часа путем подтапливания, для того чтобы избежать пересыхания корней растений.

Растворы минеральных питательных веществ состоят из растворенных солей. Они непосредственно усваиваются растениями. При выращивании салата на керамзите для питания был использован раствор КНОПА, в состав которого на 1л раствора входят: 0,25г - нитрата калия, 0,25г – сульфата магния, 1г – нитрата кальция, 0,25г калия фосфорнокислого однозамещенного, 0,37г Трилона Б, 1 мл микроэлементов, 1 мл раствора цитрата железа.

При выращивании салата на почвоподобном субстрате полив осуществлялся несменяемой водяной вытяжкой из ППС автоматически путем подтопления раз в сутки.

При выполнении работы использована методика выбора световых режимов культивирования растений фототрофного звена при использовании минерализованных органических отходов для искусственных экосистем [25].

В ходе проведения серии экспериментов проводилось выращивание салата под разными источниками освещения. Первоначально применялись в качестве источника света газоразрядные лампы ДРИ-2000, с интенсивностью освещенности 105 ± 15 Вт/м². В последующей серии экспериментов произошла замена на светодиодные лампы с интенсивностью освещенности 60 ± 10 Вт/м² компании ООО «ЛЕД-Энергосервис» «Оптоган», дающие излучение в видимой области спектра, воспринимаемое глазом как белый свет.

На рисунке № 5 представлена схема устройства вегетационных камер.

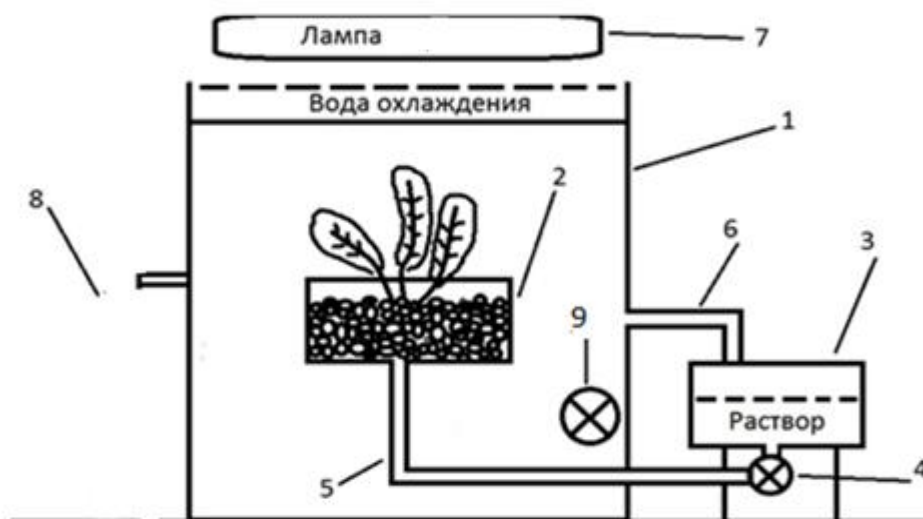


Рисунок 5 - Схема устройства вегетационных камер: 1 – вегетационная камера; 2 – ящики с растениями; 3 – бак с питательным раствором; 4 – насос; 5 – шланг подачи питательного раствора; 6 – шланг выравнивания давления; 7 – лампа освещения; 8 – шлаг для подачи газовой смеси; 9 – вентилятор.



Рисунок 6 - Общий вид герметичной вегетационной камеры

После посадки семян салата «Московский парниковый» в количестве 90 штук на ящик, ящики с керамзитом либо с почвоподобным субстратом выставлялись в открытую камеру, в которой устанавливались требуемый режим круглосуточного освещения лампой сначала ДРИ-2000, в последствии светодиодной лампой и температура = 25°C. Увлажнение керамзита и ППС на данном этапе проводилось водой [11]. На седьмые сутки с момента посадки, растения прорезивались, оставляя по 6 растений в ящике, и переводились на постоянный полив для поступления питательных веществ (керамзит – раствор КНОПА, ППС - водяная несменяемая вытяжка из ППС). Камеры

герметизировались и находились в герметичном состоянии до конца вегетации, температура поддерживалась 22°C.

Объем раствора экзометаболитов человека, необходимого при проведении эксперимента в ОПЫТАХ 2 и 3 для выращивания биомассы 12 растений салата, рассчитывался после выполнения успешных экспериментов КОНТРОЛЯ.

Рассматривались два биогенных элемента - калий и азот, так как азота в среде достаточно, лимитирующим является расчет по калию.

Для образования необходимого объема газа требовалась переработать 1250 мл раствора экзометаболитов человека.

Во всех вариантах уровень CO₂ поддерживали на уровне 1000-3000 ppm, при необходимости, подавая его из баллона.

В эксперименте КОНТРОЛЬ использовали атмосферный воздух и CO₂. В ОПЫТЕ 1 — атмосферный воздух, постоянно окисляемый системой глубокого окисления, и CO₂ (для выявления возможного негативного влияния продуктов окисления атмосферного воздуха на растения). В ОПЫТЕ 2 - атмосферный воздух, CO₂ и газ из реактора (для выявления негативного влияния газа из реактора на растения). Газ подавался порционно ($V_{\text{газа}} = 250$ мл) из реактора мокрого сжигания суммарным объемом 1250 мл. В ОПЫТЕ 3 - атмосферный воздух, CO₂ и газ из реактора, постоянно окисляемые системой глубокого окисления (для выявления возможного негативного влияния продуктов окисления на растения).

Динамика концентрации газов в вегетационной камере контролировалась с помощью газоанализаторов.

На 24 день после герметизации проводился сбор урожая, взвешивание целого растения, листьев салата и его корней. После этого растения фиксировались, проводилась денатурация ферментов. В последующем салат упаковывался и сушился в сушилке ЛС-500.

После сушки растения взвешивались, перемалывались и передавались на анализ минерального состава в аналитическую лабораторию ИБФ СО РАН. Почвоподобный субстрат после использования взвешивался в мокром и сухом виде и перемолотый также передавался на анализ минерального состава.

Минеральный состав ППС, который брался для выращивания салата, представлен в таблице №3.

Таблица 3 - Минеральный состав ППС

Концентрация элементов, %						
Ca	Fe	K	Mg	Na	P	S
8,34	0,53	0,97	0,78	0,13	0,53	0,76

2.8 Определение минерального состава

Анализ минерального состава биомассы растений, полученных в ходе проведения экспериментов, и образцов ППС проводился аналитической лабораторией ИБФ СО РАН.

Образцы растений и ППС высушивались при температуре 70°C в течение семи суток с помощью сушилки ЛС-500, затем тщательно перемалывались лабораторной мельницей и передавались на анализ в аналитическую лабораторию.

Анализ минерального состава был выполнен на атомно-эмиссионном спектрометре (ICP) с индуктивно связанной плазмой «iCAP6300-Duo»). В спектрометре используется оптическая схема Эшелле и полупроводниковый CID-детектор. Растворы проб перистальтическим насосом направляются в распылитель, чтобы получить аэрозоль. Большие капли удаляются в распылительной камере, а маленькие капли направляются в плазменный разряд. Растворитель с поверхности капель аэрозоля испаряется. Оставшийся образец разлагается на атомы и ионы, которые возбуждаются и излучают характеристический свет, который измеряется для определения концентрации элемента в исходном образце.

Контроль спектрометра обеспечивается с применением компьютера и программного обеспечения iTEVA.

В образцах спектрометр одновременно определяет содержание следующих элементов :Li, Be, B, Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Mo, As, Se, Sr, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ba, Tl, Pb, Bi, Hg.

В данной работе для оценки качества минерального питания растений, во взятых образцах растительной биомассы и ППС, рассматривались следующие биогенные макроэлементы: Ca, Fe, K, Mg, Na, P и S.

3 Результаты и обсуждения

3.1 Состав газа

При проведении эксперимента - выращивания салата «Московский парниковый» на почвоподобном субстрате в ОПЫТЕ 2 и ОПЫТЕ 3 под светодиодными лампами, происходила подача газа из реактора мокрого сжигания (в котором проходило окисление раствора экзометаболитов человека перекисью водорода).

В состав газа, который выделяется из реактора мокрого сжигания, входит молекулярный водород в большом количестве, аммиак (в небольшом количестве), летучие углеводороды (следовые концентрации). Газ в таком составе не может быть выпущен в систему, так как вследствие накопления концентрации летучих углеводородов увеличится и негативно повлияет на жизнедеятельность человека и растений. Аммиак так же оказывает токсическое воздействие на дыхательную систему человека.

Кроме того водород, летучие углеводороды и аммиак относятся к взрывоопасным веществам и могут создать взрывоопасную атмосферу в системе СЖО [11].

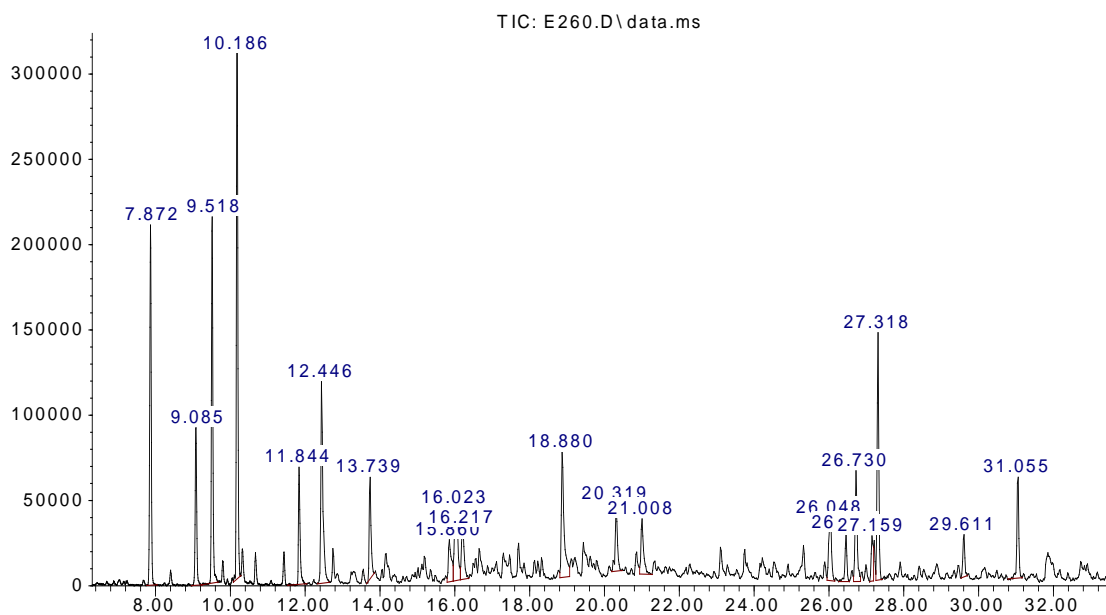
Образования молекулярного азота в процессе минерализации достоверно зарегистрировать не удалось, то есть не требуется перевода азота из молекулярной формы в форму, доступную для растений. Данный факт является существенным преимуществом метода минерализации органических отходов в среде перекиси водорода под действием переменного электрического поля [11].

После того как газ был пропускается через 6 %-ный раствор азотной кислоты и происходит окисление на платиновом катализаторе, углеводороды и водород, содержащиеся в газе, окисляются кислородом до CO_2 и H_2O , а фиксация аммиак происходит в азотной кислоте, содержание токсических веществ существенно снижаются.

Высокое содержание образовавшегося в газе CO_2 не является проблемой, так как планируется подача газа в звено высших растений, где путем фотосинтеза произойдет ассимиляция CO_2 и воздух обогатится кислородом.

На хроматограмме до очистки газа (рисунок 7) наблюдаются пики различных летучих органических соединений (спирты, альдегиды, фенолы, летучие жирные кислоты) [11].

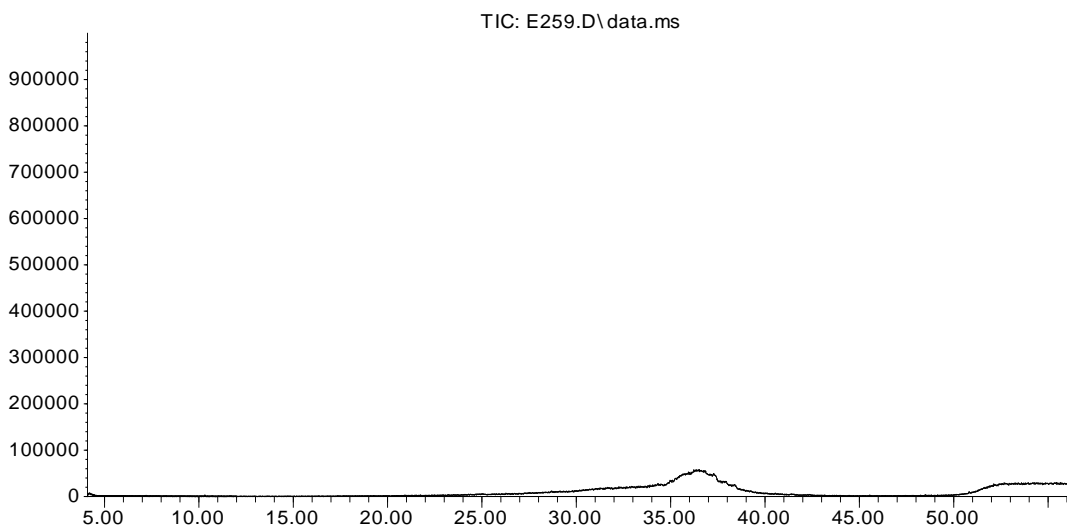
Abundance



Time-->

Рисунок 7 - Хроматографическое разделение жидких компонентов, сконцентрированных на теннаксе (7 литров газовой смеси пропущено через концентрационный патрон). 0,84 мг/л до очистки

Abundance



Time-->

Рисунок 8 - Хроматограмма после очистки

Из представленных хроматограмм следует, что очистка газовой среды на платиновом катализаторе от летучих органических соединений прошла успешно, так как на рисунке 8 пики органики отсутствуют.

Из проведенных ранее исследований («Глубокая физико-химическая очистка газовой среды в искусственных экосистемах» ...) платиновый катализатор очищает на 100% выделяющийся из реактора мокрого сжигания газ от углеводородов $C_2 \div C_6$, альдегидов, спиртов, но оставляет следовые количества водорода (до 1%) [29].

Мониторинг образования и накопления окислов азота в вегетационной камере в результате переработки образовавшегося из реактора мокрого

сжигания газа в установке глубокой очистке на платиновом катализаторе проводился в течении нескольких дней с помощью газоанализатора TELEDYNE T200. По результатам установлена, что скорость образования $u_{NO}=2$ ppb/сут, образования $u_{NO_2} \approx 0$ ppb/сут. В таких концентрациях окислы азота не представляют опасности для человека (ПДК_{мр}=10ppm), но могут оказать влияние на растения, которое необходимо изучить.

3.2 Средние массы и фото салата «Московский парниковый»

Средние значение массы салата «Московский парниковый», выращенного на керамзите и ППС, полученные в результате эксперимента Контроль под газоразрядными лампами, представлены в таблице №4.

Таблица 4 - Усредненные значения масс салата «Московский парниковый», полученные в результате эксперимента КОНТРОЛЬ под газоразрядными лампами (керамзит и ППС)

Эксперимент	Масса растений, г					
	Сырая биомасса			Сухая биомасса		
	Целое растение	Листья	Корни	Целое растение	Листья	Корни
Керамзит	19,44±3,16	17,56±2,81	1,75±0,36	1,29±0,27	1,15±0,27	0,14±0,03
ППС	29,74±12,78	24,34±10,54	3,31±1,24	2,47±1,02	2,20±0,96	0,28±0,12

Средние значение массы салата «Московский парниковый», экспериментов КОНТРОЛЬ, ОПЫТ 1, ОПЫТ 2, ОПЫТ 3, выращенных на ППС, и серии экспериментов КОНТРОЛЬ, выращенного на керамзите, под светодиодными лампами представлены таблице 5.

Таблица 5 - Усредненные значения масс салата «Московский парниковый», полученные в результате эксперимента под светодиодными лампами

Эксперимент	Масса растений, г							
	Сырая биомасса			Сухая биомасса			Образец ППС	
	Целое растение	Листья	Корни	Целое растение	Листья	Корни	Сырой	Сухой
ППС (КОНТРОЛЬ)	12,22±3,17	10,89±2,65	0,97±0,29	0,87±0,21	0,80±0,21	0,07±0,02	76,44	27,14
ППС+реактор (ОПЫТ 2)	7,43±2,62	6,74±2,39	0,67±0,23	0,52±0,19	0,48±0,17	0,04±0,02	38,78	12,05
ППС+катализатор (ОПЫТ 1)	16,47±2,81	15,30±2,65	1,05±0,25	1,09±0,22	1,02±0,20	0,07±0,02	19,70	6,22
ППС+катализатор + реактор (ОПЫТ 3)	15,24±2,2	13,50±1,90	1,69±0,36	1,48±0,26	1,23±0,19	0,26±0,07	28,42	10,25
Керамзит (КОНТРОЛЬ)	19,03±2,67	17,80±2,51	1,23±0,20	1,23±0,17	1,13±0,16	0,10±0,02	0	0

Данные усредненных сухих масс салата «Московский парниковый» показывают, что при подаче газа из реактора мокрого сжигания, не очищенного с помощью установки глубокой очистки воздуха, происходит угнетение растения ($m_{\text{контроль}} = 0,87 \pm 0,21 \text{ г}$) > ($m_{\text{газ реактор}} = 0,52 \pm 0,19 \text{ г}$).

При подключении установки глубокой очистки газов наблюдается тенденция набора биомассы растений (предположительно из-за следовых количеств, оставшихся после очистки с помощью установки, окислов азота).

Фото салата «Московский парниковый» экспериментов КОНТРОЛЯ, выращенных на керамзите и ППС под газоразрядными лампами ДРИ-2000, представлены на рисунках №9-№10.

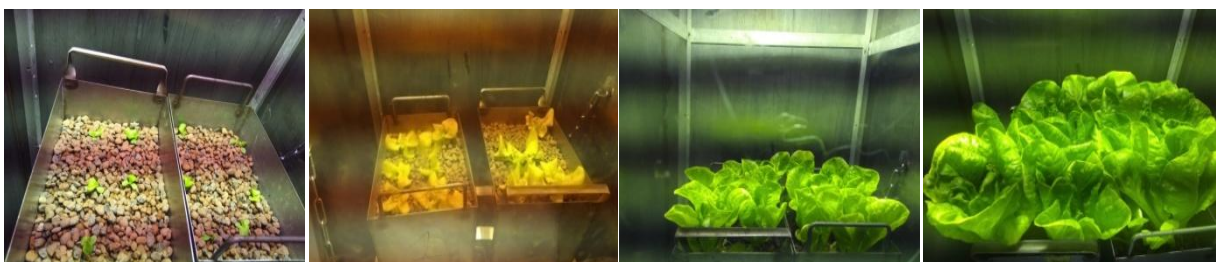


Рисунок 9 - Фото салата «Московский парниковый», выращенного на керамзите под газоразрядными лампами (серия экспериментов КОНТРОЛЬ)

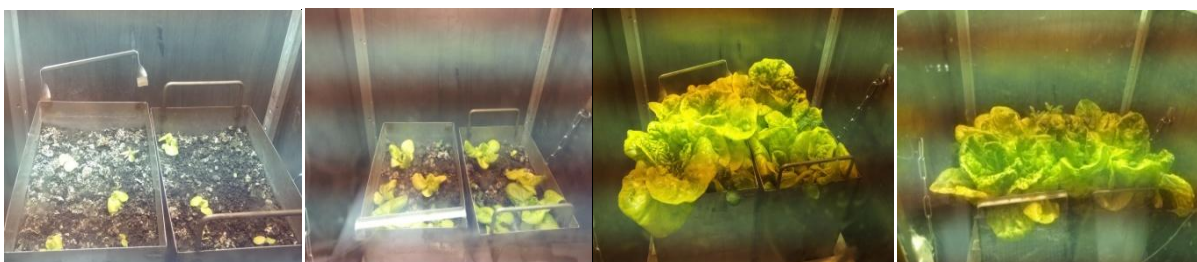


Рисунок 10 - Фото салата «Московский парниковый» выращенного на ППС под газоразрядными лампами (серия экспериментов КОНТРОЛЬ)

Фото салата «Московский парниковый» экспериментов КОНТРОЛЬ, ОПЫТ 1, ОПЫТ 2, ОПЫТ 3, выращенных на ППС, и серии экспериментов КОНТРОЛЯ, выращенного на керамзите, под светодиодными лампами представлены на рисунках №11-№15.



Рисунок 11 - Фото салата «Московский парниковый», выращенного на ППС под светодиодными лампами (серия экспериментов КОНТРОЛЬ)

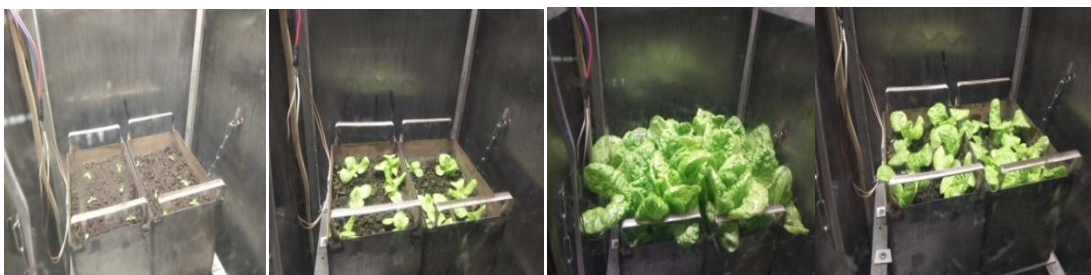


Рисунок 12 - Фото салата «Московский парниковый», выращенного на ППС под светодиодными лампами (серия экспериментов ОПЫТ 1)

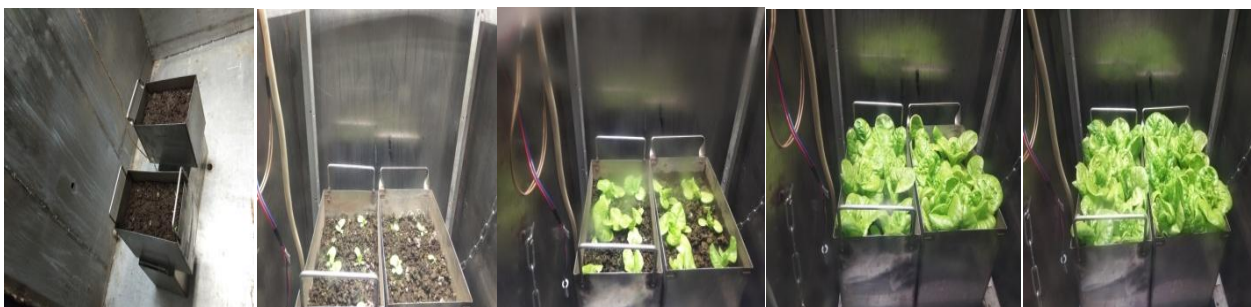


Рисунок 13 - Фото салата «Московский парниковый», выращенного на ППС под светодиодными лампами (серия экспериментов ОПЫТ 2)

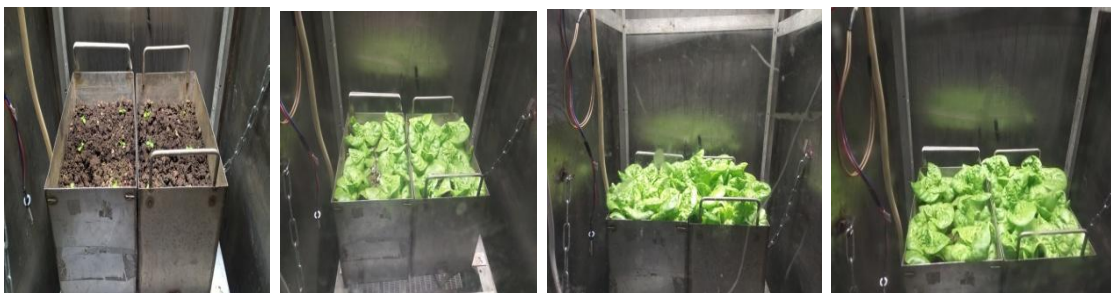


Рисунок 14 - Фото салата «Московский парниковый», выращенного на ППС под светодиодными лампами (серия экспериментов ОПЫТ 3)

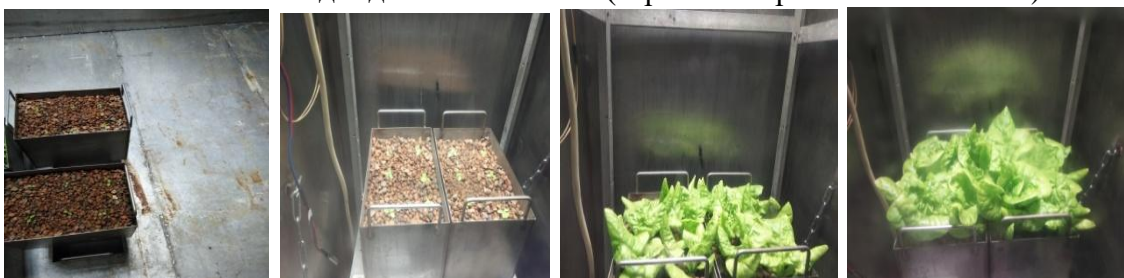


Рисунок 15 - Фото салата «Московский парниковый», выращенного на керамзите под светодиодными лампами (серия экспериментов КОНТРОЛЬ)

Анализируя изменение пигментации растения салата (фото на рисунках №11-14), выращенного на ППС под светодиодными лампами при разных условиях (КОНТРОЛЬ, ОПЫТ 1, ОПЫТ 2, ОПЫТ 3), можно сделать вывод о том, что визуально изменение пигментации не наблюдалось.

3.3 Газообмен

В ходе проведения серии экспериментов контролировались значения концентраций CO_2 с помощью газоанализатора Li COR

Экспериментальные данные и скорости образования CO_2 эксперимента КОНТРОЛЬ (керамзит), выращенного под газоразрядными лампами, представлены на рисунке №16.

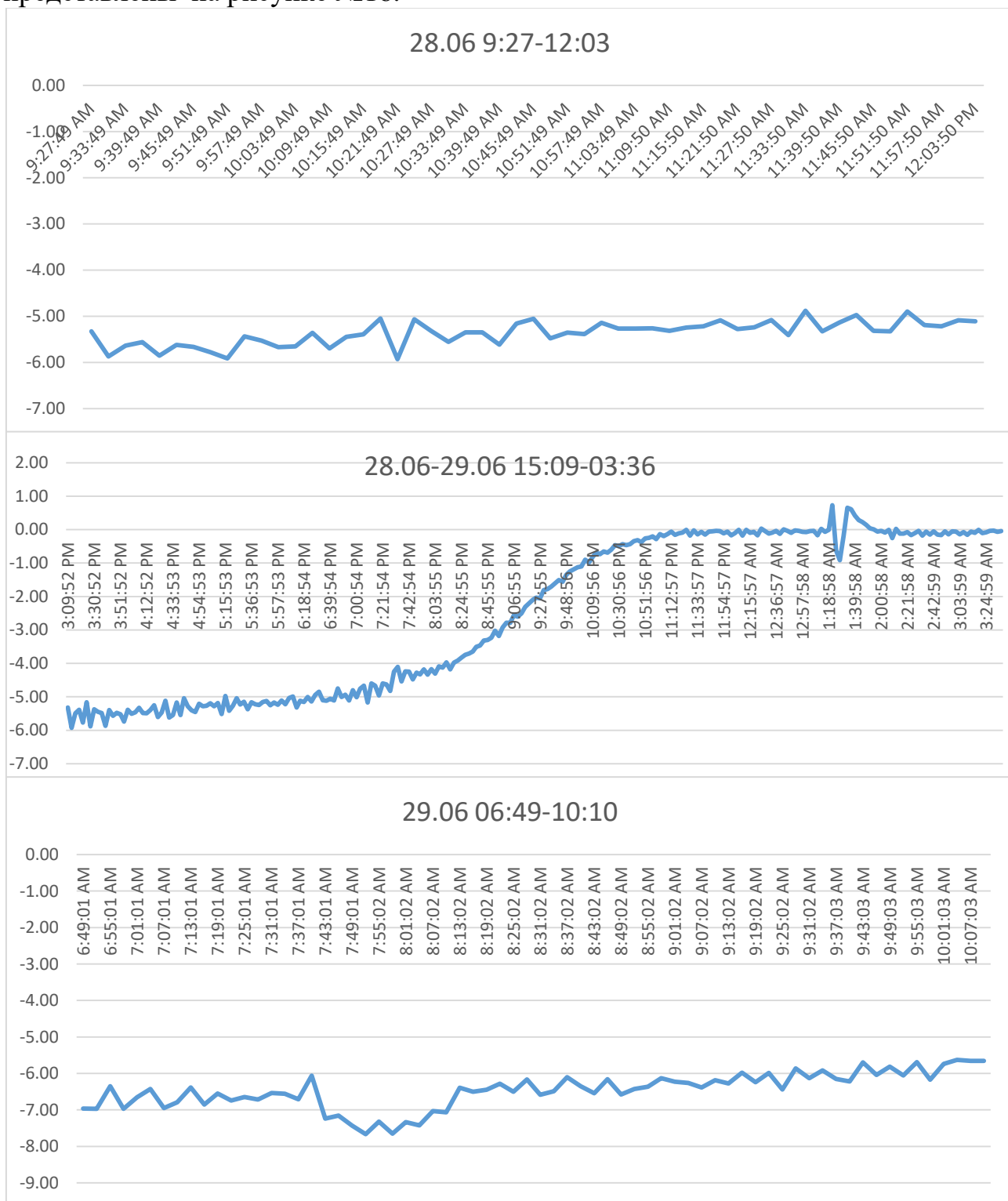


Рисунок 16 - Графики скорости образования CO_2 КОНТРОЛЬ (керамзит), выращенного под газоразрядными лампами

На рисунке 17 представлен график скорости ассимиляции CO_2 КОНТРОЛЬ (керамзит), выращенного под газоразрядными лампами.

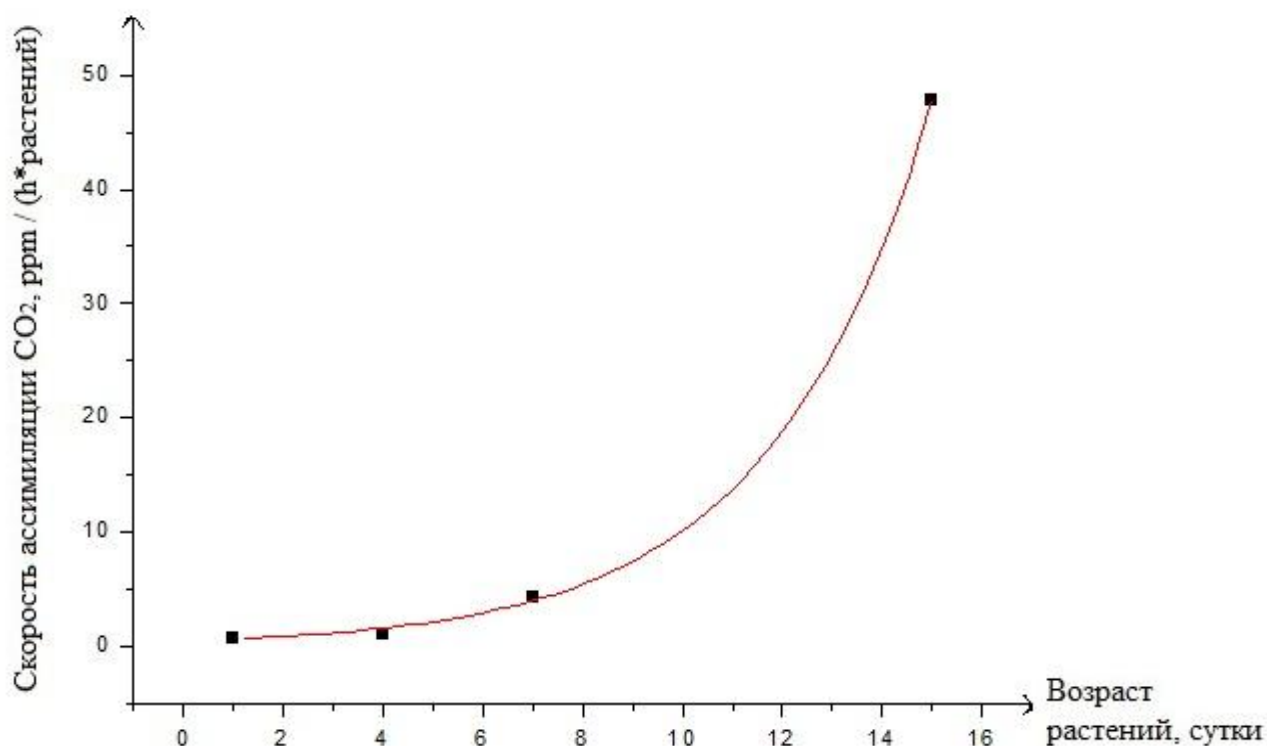


Рисунок 17 – График скорости ассимиляции CO_2 в зависимости от возраста салата КОНТРОЛЬ (керамзит)

В таблице №6 представлены измеренные концентрации CO_2 и скорость образования CO_2 эксперимента КОНТРОЛЬ (ППС) и дыхания растений и ППС эксперимента КОНТРОЛЬ (ППС), и выращенного под газоразрядными лампами.

Таблица 6 - Измеренные концентрации CO_2 и скорость образования CO_2 эксперимента КОНТРОЛЬ (ППС) и дыхания растений и ППС, выращенного под газоразрядными лампами

Дата	V, ppm/h	Примечание
29.03.2019	-20,1136	
	21	дыхание растений на свету
	36	дыхание ППС
21.05.2019	-29,3333	дыхание растений на свету
	37,6667	дыхание растений в темноте
	86,3889	дыхание ППС

Динамика скорости ассимиляции CO_2 одним растением экспериментов ОПЫТ 1, ОПЫТ 2, ОПЫТ 3, выращенных на ППС, и КОНТРОЛЬ, выращенных

на керамзите, под светодиодными лампами, представлены на рисунках №18-№21.

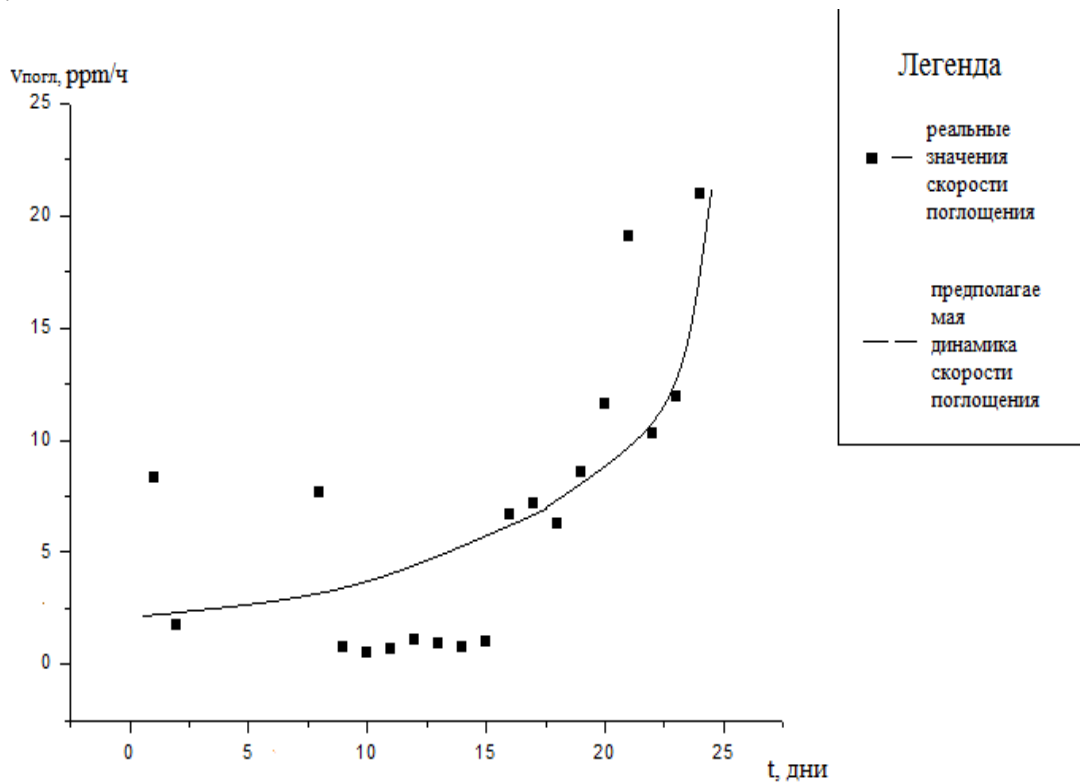


Рисунок 18 – График скорости ассимиляции CO₂ в зависимости от возраста салата эксперимента ОПЫТ 1 (ППС), выращенного под светодиодными лампами

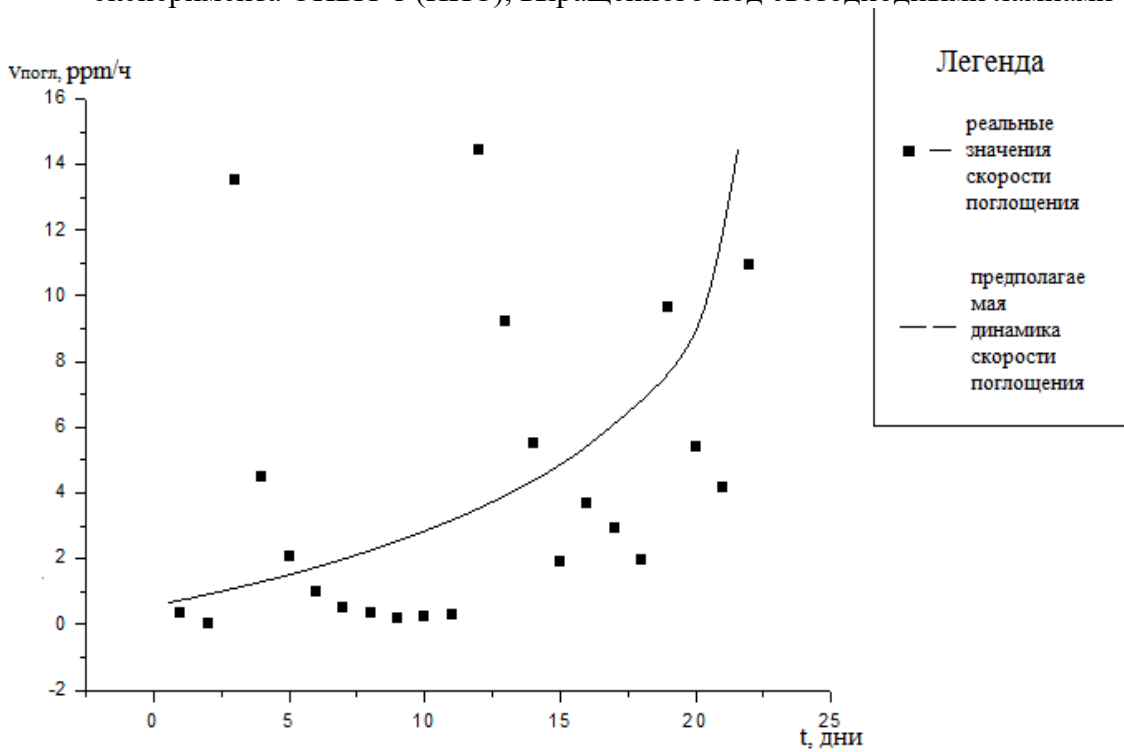


Рисунок 19 – График скорости ассимиляции CO₂ в зависимости от возраста салата эксперимента ОПЫТ 2 (ППС), выращенного под светодиодными лампами

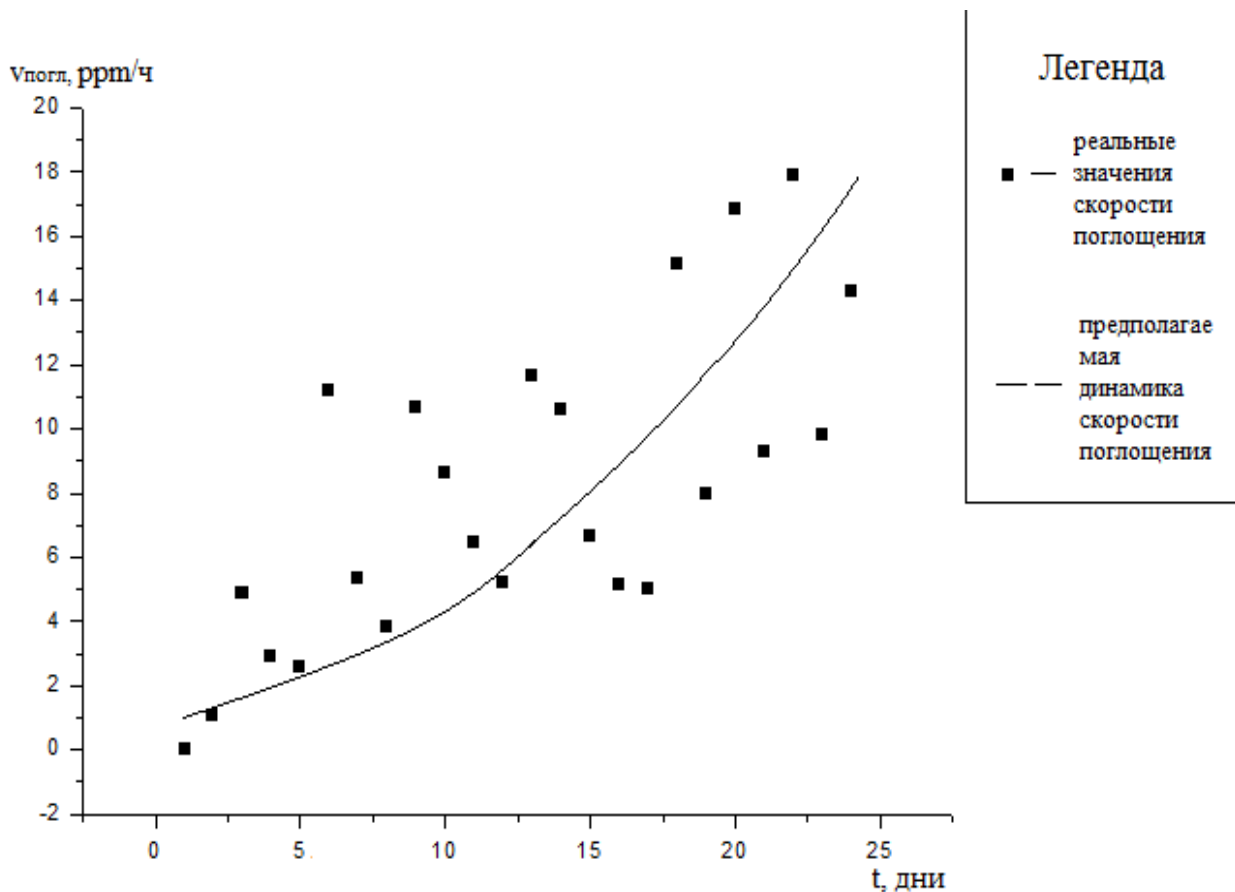


Рисунок 20 – График скорости ассимиляции CO₂ в зависимости от возраста салата эксперимента ОПЫТ 3 (ППС), выращенного под светодиодными лампами

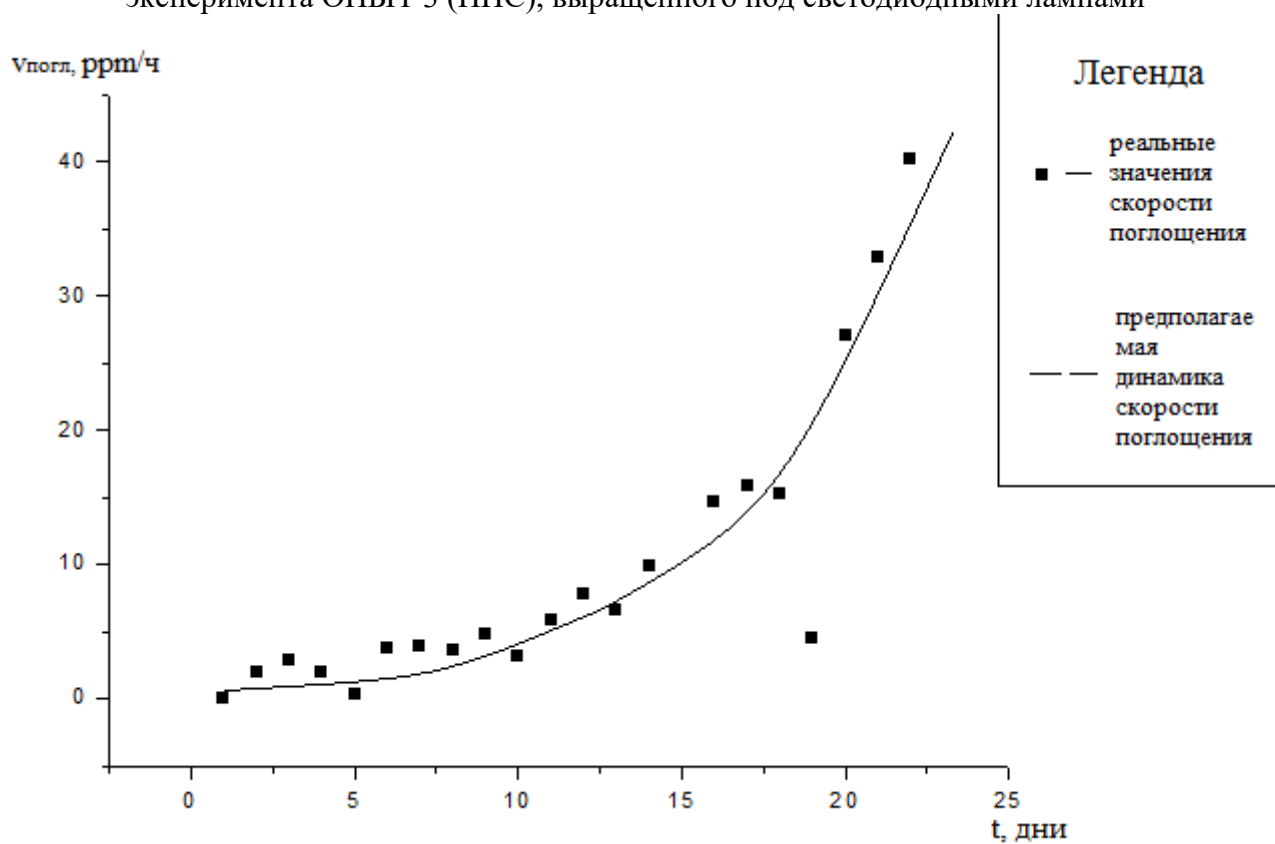


Рисунок 21 – График скорости ассимиляции CO₂ в зависимости от возраста салата эксперимента КОНТРОЛЬ (керамзит), выращенного под светодиодными лампами

Предыдущие эксперименты показали, что салат «Московский парниковый» требует следующий режим выращивания после герметизации вегетационной камеры:

- поддержание температуры воздуха равной 22 °С в течение всего вегетационного периода растений;
- освещение светодиодных ламп с интенсивностью освещенности 60±10 Вт/м² компании ООО «ЛЕД-Энергосервис» «Оптоган», дающие излучение в видимой области спектра, воспринимаемое глазом как белый свет;
- поддержание концентрации CO₂ в диапазоне 1000 – 3000 ppm в течение всего вегетационного периода растений;
- выдерживать режим полива 1 раз в течение 4 часов на протяжении всего вегетационного периода растений минеральным раствором КНОПА для субстрата - керамзит и один раз в сутки несменяемой водяной вытяжкой из ППС на субстрате – ППС;
- время вегетации в герметизированной камере - 24 дня, срок снятия урожая был определен статистически на основе времени начала цветения.

3.4 Минеральный и биохимический состав

Для выявления нарушений в содержании минеральных макроэлементов был проведен анализ на минеральный состав растений, ППС и питательного раствора.

Определен минеральный состав салата «Московский парниковый» эксперимента КОНТРОЛЬ, выращенного на керамзите (таблица № 7, рисунок № 22) под газоразрядными лампами.

Таблица 7 - Минеральный состав салата эксперимента КОНТРОЛЬ, выращенного на керамзите

Части салата	Концентрация элемента, мг/кг								
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S
Молотые корни салата	1125,6	30828	2168,6	30170	3830,4	299,18	3803,8	18305	3384,5
Молотые листья салата	15,89	14252	424,41	58219	4873,4	81,06	550,41	7728	3035,9

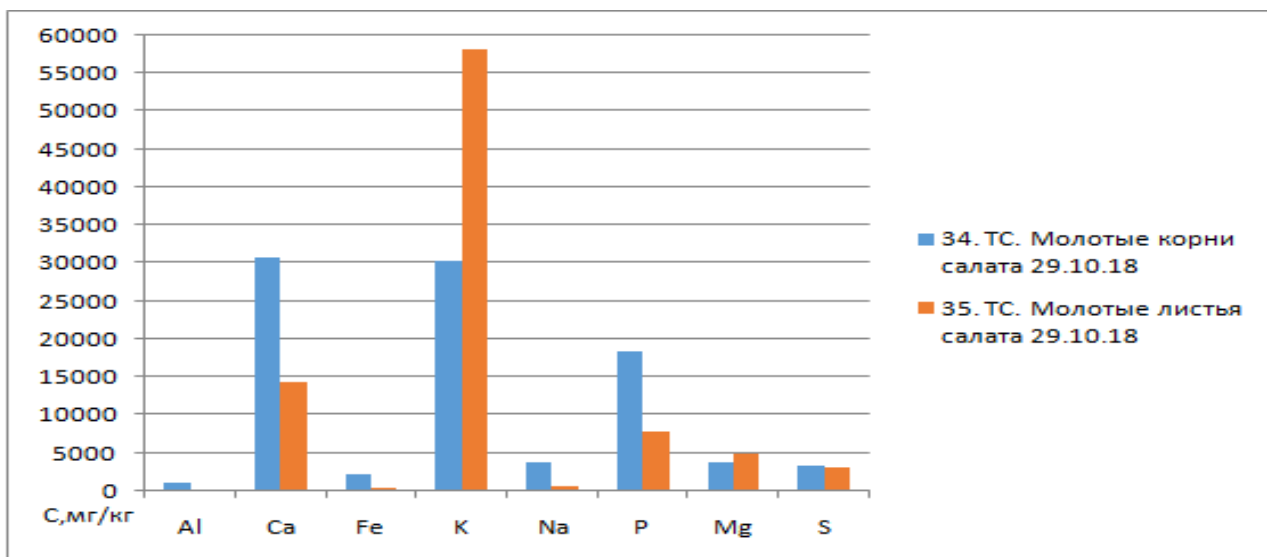


Рисунок 22 - Диаграмма минеральный состав салата эксперимента КОНТРОЛЬ, выращенного на керамзите под газоразрядными лампами

Минеральный состав ППС и салата, выращенного на ППС эксперимента КОНТРОЛЬ, ОПЫТ 1, ОПЫТ 2, ОПЫТ 3 и выращенного на керамзите эксперимента КОНТРОЛЬ под светодиодными лампами, представлен в таблице № 8 и рисунках №23-№25.

Таблица 8 - Минеральный состав ППС и салата, выращенного на ППС под светодиодными лампами

Расшифровка пробы	Концентрация элементов, %						
	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	S
Листья салата (контроль)	0,974	0,012	5,757	0,380	0,229	0,366	0,265
Листья салата катал. очистка (ОПЫТ 1)	1,565	0,017	8,064	0,559	0,312	0,486	0,356
Листья салата (ППС+газ, ОПЫТ 2)	0,991	0,040	4,674	0,333	0,183	0,307	0,225
Листья салата (газ+катал) (ОПЫТ 3)	0,925	0,032	5,179	0,271	0,202	0,249	0,287
Листья салата (керамзит+СО2, контроль)	1,144	0,097	7,133	0,388	0,076	0,640	0,266
Корни салата (контроль)	0,977	0,044	3,035	0,304	0,179	0,282	0,448
Корни салата катал. очистка (ОПЫТ 1)	0,960	0,040	9,674	0,429	0,417	0,466	0,954
Корни салата (ППС+газ, ОПЫТ 2)	0,844	0,145	1,941	0,217	0,119	0,187	0,387
Корни салата (газ+катал, ОПЫТ 3)	3,439	0,258	3,099	0,409	0,159	0,291	0,67
Корни салата (керамзит+СО2, контроль)	2,237	0,240	4,458	0,253	0,230	1,308	0,315

Расшифровка пробы	Концентрация элементов, %						
	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	S
ППС (после контроля)	8,204	0,581	0,885	0,759	0,119	0,519	0,897
ППС (катал. очистки ОПЫТ 1)	7,616	0,567	0,853	0,705	0,127	0,483	0,665
ППС (ППС+газ, ОПЫТ 2)	1,814	1,620	0,220	0,170	0,026	0,128	0,235
ППС (газ+катал, ОПЫТ 3)	0,448	0,039	0,050	0,042	0,007	0,030	0,048

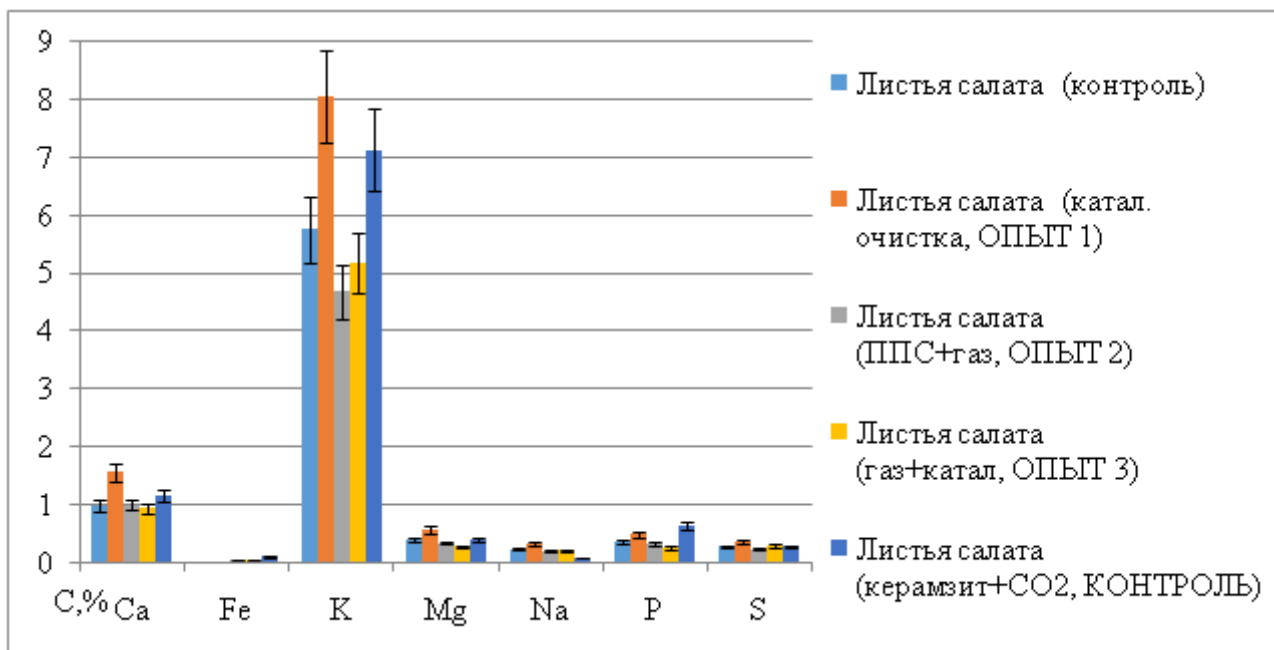


Рисунок 23 - Диаграмма минерального состава листьев салата, выращенного на ППС под светодиодными лампами

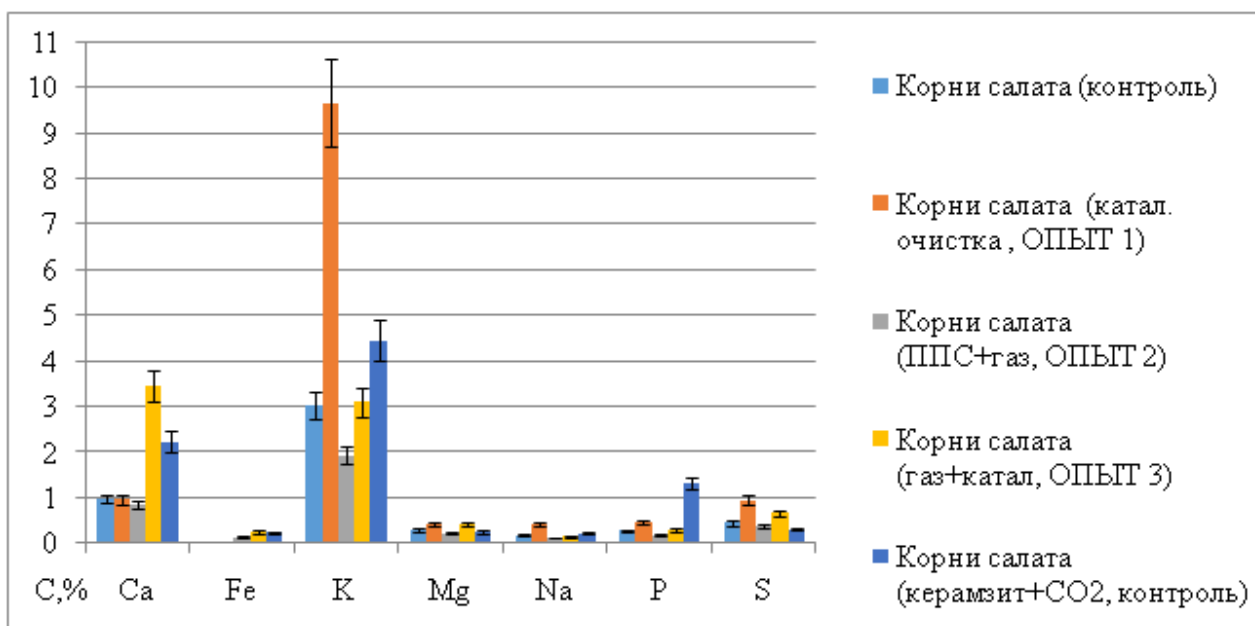


Рисунок 24 - Диаграмма минерального состава корней салата, выращенного на ППС под светодиодными лампами

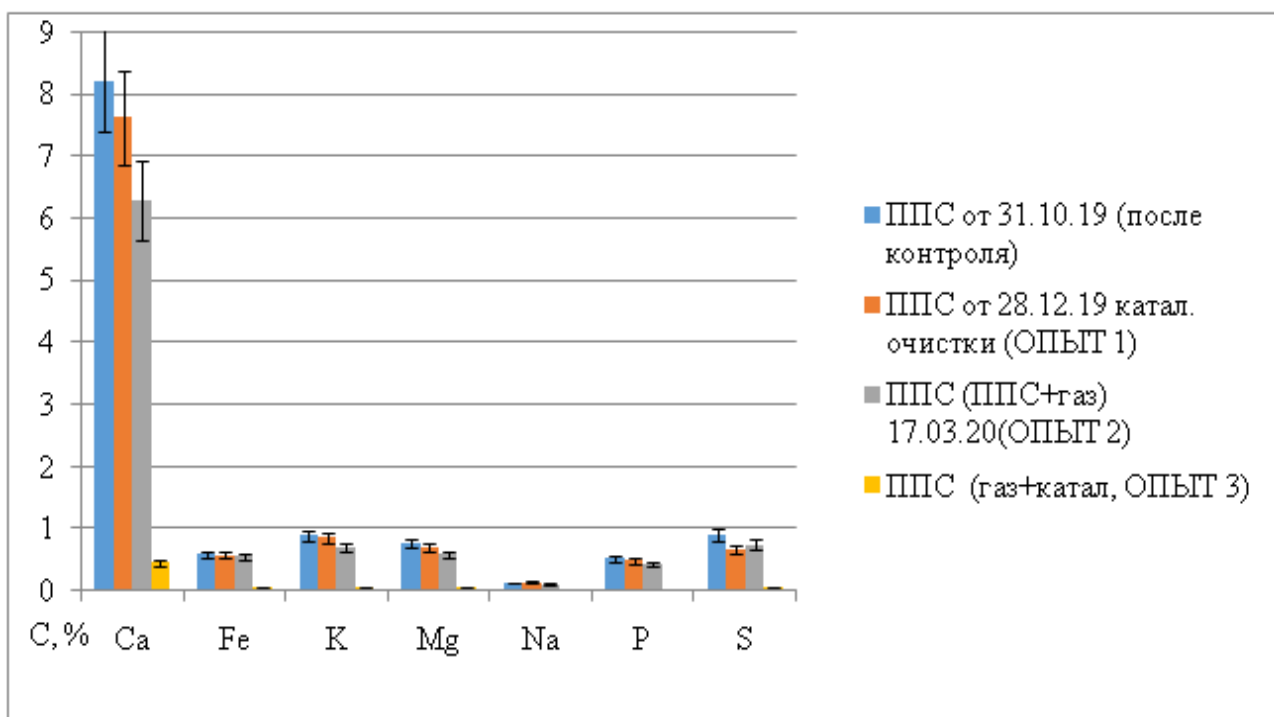


Рисунок 25 - Диаграмма минерального состава ППС, под светодиодными лампами

Исследован минеральный состав питательного раствора КНОП (таблица №9, рисунок №26)

Таблица 9 - Минеральный состав раствора КНОП

	С, мг/мл								
Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Sr	Zn
164,9	0,991	149	29,88	0,377	13,62	34,86	39,59	0,204	0,29

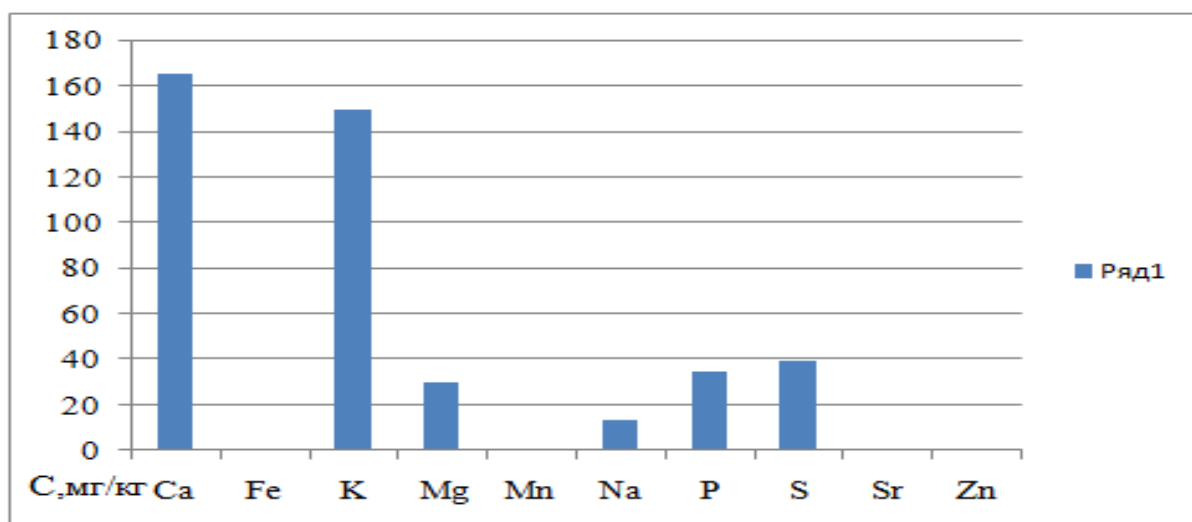


Рисунок 26 - Минеральный состав раствора КНОП

Опираясь на данные минерального состава растений, ППС и питательного раствора, можно заключить, что различий в минеральном составе листьев салата достоверно не различались.

Салат является источником углеводов, поэтому был проанализирован биохимический состав растений и ППС.

Биохимический состав ППС и салата, выращенного на ППС эксперимента КОНТРОЛЬ, ОПЫТ 1, ОПЫТ 2, ОПЫТ 3 и выращенного на керамзите эксперимента КОНТРОЛЬ под светодиодными лампами, представлен в таблице № 10.

Таблица 10 - Биохимический состав ППС и салата, выращенного на ППС под светодиодными лампами

Подробная расшифровка пробы	Общий азот, %	Углеводы, %
Листья салата КОНТРОЛЬ	4,51±0,45	19,5±2,0
Листья салата (катал. очистка, ОПЫТ 1)	4,77±0,48	16,5±1,7
Листья салата (ППС+ГАЗ,ОПЫТ 2)	5,28±0,53	14,5±1,5
Листья салата (газ+катал, ОПЫТ 3)	5,13±0,51	20,5±2,1
Листья салата (керамзит+СО ₂ ,КОНТРОЛЬ)	5,85±0,59	16,0±1,6
Корни салата (ППС+ГАЗ,ОПЫТ 2)	4,91±0,49	-
Корни салата (газ+катал,, ОПЫТ 3)	3,56±0,36	12,5±1,3
Корни салата (керамзит+СО ₂ , КОНТРОЛЬ)	4,52±0,45	-
ППС после КОНТРОЛЯ	2,99±0,30	-
ППС после катал. очистки, ОПЫТ 1	2,79±0,28	-
ППС после ОПЫТА 2, (ППС+ГАЗ)	1,23±0,12	-

Установлено, что самое низкое содержание углеводов (на 25 % ниже контрольного показателя) так же соответствует варианту Опыт 2.

Из данных минерального и биохимического анализов растений, ППС и питательного раствора, можно заключить следующее:

1. Биохимический состав и минеральное питание растений салата, не нарушены при очистки газов с помощью установки глубокой очистки.
2. Без применения установки глубокой очистки газов наблюдается тенденция к нарушению биохимического состава растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установка глубокой очистки газов удаляет летучие органические соединения из состава атмосферы вегетационной камеры, оставляет следы окислов азота.

2. Биохимический состав и минеральное питание растений не нарушено при очистке газов с помощью установки глубокой очистки.

3. Происходит угнетение растений при подаче газа из реактора мокрого сжигания, не очищенного с помощью установки глубокой очистки воздуха: снижаются сухая масса растения и содержание углеводов.

Полученные результаты в ходе проведенных экспериментов по выращиванию салата на ППС под светодиодными лампами подтверждают гипотезу о негативном влиянии образовавшегося газа из реактора мокрого сжигания и положительном характере влияния установки глубокой очистки воздуха на растения салата.

В дальнейшем необходимо провести экспериментальное подтверждение для растений салата, выращенного на керамзите под светодиодными лампами.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СЖО - система жизнеобеспечения

БТСЖО -биолого-техническая система жизнеобеспечения

ИБФ СО РАН - Институт биофизики Сибирского Отделения Российской Академии Наук.

БСЖО – биологическая система жизнеобеспечения

ЭМЗЭ - экспериментальная модель замкнутой экосистемы

ППС - почвоподобный субстрат

МКС - международная космическая станция

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Система обеспечения экипажей длительных межпланетных экспедиций. / С.Ю. Романов, А.Г. Железняков, А.А. Телегин, П.О. Андрейчик // М: Наука, Известия Российской академии наук, 2007. С.57-74.
2. Перспективы использования новых технологий для создания экспериментальной модели высокозамкнутой системы жизнеобеспечения. / А.А. Тихомиров, С.А. Ушакова, С.В.Трифонов, Ю. А. Куденко, Е.А. Морозов // Наука и образование: проблемы и перспективы развития, 2014. С. 126-131
3. Принцип организации физико-химического контроля состава атмосферы в условиях замкнутой экосистемы. / С.В. Трифонов, А.А. Тихомиров, С.А. Ушакова // Красноярск: Наука, Федеральный исследовательский центр «КНЦ СО РАН», 2018. С.68-73.
4. ГОСТ 28040-89 Комплекс систем обеспечения жизнедеятельности космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Термины и определения.- Введение 30.06.1990. – Москва: Стандартинформ, 1990. - 24с.
5. Шарп, М. Р. Человек в космосе: - Москва: Издательство Мир, 1971.- 180 с.
6. Выбор комплекса жизнеобеспечения для экипажей долговременных космических станций. / А.С. Гузенберг, А.Г. Железняков, С.Ю. Романов, А.А. Телегин, А.В. Юргин// Королев: Космическая техника и технология, № 1(8)/2015, г. ,2015 г, С.67-80.
7. Замкнутая система: человек - высшие растения / под ред. Лисовского Г.М. – Новосибирск: Наука, 1979. – 160 с.
- 8.Гузенберг А.С. Регенерация и кондиционирование воздуха. Космическая биология и медицина./ Под общ. ред. О.Г.Газенко, А.И.Григорьева и А.Е.Никогосяна, С.Р.Молера.// М.: Наука, 1994. Т.2, С.253).
9. Гришин Ю. И. Искусственные космические экосистемы. – М.: Знание, 1989. – 64 с.
10. Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я. Биологические системы жизнеобеспечения (замкнутые экологические системы). /Под редакцией академика О.Г. Газенко.//- М.: "Синтез", 1994, 277с.
11. Трифонов, С. В. Минерализация органических отходов в среде перекиси водорода для повышения замкнутости биолого-технических систем жизнеобеспечения тема : дис. канд. биолог. наук: 03.01.02 / Трифонов Сергей Викторович. Красноярск, 2012. - 135 с.
12. Окладников Ю.Н., Власова Н.В., Касаева Г.Е., Родионов В.Н. Звено "человек" в эксперименте (медикофизиологические исследования) // Замкнутая система: человек – высшие растения / Отв. ред. Г.М. Лисовский. Новосибирск: Наука, 1979. С. 82-99..
13. Терсков И.А.. Гительзон И.И., Ковров Б.Г и др. Замкнутая система: человек - высшие растения. Новосибирск. "Наука". 1979.
14. Гительзон И.И., Ковров Б.Г, Лисовский Г.М. и др. Экспериментальные экологические системы, включающие человека. //Проблемы космической биологии. М. "Наука". Т. 28. 1975.

15. Гительзон И.И., Терсков И.А., Ковров Б.Г, и др. Проблемы создания биолого-технических систем жизнеобеспечения. /Материалы 1X Всесоюзного совещания по вопросу круговорота веществ в замкнутой системе на основе жизнедеятельности низших организмов.// Киев: 1976. С.26-31
16. Alling A., Nelson M., Silverstone S. Life under glass. The inside story of Biosphere 2. 1993. The Biosphere Press. USA. 256 p.
17. Nelson M., Dempster W. Alvares-Romo N., MacCallum T. Atmosphere dynamics and bioregenerative technologies in a solid-based ecological life support system: Initial results from Biosphere 2. Adv. Space Res. Vol. 14 (11). 1994. pp. 417-426.
18. Космонавтика. Энциклопедия. / главный редактор Глушко В.П. – М.: Советская энциклопедия, 1985. – 528 с
- 19.. Simanenkov S.I. Investigation of technology of air purification from carbon dioxide and its concentrating with a help of the absorbent regenerated by the water vapour / S.I. Simanenkov, V.N. Shubina, V.V. Donskih, [et al.] // 17th IAA Humans in Space Symposium, 2009. P. 120.
- 20.Proshkin V.Ju. Urine electrolysis on-board manned space stations: development prospects and research directions / V.Ju. Proshkin, E.A. Kurmazenko, A.A. Kochenkov, [et al.] // 17th IAA Humans in Space Symposium, 2009. P. 103.
- 21.Салтыков М.Ю., Морозов Е.А., Трифонов С.В., Мурыгин А.В., Тихомиров А.А. Компьютерная автоматизация установки «мокро сжигания» органических отходов для замкнутых экосистем./ Вестник Сибирского аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева// Красноярск: 2016. том: 17, № 2, С. 438-443.
- 22.Куденко Ю.А. Оптимизация процесса физико-химического окисления экзометаболитов для использования в ЗСЖО / Ю.А. Куденко, А.А. Тихомиров, С.В. Трифонов // Материалы научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков «НКСФ - XXXVIII (2009)». – Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2009. – С. 178 – 182.
23. Трифонов С.В., Тихомиров А.А., Ушакова С.А. Принцип организации физико-химического контроля состава атмосферы в условиях замкнутой экосистемы, Федеральный исследовательский центр «КНЦ СО РАН. Красноярск: Наука , 2018, С.68-73.
24. Тихомиров А.А. Исследование методических и технологических подходов для глубокой очистки газообразных выделений, накапливающихся в атмосфере ЭМЗЭ, Красноярск, отчет ИБФ СО РАН.
25. Экспериментальная модель замкнутой системы жизнеобеспечения человека. / А.А. Тихомиров, С.А. Ушакова, С.В. Трифонов, Ю.А. Куденко, В.В. Величко // М: Наука Пилотируемые полеты в космос, 2015. С. 41-43.
- 26.Тихомиров А.А. Светокультура растений / А.А. Тихомиров, В.П. Шарупич, Г.М. Лисовский// Новосибирск: СО РАН, 2000. – 202 с.
27. Тихомиров А. А. и др. Оценка почвоподобного субстрата как источника минеральных элементов для выращивания растений применительно к системам жизнеобеспечения //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – №. 9.

28. Wenting H. A technique for preparing soil-like substrate for bioregenerative life support system / H. Wenting, X. Yidong, L. Hong // 17th IAA Humans in Space Symposium, 2009. P. 53

29. Глубокая физико-химическая очистка газовой среды в искусственных экосистемах./ С. В. Трифонов, В. В. Величко, Н. А. Тихомирова, В. Н. Шихов, Е. А. Морозов, А. А. Тихомиров // Красноярск : Наука о жизни , 2020. том 492, С. 246–250.

30. Ефремов Е.А., Ефремов А.А. Компонентный состав эфирного масла лапки пихты сибирской Красноярского края./ Химия растительного сырья.- 2010 - №2- С.135-138.