



БИБЛИОТЕКА ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



# НАУКА И ИССЛЕДОВАНИЯ: ОТКРЫТИЯ КАЖДЫЙ ДЕНЬ

СБОРНИК РАБОТ УЧАСТНИКОВ КОНКУРСА  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ  
НАУКАМ

Москва 2024 – 2025 год



---

## БИБЛИОТЕКА ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

---

**Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук**

**Институт лесоведения Российской академии наук**

**Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук**

**Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук**

**Институт космических исследований Российской академии наук**

**Институт астрономии Российской академии наук**

**Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук**

---

**Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова**

**Факультет космических исследований МГУ имени М. В. Ломоносова**

**Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова**

**Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского**

**Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук**

**Институт географии Российской академии наук**

**Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»**

**Редакция журнала «Наука и жизнь»**

**ООО «Комус»**

---

**НАУКА И ЖИЗНЬ**



**Комус**

[5+159.9]:[001:371.385.5](045)  
[5+159.9]:001.89:5/6(045)

*Редакционная коллегия:*

*Махно О.О.* – врио директора, председатель редколлегии;

*Умнова И.А.* – врио заместителя директопра по библиотечной работе;

*Шалыгина Е.В.* – ученый секретарь, кандидат технических наук;

*Честных М.А.* – начальник отдела организации и сопровождения мероприятий;

*Серикова О.Г.* – заместитель начальника отдела по организации и сопровождения мероприятий;

*Лобанова А.С.* – заведующий отделом комплектования информационными ресурсами.

*Рапопорт М.М.* – заведующий сектором каталогизации редкой книги, главный библиотекарь-каталогизатор;

*Толмачев А.О.* – главный библиограф;

*Волкова И.Г.* – ведущий библиограф.

*Составители:* Шалыгина Е.В., Серикова О.Г.

*Библиографический редактор:* Лобанова А.С.

*Рецензенты:* Самсонова А.С., Шалыгина Е.В.

**Наука и исследования: открытия каждый день:** Материалы конкурса научно-исследовательских проектов по естественным наукам (г. Москва, 5 апреля 2025 г.) / под общ. ред. О.О. Махно. – Москва: БЕН РАН, 2025. – 355 с. – ISBN 978-5-6050853-7-9

В сборнике представлены работы школьников 7-11 классов общеобразовательных учреждений города Москвы и Московской области, участвовавших в Конкурсе исследовательских проектов по естественным наукам «Наука и исследования: открытия каждый день» (далее – Конкурс). Конкурс состоялся по инициативе Библиотеке по естественным наукам Российской академии наук и был приурочен к 300-летию со дня основания Российской академии наук и к Десятилетию науки и технологий в рамках инициативы «Школьники в научно-технической среде» при участии научно-исследовательские институтов РАН: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук (ИПЭЭ РАН); Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН); Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН); Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН); Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН); Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН).

Сборник материалов конкурса составлен на основе полных текстов отчетов по научным проектам и текстов докладов участников и кураторов конкурса. Доклады опубликованы в соответствии с оригиналами, полученными Оргкомитетом конкурса, и не подвергались научному и литературному редактированию.

## Оглавление

<i>Е.В. Кузнецова, А.С Горбан</i>	
<b>Исследование вспышек второго типа в Be рентгеновских двойных системах.....</b>	<b>7</b>
<i>Д.Д. Ашрапов, М.А. Зайцев, А.С. Кузовчикова</i>	
<b>Применение хроматографии для исследований Марса.....</b>	<b>20</b>
<i>В.Л. Вавулин, А.Е. Иванова</i>	
<b>Поиск и анализ пересекающихся данных космических телескопов Kepler и TESS.....</b>	<b>38</b>
<i>Ф.Д. Зарубин, М.А. Зайцев, А.С. Кузовчикова</i>	
<b>Применение хроматографии для исследований Луны.....</b>	<b>47</b>
<i>А.И. Курбонов, Е.И. Захаров</i>	
<b>Классические космологические задачи.....</b>	<b>62</b>
<i>Д.А. Мельниченко, А.С Горбан</i>	
<b>Исследование траектории движения тел в гравитационном поле.....</b>	<b>75</b>
<i>Д.А. Овадовский, А.А. Матюхин, А.В. Кучуков</i>	
<b>Расчёт траектории полёта на Венеру.....</b>	<b>89</b>
<i>М.Ю. Зиброва, А.А. Егоров</i>	
<b>Полезные свойства облепихи крушиновидной и препараты из неё с регенерирующим действием.....</b>	<b>107</b>
<i>А.А. Ожерельева, А.А. Егоров</i>	
<b>Ресурсное значение местных видов лиственных деревьев пригородов Москвы.....</b>	<b>120</b>
<i>В.С. Скрябина, К.А. Кузякина, А.В. Петров</i>	
<b>Усовершенствование барьерной ловушки для отлова насекомых – вредителей лесного хозяйства.....</b>	<b>137</b>
<i>М.А. Иванов, А.Д. Сухов</i>	
<b>Исследование кумулятивной струи в опыте Покровского.....</b>	<b>134</b>
<i>А.А. Каппушева, Н.П. Шрамова, М.А. Котов</i>	
<b>Эмиссионная спектроскопия нагретых газов.....</b>	<b>145</b>
<i>И.О. Павлюк, Д.Ю. Качанов, М.А. Котов</i>	
<b>Исследование плазмы зондовым методом диагностики.....</b>	<b>157</b>
<i>А.А. Черных, Ю.С. Мельников, В.М. Шашура, А.Д. Сухов</i>	
<b>Исследование подъёмной силы крыла.....</b>	<b>164</b>
<i>М.Д. Александров, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Исследование сообщества грибов и бактерий, способных к росту в экстремальных галофильных условиях.....</b>	<b>176</b>
<i>Ю.А. Андреева, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Влияние spike-белка разных вариантов SARS-CoV-2 на вкусовые рецепторы.....</b>	<b>189</b>

<i>Д.А. Астафьева, Т.А. Бессонова</i>	
<b>Метагеномный анализ проб воды и кернов из скважин месторождений нефти</b> .....	194
<i>А.К. Иванова, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Изучение ответа растений гречихи <i>Fagopyrum tataricum</i> на раневый стресс</b> .....	206
<i>В.А. Майданова, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Исследование экспрессии гена регулятора формирования биоплёнок cSgD</b> .....	215
<i>Ю.А. Мякутина, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Оценка корреляции между тяжестью заболевания Covid-19 и предрасположенностью к болезни Альцгеймера</b> .....	222
<i>А.А. Полковская, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Анализ микробных сообществ кожи и среды обитания амфибий и рептилий</b> .....	231
<i>А.О. Сараев, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Разработка и синтез мускарин-связывающих белковых ловушек</b> .....	245
<i>М.Д. Колбасова, М.Н. Тутукина</i>	
<b>Оценка корреляции между тяжестью заболевания Covid-19 и предрасположенностью к болезни Паркинсона</b> .....	254
<i>И.А. Буров-Стаськов, А.А. Соктин</i>	
<b>Изучение социального поведения полевой мыши <i>Apodemus agrarius</i> (Pallas, 1771) в экспериментальных условиях</b> .....	265
<i>А.А. Бутримайте, А.Н. Неретина</i>	
<b>Образование крыльев у водяных блох: морфологическая адаптация или важный таксономический признак?</b> .....	276
<i>М.И. Выборнова, А.Н. Неретина</i>	
<b>Зачем водяным блохам шипы?</b> .....	284
<i>М.А. Никитин, В.П. Федченко, П.В. Чукмасов</i>	
<b>Исследование травм и кожных повреждений зубатых китов в некоторых районах Атлантического океана</b> .....	293
<i>Н.Р. Аршавский, Д.А. Попель, Л.А. Лиманцева</i>	
<b>Исследование паразитов <i>Heterodera schachtii</i></b> .....	300
<i>М.Л. Рыбалова, С.Б. Розенфельд</i>	
<b>Авиафаунистическое обследование юго-восточной Чукотки: определение численности и распределения гусеобразных и околоводных птиц по фотоматериалам</b> .....	305
<i>В.П. Федченко, Л.А. Лиманцева</i>	
<b>Определение плодовитости золотистой картофельной нематоды <i>Globodera rostochiensis</i> в условиях Московской области</b> .....	316

*И.И. Сиднев, Л.А. Лиманцева*

**Рентабельность выращивания свекловичных культур с точки зрения влияния на них свекловичной нематоды *Heterodera schachtii*.....337**

*М.А. Юцикова, В.П. Федченко, П.В. Чукмасов*

**Исследование морского мусора в некоторых районах Атлантического океана .....339**

*В.А. Комкова, Д.С. Фёдорова, А.С. Самсонова*

**Воздействие разводов на психическое состояние детей.....345**

**Список участников конкурса .....356**

**Список научных кураторов .....358**

**Список экспертов конкурса .....361**

**Рецензия на сборник научных работ ученого секретаря Библиотеки по естественным наукам РАН, кандидата технических наук Е.В. Шалыгиной.....363**

**Рецензия на сборник научных работ младшего научного сотрудника Отдела анализа научно-исследовательских и научно-информационных работ, председателя Совета молодых ученых Всероссийского института научной и технической информации РАН А.С. Самсоновой .....365**

## Исследование вспышек второго типа в Ве рентгеновских двойных системах

*В работе проведено исследование зависимости вспышек II типа от различных параметров для двадцати одной Ве-рентгеновской двойной системы. Для каждой из систем были получены значения светимости и пиковой светимости, а также фазы, на которых начинались вспышки. Было обнаружено несколько двойных систем с повторяющимися с фазой вспышками. Также было получено, что пиковая светимость зависит от геометрических размеров двойной системы – чем больше проекция большой полуоси системы, тем меньше наблюдается энерговыделения во время вспышки, что согласно аккреции Бонди может быть напрямую связано с темпом аккреции и со скоростью нейтронной звезды относительно звездного ветра в системе.*

**Ключевые слова:** *вспышки второго типа, рентгеновские двойные, Ве рентгеновские двойные системы, нейтронная звезда, 1A 0535+262, 2S 1417-624, 4U 0115+634, EXO 2030+375, GRO J1008-57, XTE J1946+274, KS 1947+300, V 0332+53, RX J0209.6-7427, SMC X-3, GX 304-1, 4U 1901+03, XTE J1859+083, Swift J0243.6+6124, RX J0520.5-6932, 2S 1553-542, XTE J1858+034, SAXJ2103.5+4545, GS0834-430, GRO J1750-27, GRO J1744-28.*

Рентгеновские двойные – это системы, состоящие из компактного объекта и оптического компаньона. Под оптическим компаньоном понимается звезда, в которой все еще происходят термоядерные процессы, и которая наблюдается в оптическом диапазоне. В качестве компактного объекта в таких системах могут выступать звездные остатки, активно излучающие в рентгеновских и гамма-диапазонах – нейтронные звезды, черные дыры, белые карлики. В нашей работе будут рассматриваться системы типа Ве (ВеXB), являющиеся подклассом НМХВ - массивных рентгеновских двойных. Только у них регулярно наблюдаются вспышки I и II типа. О них мы будем говорить подробнее отдельно.

В Ве-рентгеновских двойных системах в качестве компактного объекта выступают нейтронные звезды, а компаньоном является оптическая звезда В класса с линиями излучения в оптическом спектре, на что указывает индекс “e”. Из-за быстрого вращения “звезды-донора” на ее экваторе образуется экваториальный или декреционный диск. Вещество из него вытесняется в полость Роша оптического компаньона. Полость Роша – пространство вокруг каждой звезды в двойной системе, в котором происходят движения материи. Когда вещество оптического компаньона заполняет всю свою полость Роша, то через одну из точек Лагранжа

вещество начинает переходить в полость Роша нейтронной звезды, в это случае может возникнуть аккреция.

Аккреция – это процесс приращения массы небесного тела путём гравитационного притяжения материи (обычно газа) на него из окружающего пространства [1], который может также происходить в тесных двойных системах. Сам процесс аккреции часто описывается, как “падение” или “перетекание” вещества от оптического компаньона на поверхность компактного объекта. В процессе падения вещества на поверхность нейтронной звезды происходит выделение гравитационной энергии, которая затем переходит в тепло и уходит в виде излучения, которые мы можем зарегистрировать как вспышку. Процесс аккреции сопровождается нагревом падающей материи до экстремально высоких температур, что приводит к интенсивному излучению в рентгеновском диапазоне спектра [2]. Поэтому возникновение вспышек напрямую связано с аккрецией и возникающим вокруг нейтронной звезды аккреционным диском – структурой в которой непосредственно происходят все процессы, приводящие к возникновению вспышек. Вспышки – выбросы избыточных аккрецирующих материи и энергии, накопившейся на поверхности магнитосферы нейтронной звезды. Так как сама аккреция зависит от скорости движения звезды относительно окружающего газа, моментом импульса падающего газа и наличием магнитного поля, то и вспышки имеют различную природу и характеристики.

В рентгеновских Ве-системах различают вспышки первого (I) и второго (II) типа. Так как в таких системах не происходит переполнения полости Роша оптической звездой, то вспышки I типа возникают часто и регулярно только при прохождении нейтронной звездой периастра орбиты (периастр - ближайшая точка к оптическому компаньону на орбите нейтронной звезды) и в его окрестностях. Нейтронная звезда захватывает массу с диска компаньона только в короткий момент времени как раз при прохождении периастра, что и вызывает вспышку. Отличительной чертой вспышек I типа является то, что они повторяются с периодом и их светимость небольшая, по сравнению со вспышками II типа, и примерно равна  $L_X \sim 10^{36-37}$  эрг/с  $\sim 10^{29-39}$  Вт. Чаще всего за одно прохождение периастра наблюдаются несколько вспышек I типа, идущих друг за другом [3].

Вспышки II типа представляют больший интерес. Их часто характеризуют как мощные всплески рентгеновского излучения. Светимость таких вспышек в разы больше  $L_X > 10^{37}$  эрг/с  $\sim 10^{30}$  Вт может достигать Эддингтоновского предела. Эддингтоновская светимость - предельная светимость звезды  $L_K$ , излучающей за счет внутренних источников энергии, которая также даёт верхнюю границу светимости компактных рентгеновских источников, излучающих за счёт аккреции на нейтронные звезды [4]. Поэтому вспышки II типа считаются мощнейшими вспышками, которые могут происходить в двойных системах, а их длительность может достигать нескольких месяцев. Чаще всего регистрируются вспышки, возникающие по

одной, в отличие от вспышек I типа. Такие мощные всплески чаще всего спонтанные и не имеют привязки к конкретной орбитальной фазе. Для многих вспышек характерно быстрое увеличение показателя светимости, а затем медленное и после этого быстрое угасания. Природа и механизм возникновения вспышек II типа до сих пор не имеет четкого объяснения.

Нейтронная звезда, излучающая в рентгеновском диапазоне – объект, открытый сравнительно недавно – в 1972 году – Э. Хьюишем [5] (наблюдения орбитальной рентгеновской обсерваторией UHURU). Строение нейтронных звезд и физика их процессов до сих пор вызывает споры в научном сообществе. Объектами исследования данной работы являются двойные системы, состоящие из нейтронной звезды и оптического компаньона класса В с линией излучения в спектре. Такие объекты интересны тем, что мы можем наблюдать вспышки двух типов: периодически повторяющиеся вспышки первого типа, происходящие в момент прохождения нейтронной звезды в районе периастра двойной системы, и второго типа, которые не являются периодическими и отличаются более мощными и продолжительными вспышками. Эти выбросы интересны своей спонтанностью и высокими показателями светимости, которая может достигать Эддингтоновского предела. Так как природа вспышек второго типа еще не изучена должным образом, это вызывает огромный интерес для исследования этих вспышек как в отдельности каждая, так и в совокупности, что показывает актуальность настоящей работы.

Исследование вспышек Ве- рентгеновских двойных систем имеет большое количество научных результатов, полученных учеными за годы наблюдения этих объектов. В 1979 году Филипп Грегори и др. обнаружили, что светимость рентгеновской двойной LS I +61 303 изменяется и при этом наблюдаются периодические всплески, которые повторяются с орбитальным периодом системы [6]. Таким образом пришли к выводу, что у системы наблюдаются вспышки I типа и из-за их переменности назвали “транзиентами”. Дальнейшие исследования этих систем показали, что транзиенты также могут вспыхивать с большей светимостью, вне зависимости от орбитальной фазы нейтронной звезды, что нехарактерно для вспышек I типа [3]. Вспышки II типа чаще всего исследуется по отдельности, в частности ученых интересуют спектральные данные для более глубокого понимания физики происходящих процессов, например, в работах Молькова и др. 2019 и Горбан и др. 2022 приводятся сравнения физики процессов как во время вспышки, так и во время спокойного состояния источника GRO J2058+42 [7, 8].

Поиск закономерностей и зависимостей вспышек второго типа в зависимости от параметров двойных систем не сильно распространенная тема исследований, так как считается, что наблюдаемых величин, из-за которых возможно происхождение вспышки не было выявлено явно. Но, например, в работе П. Кречмара и др. [9] были представлены

результаты систематического исследования большого количества вспышек двойных систем, которые наблюдались различными космическими миссиями. В работе сравниваются свойства вспышек и их связь с параметрами системы. Авторы пришли к выводу, что большинство вспышек имеют сложную форму, а также что не существует очевидной корреляции между продолжительностью вспышек и орбитальным периодом системы. И большинство вспышек происходят менее чем за половину орбитального периода, но некоторые гигантские вспышки продолжались до 3 орбит.

Но что интересно, в работе Кюнель М. и др. [11] для источника GRO J1008–57 после уточнения эфемерид орбиты, выяснилось, что вспышки второго типа также проявляют периодичность, что дает возможность предсказывать их. Таким образом, перед нами стоит задача по поиску взаимосвязей орбитальных параметров и параметров вспышки для возможности более подробно изучить природу происхождения вспышек второго типа и возможности предугадать вспышку, для планирования наблюдений.

Полученные результаты данной работы можно использовать для дальнейшего более подробного анализа Ве-рентгеновских двойных систем. Данная работа поможет вычислить некоторые зависимости, которые позволят в дальнейшем объединять исследования и находить схожие физические закономерности, что углубит знания об этих системах.

Основная цель работы - изучить зависимости параметров вспышек второго типа как от параметров рентгеновской двойной, так и от фазы начала вспышки. На основе нашей цели были сформулированы следующие задачи:

1. Отобрать подходящие системы с известными орбитальными параметрами.
2. По данным обсерватории Swift (BAT) и MAXI найти вспышки второго типа.
3. Рассчитать фазу начала для каждой вспышки.
4. Рассчитать интегральную светимость вспышек.
5. Рассчитать пиковую светимость вспышек.
6. Исследовать зависимость параметров.

Объектом исследования данной работы являются рентгеновские двойные системы.

Предмет исследования – вспышки II типа в рентгеновских двойных Ве типа.

В рамках исследования вспышек II типа у Ве- рентгеновских двойных систем была использована научная литература, которая включает как теоретические работы, так и наблюдательные работы по исследованию природы Ве- рентгеновских двойных [3]. Также использовались данные наблюдений за рентгеновскими двойными, полученные измерения массы оптических компаньонов, расстояний до источников, орбитальных параметров, таких как время прохождения периастра, орбитальный период, эксцентриситет, долгота периастра, проекция большой полуоси использовались специализированные базы данных

астрономических наблюдений [12, 13]. Также были изучены методы обработки астрономических данных с помощью пакета AstroPy для языка программирования Python, изучены численные методы (метод Ньютона) для решения уравнения Кеплера, построения орбитального решения и поиска фаз вспышек на них [14]. Использовались различные методы поиска и оценки вспышек второго типа (отличительные свойства от вспышек первого типа), по известным и полученным параметрам.

Лабораторная часть проводилась на базе отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН и включала в себя работу с применением компьютерного оборудования для математических расчетов и обработки данных. Код для построения орбитального движения, выполнения простых и сложных математических расчетов, а также построения итоговых изображений был написан на языке программирования Python с помощью библиотек NumPy, Matplotlib и AstroPy [15].

Вычислительный анализ данной работы предполагал разработку алгоритмов расчёта орбит и поиск фаз вспышек, а также визуализацию результатов и сравнение полученных результатов с результатами других работ.

Основной гипотезой выступает предположение, что вспышки второго типа могут зависеть от орбитальных параметров системы.

За последние годы было обнаружено множество вспышек второго типа у Веретеновских двойных систем, такое обилие позволяет более подробно рассмотреть вспышки в совокупности для многих систем одновременно, что ранее производилось, но не для большого количества источников [6, 9].

Под нужды исследования подходили далеко не многие источники рентгеновского излучения. Во время отбора мы пользовались информацией из научных статей. Нашей целью стали источники с уже известными орбитальными параметрами – орбитальный период, время прохождения периастра или время, долгота периастра, эксцентриситет, масса оптического компаньона, расстояние до системы [13]. Список систем, фигурирующих в исследовании, можно увидеть в разделе «Ключевые слова», а также в таблице 1, где каждой системе соответствует число, далее эти числа на изображениях будут обозначать номера систем, для компактной записи и удобства.

Для того чтобы найти вспышки второго типа необходимо было построить графики кривых блеска систем, найти пик вспышки и рассчитать светимости. Вспышки второго типа имеют светимости, превышающие значение  $10^{37}$  эрг/с.

Таблица 1 - Орбитальные параметры рентгеновских двойных, используемые в работе

№	Название двойной системы	Орбитальный период (день*)	Время прохождения периастра (день*) (MJD**)	Большая полуось (м)	Долгота периастра (градус)	Эксцентриситет	Масса компаньона (масса Солнца)	Расстояние (м)
1	XTE J1946+274	172,218	55599***	1397032 85428	274,70	0,2860	10 - 15	$2,93 \times 10^{20}$
2	XTE J1859+083	37,9859	57062,53 ***	6360096 9964,7	-116,47	0,1264	—	$2,08 \times 10^{20}$
3	XTE J1858+034	81	53436	5696056 7020	107,00	0,1	—	$3,36 \times 10^{20}$
4	V 0332+53	33,833	57225,068	2329087 6062,02	276,71	0,3694	6	$1,73 \times 10^{20}$
5	Swift J0243.6+6124	27,6943	58115,6 ***	3463532 2465,2	-74,05	0,1029	—	$1,6 \times 10^{20}$
6	SMC X-3	45,383	57677	5881928 0259,6	208,77	0,2200	20,5	$1,91 \times 10^{21}$
7	SAX J2103.5+4545	12,66528	52469,336	2422622 8530,98	241,36	0,4010	20	$1,66 \times 10^{20}$
8	RX J0520.5-6932	23,93	56666,41 ***	3225766 8480,8	233,50	0,0286	—	$1,54 \times 10^{21}$
9	RX J0209.6-7427	47,36798 3	58782,56	5091914 9406,38	65,69	0,3194	—	$1,69 \times 10^{21}$

№	Название двойной системы	Орбитальный период (день*)	Время прохождения периастра (день*) (MID**)	Большая полуось (м)	Долгота периастра (градус)	Эксцентриситет	Масса компаньона (масса Солнца)	Расстояние (м)
10	KS 1947+300	40,443	56864,56	3917987 6336,02	40,44	0,0340	~2	3,08×10 <sup>20</sup>
11	GX304-1	132,189	55425,6	1801752 67258	130,00	0,4620	9,9	6,2×10 <sup>19</sup>
12	GS0834- 430	105,8	48809,6	3837343 4624	140,00	0,1300	15	2,834×10 <sup>20</sup>
13	GRO J1750-27	29,817	49831,02	3051887 2224,4	206,3	0,3598	—	4.32×10 <sup>20</sup>
14	GRO J1744-28	11,83639 7	56695,69	7905527 11,746	0	0	—	2,31×10 <sup>20</sup>
15	GRO J1008-57	249,48	54424,71	1588900 02740	-26(8)	0,68 (2)	3-8	1,11×10 <sup>20</sup>
16	EXO 2030+375	46,0213	52756,17	7374894 4668	211,90	0,4100	20	1,11084392 9261×10 <sup>20</sup>
17	4U1901+0 3	22,53477 7	5927,268 ***	3128124 4445,09	220,10	0,0150	—	3.7×10 <sup>20</sup>
18	4U0115+6 34	24,31689 5	49282,13	4233759 0296,13	49,43	0,3411	18 - 19,5	2,22×10 <sup>20</sup>
19	2S 1553- 542	31,36379 6	57088,94* **	6094990 5258,61	161,86	0,0368	—	6.17×10 <sup>20</sup>
20	2S 1417- 624	42,175	51612,17	5636098 2104	300,30	0,4460	5,9	3,05×10 <sup>20</sup>

№	Название двойной системы	Орбитальный период (день*)	Время прохождения периастра (день*) (MJD**)	Большая полуось (м)	Долгота периастра (градус)	Эксцентриситет	Масса компаньона (масса Солнца)	Расстояние (м)
21	1A0535+2 62	111,143	54712	8004458 6286	161,30	0,4700	10-8	6,17×10 <sup>19</sup>

Пояснения к таблице 1:

\*1 день = 86400 с;

\*\* MJD - Modified Julian Date;

\*\*\*Т π/2 - время, когда средняя долгота равна 90 градусов;

— отсутствует информация.

В ходе работы были произведены расчеты и построены орбиты движения нейтронных звезд для всех выбранных нами двойных рентгеновских систем, пример такой орбиты представлен на рисунке 1. Красными точками и цифрами от 1 до 4 обозначены моменты нахождения нейтронной звезды на орбите, когда произошла вспышка. Точкой “0” обозначена точка периастра. Синяя точка - положения центра масс системы.

Для того чтобы вычислить положение каждой вспышки (фазу), необходимо было решить уравнение Кеплера:

$$E - e * \sin E = M \quad (1)$$

где E – эксцентрисическая аномалия,

e – эксцентриситет орбиты,

M – средняя аномалия.

Это уравнение мы решали с помощью численного метода Ньютона [10].

Для того чтобы построить зависимость светимости от фазы, мы произвели вычисления для каждой из систем, зная расстояние до системы и их потоки во время вспышки, мы использовали следующую формулу для вычисления:

$$L = 4\pi D^2 F \quad (2),$$

где  $L$  – полная светимость,

$D$  – расстояние до рентгеновской двойной,

$F$  – поток.

Полученный результат представлен на рисунке 2. Цветами и числами обозначены вспышки определенных двойных систем, отображенных ранее. Пунктирной линией обозначена фаза, противоположная периаstrу - апоastrу. По графику видно, что вспышки некоторых систем лежат в пределах одних и тех же фаз, что несвойственно для вспышек второго типа. Такое ранее наблюдалось для системы GRO J1008-57 [11]. Таким образом, мы можем предположить, что среди этих двойных систем есть те, вспышки которых вероятно можно будет предсказать. Это дает нам результат, который мы сможем использовать для дальнейшего исследования этих рентгеновских источников. Также большая часть вспышек лежит ближе к апоastrу систем. Но все же встречаются вспышки второго типа и в районе периаstrа, это вспышки двойных №1 (ХТЕ J1946+274), №3 (ХТЕ J1858+034), №8 (RX J0520\_5-6932), №20 (2S 1417-624) (рис. 2).

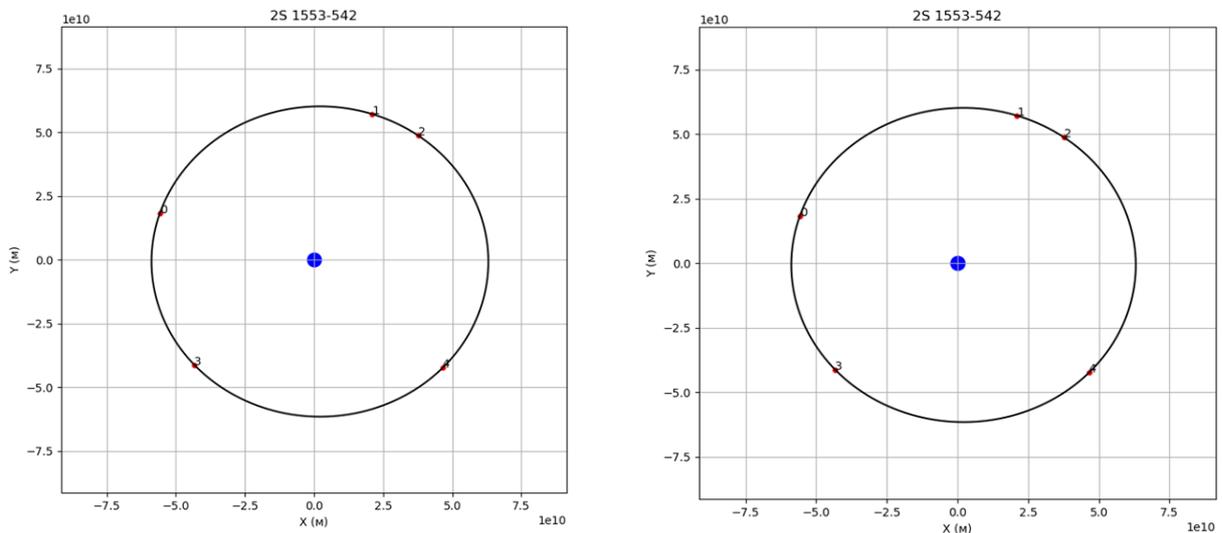


Рисунок 1 - Орбита 2S 1553-542

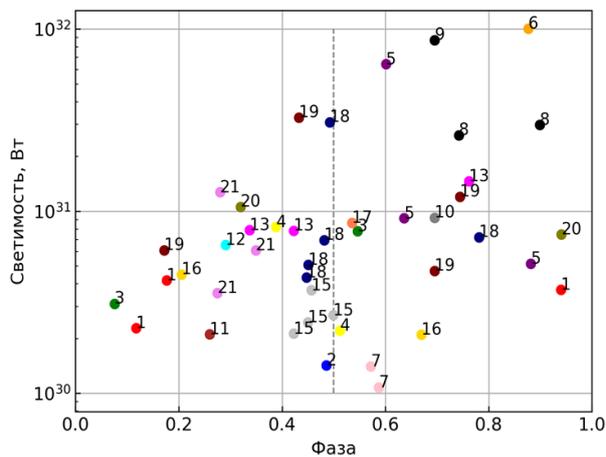


Рисунок 2 - Зависимость светимости от фазы

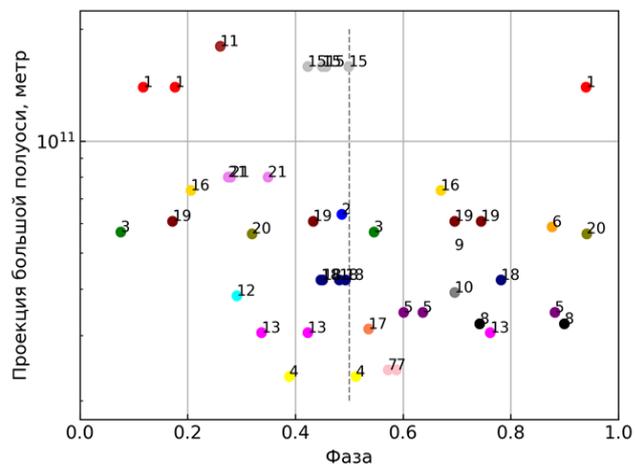


Рисунок 3 - Зависимость проекции большой полуоси от фазы

Для анализа также был построен график проекции большой полуоси от фазы вспышки (рис. 3). По графику видно, что зависимости практически не наблюдается. Ранее предполагалось, что чем шире система, тем вспышка должна быть ближе к периастру. Данный результат говорит нам, что фаза вспышки не зависит от размера системы.

Аналогично был проведен анализ полного энерговыведения от проекции большой полуоси, пиковая светимость рассчитывалась следующим образом:

$$E = ((t_2 - t_1) \times L_{\max}) / 2 \quad (3),$$

где  $t_2$  – время конца вспышки,

$t_1$  – время начала вспышки,

$L_{\max}$  – максимальная светимость вспышки, пример вспышки второго типа показан на рисунке 4.

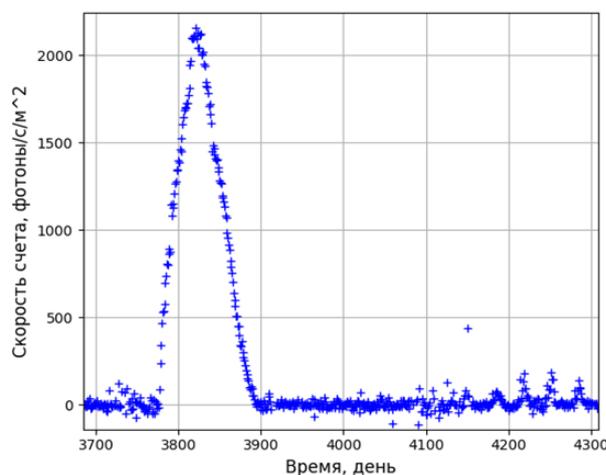


Рисунок 4 - Кривая блеска вспышки V  
0332+53 за 2015 год

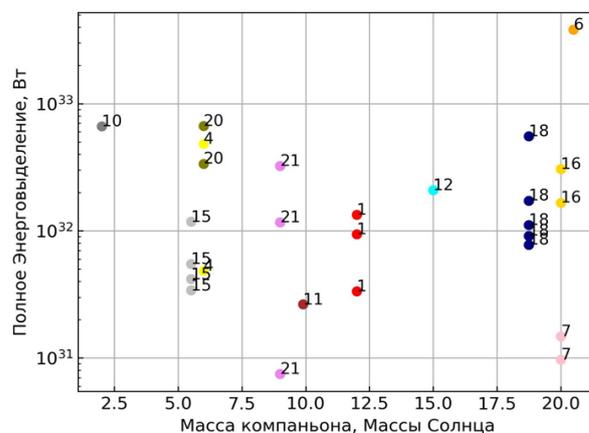


Рисунок 5 - Зависимость полного энерговыведения от массы компаньона

Была построена зависимость полного энергосвечения от массы компаньона (рисунок 5), которая показала отсутствие корреляции между этими параметрами.

Также была исследована зависимость пиковой светимости от большой полуоси системы. Полученный результат показал, что пиковая светимость системы за время вспышки уменьшается с увеличением большой полуоси. Чтобы проверить этот результат были проведены теоретические расчеты, основываясь на теории для аккреции Бонди и взятых типичных параметров двойных систем с рентгеновскими пульсарами [16]:

$$\dot{M}_{\text{acc}} = \frac{\pi * R_G^2}{4\pi a^2} * \dot{M}_W \quad (4),$$

где  $\dot{M}_{\text{acc}}$  – темп аккреции вещества,

$a$  – радиус орбиты системы,

$\dot{M}_W$  – темп потери вещества звездой в виде ветра,

$R_G$  – теоретический радиус захвата вещества нейтронной звездой [16], и

$$L_x = \frac{G * M_x * \dot{M}_{\text{acc}}}{R_x} \quad (5)$$

где  $L$  – пиковая светимость,

$G$  – гравитационная постоянная,

$M_x$  – масса нейтронной звезды,

$R_x$  – радиус нейтронной звезды [16].

Таким образом было получено, что пиковая светимость действительно уменьшается с увеличением большой полуоси (см. рисунок 6, сплошной линией показаны теоретические расчеты).

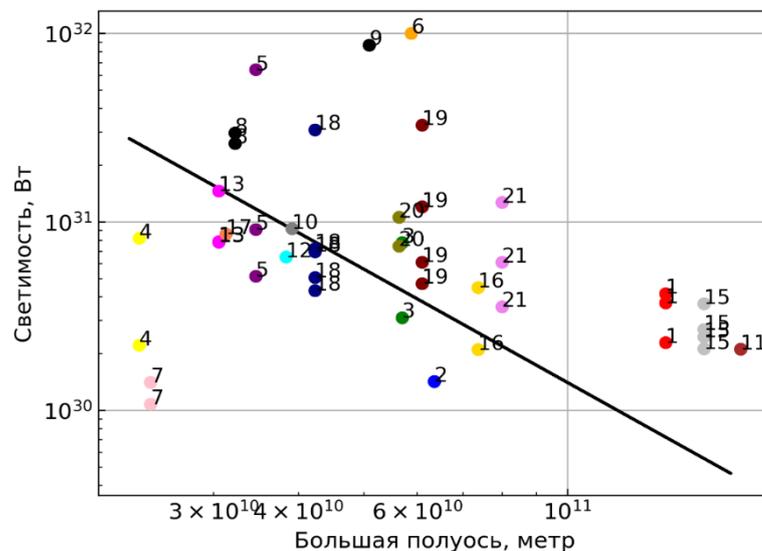


Рисунок 6 - Зависимость пиковой светимости от проекции большой полуоси

Таким образом, мы провели самостоятельное исследование зависимости вспышек второго типа от различных параметров для двадцати одной Ве-рентгеновской двойной системы. Для каждой вспышки этих систем были рассчитаны орбитальные фазы начала вспышек, также были рассчитаны интегральные и пиковые светимости вспышек. Было обнаружено, что несмотря на то, что вспышки второго типа не являются периодическими, некоторые из них происходят примерно в областях одних и тех же фаз. Это относится к системам - V 0332+53, 4U 0115+634, GRO J1008-57, 1A 0535+262. Этот результат также согласуется с предыдущими работами [11] и говорит о достоверности полученных результатов проведенной работы, а также дает вероятность того, что мы сможем предсказывать следующие вспышки второго типа у этих рентгеновских двойных.

Также в работе было получено, что полное энерговыделение зависит от ширины двойной системы. Чем больше проекция большой полуоси системы, тем меньше мы наблюдаем энерговыделения во время вспышки. Этот результат также был проверен на теоретических данных и был тем самым подтвержден. Это может говорить о том, что скорость нейтронной звезды относительно звездного ветра, согласно аккреции Бонди, довольно мала, поэтому вещество от звездного ветра падающее на нее дает светимость меньшую, чем в более узких системах. К тому же, темп аккреции напрямую зависит от большой полуоси, по формуле (4), чем меньше большая полуось, тем больше темп аккреции и, соответственно, светимость и наоборот. Также это может быть связано с линейным размером декреционного диска Ве-звезды, который может не пересекать орбиту нейтронной звезды или же быть недостаточно массивным, чтобы “кормить” нейтронную звезду, что требует дальнейшего более подробного исследования.

#### Список источников

1. Аккреция // Космонавтика. Энциклопедия / гл. ред. В. П. Глушко. – Москва : Советская энциклопедия, 1985. – С. 18.
2. Российская астрономическая сеть : [сайт]. – URL: <http://www.astronet.ru> (дата обращения: 29.11.2024).
3. Reig, P. Be. X-ray binaries / P. Be. Reig // *Astrophysics and Space Science*. - 2011. - Vol. 332. - С. 1–29. – DOI 10.1007/s10509-010-0575-8.
4. Физика космоса : Маленькая энцикл. / гл. ред. Р. А. Сюняев. – Москва : Сов. энцикл., 1986. – 783 с.
5. The Uhuru catalog of X-ray sources / R. Giacconi, S. Murray, H. Gursky [et al.] // *Astrophysical Journal*. – 1972. – Vol. 178. – С. 281-308.

6. The radio, optical, X-ray, gamma-ray star LSI+61 deg 303 / P. C. Gregory, A. R. Taylor, D. Crampton [et al.] // *Astronomical Journal*. – 1979. – Vol. 84. – С. 1030-1036. – DOI 10.1086/112508.
7. Discovery of a Pulse-phase-transient Cyclotron Line un the X-ray pulsar GRO J2058+42 / S. Molkov, A. Lutovinov, S. Tsygankov [et al.] // *The Astrophysical Journal Letters*. – 2019. – Vol. 883. – С. L11. – DOI 10.3847/2041-8213/ab3e4d.
8. Changes in the Nature of the Spectral Continuum and Stability of the Cyclotron Line in the X-ray Pulsar GRO J2058+42 / A. S. Gorban, S. V. Molkov, S. S. Tsygankov [et al.] // *Astronomy Letters*. – 2022. – Vol. 48, №. 4. – С. 256-266. – DOI 10.1134/S1063773722040028.
9. The Be X-ray Binary Outburst Zoo / P. Kretschmar, E. Nespoli, P. Reig, Friedrich Anders // *Proceedings of Science* : [сайт]. – 2013. – URL: <https://doi.org/10.22323/1.176.0016> (дата обращения: 29.11.2024).
10. Citizendium : [сайт]. – URL: [https://en.citizendium.org/wiki/Welcome\\_to\\_Citizendium](https://en.citizendium.org/wiki/Welcome_to_Citizendium) (дата обращения: 29.11.2024).
11. GRO J1008–57: an (almost) predictable transient X-ray binary / M. Kuhnel, S. Muller, I. Kreykenbohm [et al.] // *Astronomy & Astrophysics*. – 2013. – Vol. 555, – A95. – DOI 10.1051/0004-6361/201321203.
12. MAXI Monitor of all-sky X-ray image : [сайт]. – URL: <http://maxi.riken.jp/top/> (дата обращения: 29.11.2024).
13. Gamma-Ray Astrophysics : [сайт]. – URL: <https://gammaray.nsstc.nasa.gov/> (дата обращения: 29.11.2024).
14. Жаров, В. Е. Сферическая астрономия : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 010702 – астрономия / В. Е. Жаров ; Гос. астрономический ин-т им. П. К. Штернберга. - Фрязино (Московская обл.) : Век 2, 2006. – 477, [1] с. – ISBN 5-85099-168-9.
15. Python : [сайт]. – URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 29.11.2024).
16. Черепащук, А.М. Тесные двойные звезды. Ч. 1: [монография : в 2 ч.] / А. М. Черепащук. - Москва : Физматлит, 2013. – 2013. – 560 с. – ISBN 978-5-9221-1416-5.

## Применение хроматографии для исследований Марса

*В данной работе проведено ознакомление с методом газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии, способах применения на Земле и в космосе (в частности – для исследования Марса), а также изучен химический состав атмосферного воздуха в помещениях ИКИ РАН. Для получения этих результатов была оптимизирована методика качественного и количественного анализа летучих органических соединений в воздухе методом хромато-масс-спектрометрии. Пробы летучих отбирали путём пропускания воздуха через сорбционные трубки. Затем накопленные летучие десорбировали в хромато-масс-спектрометр для анализа. Были выявлены вредные вещества, такие как бензол, толуол, ацетон, изопропиловый спирт, дихлорметан и другие. Для некоторых веществ были определены их концентрации в воздухе помещений и проведено сравнение с предельно допустимыми концентрациями данных веществ в воздухе рабочей зоны. Даны рекомендации по улучшению методики анализа и проведению дополнительных анализов в данных помещениях.*

**Ключевые слова:** *газовая хромато-масс-спектрометрия, летучие органические вещества, химический анализ, исследование Марса, контроль качества воздуха.*

Цель работы заключалась в ознакомлении с методом пиролитической хромато-масс-спектрометрии для решения следующих поставленных задач:

- 1) Освоении техники безопасности работ в химической лаборатории.
- 2) Изучении литературных источников, связанных с методом хромато-масс спектрометрии и его применением в космических исследованиях.
- 3) Изучение и оптимизация методики исследования летучих органических соединений методом хромато-масс спектрометрии.
- 4) Проведение исследования летучих органических соединений в воздухе лабораторных и офисных помещений ИКИ РАН методом газовой хромато-масс спектрометрии (ГХ/МС).

Исследование атмосферного воздуха методом ГХ/МС поможет изучить условия работы сотрудников Института. По результатам исследования можно будет судить о степени загрязненности воздуха примесями летучих органических веществ и уточнить, соответствует ли данный уровень загрязнений нормам ПДК для воздуха рабочей зоны. Отталкиваясь от

результатов анализа, можно будет предоставить рекомендации для сотрудников и соответствующих служб Института об улучшении условий труда.

Метод ГХ/МС был выбран для проведения работы, т.к. в Институте есть все необходимое оборудование для проведения такого анализа, кроме того, метод очень точный, и помогает установить наличие вредных веществ в атмосфере даже в низких концентрациях, не затрачивая на это много времени.

Данный метод является передовым методом в изучении различных веществ, в том числе для исследования атмосферы и грунта планет и малых тел Солнечной системы, поскольку для проведения анализа требуется минимальное количество вещества (достаточно несколько десятков мкг), что крайне важно для исследований внеземного вещества (таких образцов мало и они очень ценны).

В космических исследованиях этот метод может быть полезен по нескольким причинам:

**1. Анализ состава грунта.** Пиролитическая хромато-масс-спектрометрия позволяет определить химический состав образцов грунта с других планет или спутников, что помогает понять их геологические и химические свойства.

**2. Изучение атмосферы.** Метод может использоваться для анализа газов в атмосфере небесных тел, таких как планеты и спутники, что важно для понимания их климатических условий и возможности поддержания жизни.

**3. Исследование органических соединений.** Пиролитическая хромато-масс-спектрометрия может обнаружить органические соединения в образцах грунта или атмосферы, что имеет значение для поиска возможных следов жизни на других планетах.

Три эти направления исследования позволяют сделать выводы об эволюции космических тел и вещества во Вселенной.

**4. Контроль качества воздуха.** В космических аппаратах метод можно использовать для мониторинга состава воздуха внутри кораблей и станций, обеспечивая безопасность экипажа. В дальнейших пилотируемых миссиях на Марс, а также марсианских станциях необходимо будет контролировать качество атмосферы для защиты астронавтов.

**5. Разработка новых технологий.** Результаты исследований с использованием пиролитической хромато-масс-спектрометрии могут привести к созданию новых материалов и технологий, которые будут полезны как в космических миссиях, так и на Земле.

**6. Идентификация неизвестных веществ.** С помощью метода можно идентифицировать неизвестные вещества, обнаруженные в космосе, что способствует расширению знаний о Вселенной [1].

Газовая хроматография (ГХ) – один из самых распространённых методов физико-химического анализа. Он используется для определения веществ, их разделения и очистки. С помощью этого метода можно разделить даже очень сложные смеси [2, 3].

В газовой хроматографии смесь веществ вводится в поток газа-носителя, который проходит через колонку, содержащую неподвижную фазу. Неподвижная фаза может быть жидкой или твёрдой и имеет определённую полярность и химическую природу, которые влияют на разделение компонентов смеси. Неподвижная фаза, как правило, помещена в стеклянную или металлическую трубку – хроматографическую колонку [4]. В современных методах используют капиллярные колонки со внутренним диаметром от 0,1 и до 0,53 мм и длиной до 100 м, что обеспечивает высокую степень разделения смесей и чувствительность метода [2].

Компоненты смеси распределяются между неподвижной и подвижной фазами в соответствии с их коэффициентами распределения. Вещества с более высокой растворимостью в неподвижной фазе будут дольше удерживаться в ней, что приведёт к их более позднему выходу из колонки.

После прохождения через колонку компоненты смеси детектируются и регистрируются в виде хроматограммы – графика зависимости сигнала детектора от времени. По форме и положению пиков на хроматограмме можно определить качественный и количественный состав смеси.

Газовая хроматография широко используется в различных областях науки и техники, таких как химия, биология, медицина, экология и др. Она позволяет анализировать сложные смеси, содержащие от нескольких десятков до тысяч компонентов, с высокой точностью и чувствительностью [2].

Газовая хроматография играет важную роль в космических исследованиях, так как она позволяет анализировать сложные смеси веществ. Этот метод особенно полезен при изучении состава атмосферы других планет и спутников, а также при анализе образцов грунта, собранных во время космических миссий. Результаты исследований летучих компонентов, входящих в состав внеземного вещества, позволяет делать выводы о химическом и геологическом составе космических субстанций, о процессах, происходящих на этих телах, их эволюции и происхождении. Так же эта информация полезна для понимания климатических условий и возможностей поддержания жизни [5].

В космических аппаратах газовая хроматография также может использоваться для мониторинга состава воздуха внутри кораблей и станций, обеспечивая безопасность экипажа. Это особенно важно в условиях длительных космических полётов, когда необходимо контролировать уровень кислорода, углекислого газа и других газов в воздухе [4].

**Масс-спектрометрия** — это метод, который позволяет идентифицировать и определять структуру соединений. Он основан на измерении отношения массы к заряду ионов, полученных из молекул анализируемого вещества.

В основе метода лежит процесс ионизации органических молекул, в результате которого образуются положительно или отрицательно заряженные ионы. Эти ионы затем ускоряются и направляются в масс-анализатор, где они разделяются по массе. Результатом анализа является масс-спектр, который представляет собой график зависимости интенсивности ионного тока от отношения массы к заряду. Этот спектр содержит информацию о молекулярной массе и структуре органического соединения.

Масс-спектрометрия широко используется в органической химии для идентификации неизвестных соединений, определения структуры сложных молекул, анализа смесей органических веществ и контроля качества продукции. Она позволяет проводить качественный и количественный анализ органических соединений с высокой точностью и чувствительностью [6].

Процесс масс-спектрометрии включает несколько ключевых этапов:

1. **Ионизация.** Органические молекулы вводятся в прибор, где они подвергаются ионизации. Это может происходить различными способами, включая электронную ионизацию, химическую ионизацию или бомбардировку быстрыми атомами. В результате образуются положительно или отрицательно заряженные ионы.

2. **Ускорение.** Ионы ускоряются электрическим полем до определённой энергии.

3. **Разделение.** Ускоренные ионы направляются в масс-анализатор, где они разделяются по массе. Существуют различные типы масс-анализаторов, включая магнитные, квадрупольные и времяпролётные.

4. **Детекция.** Разделенные ионы детектируются и регистрируются в виде масс-спектра. Масс-спектр представляет собой график зависимости интенсивности ионного тока от отношения массы к заряду.

5. **Идентификация.** На основе масс-спектра можно идентифицировать неизвестное соединение. Для этого используются базы данных масс-спектров и алгоритмы сравнения спектров. Также можно определить структуру сложного соединения, анализируя пики в масс-спектре.

6. **Количественный анализ.** Масс-спектрометрия также позволяет проводить количественный анализ органических соединений. Для этого необходимо знать концентрацию ионов в образце. Концентрация ионов может быть определена с помощью калибровочных кривых или методов внутреннего стандарта. [1]

Космические исследования на примере исследований Марса [7] Исследование грунта Марса — это важная задача, которая позволяет учёным лучше понять историю и геологию Красной планеты.

Изучение поверхности Марса представляет собой сложную задачу по нескольким причинам:

1. **Физические условия.** Марс имеет весьма разреженную атмосферу, которая состоит в основном из углекислого газа. Температура поверхности Марса подвержена экстремальным колебаниям. Днём она может достигать + 20 °С, а ночью опускаться до -80 °С. Это создаёт серьёзные вызовы для работы исследовательских аппаратов и требует разработки специальных технологий для обеспечения их защиты и функционирования.

2. **Геологические особенности.** Поверхность Марса покрыта пылью и песком, что затрудняет передвижение исследовательских роботов и сбор образцов грунта. Кроме того, на Марсе присутствуют различные геологические образования, такие как кратеры, каньоны и вулканы, которые требуют детального изучения и анализа.

3. **Сложность коммуникации.** Среднее расстояние между Землёй и Марсом составляет 225 миллионов километров, что приводит к задержкам в передаче данных и команд управления из-за конечного значения скорости света. Это усложняет оперативное управление исследовательскими миссиями и требует использования автономных систем управления на борту аппаратов.

4. **Отсутствие магнитного поля.** У Марса отсутствует глобальное магнитное поле, что делает его поверхность уязвимой для воздействия солнечной и космической радиации. Это может негативно сказаться на работе электронных компонентов исследовательских аппаратов и потребовать дополнительных мер защиты.

5. **Ограниченные ресурсы.** Исследовательские миссии на Марс требуют значительных финансовых и технических ресурсов. Ограниченность этих ресурсов может привести к необходимости выбора приоритетных задач и направлений исследования, а также к оптимизации использования доступных технологий.

6. **Технические ограничения.** Современные технологии не позволяют создавать исследовательские аппараты, способные полностью автономно функционировать на поверхности Марса в течение длительного времени. Это требует постоянного контроля и поддержки со стороны наземных станций, что усложняет процесс исследования.

Таким образом, изучение поверхности Марса является сложной задачей, требующей комплексного подхода и решения ряда технических, физических и организационных проблем.

## Методы исследования:

1. **Орбитальные аппараты.** С помощью орбитальных аппаратов учёные могут получать детальные снимки поверхности Марса и анализировать его геологические особенности. Это помогает определить места для будущих миссий и выбрать наиболее интересные области для исследования.

2. **Марсоходы.** Марсоходы, такие как Curiosity и Perseverance, оснащены различными инструментами для анализа грунта. Они могут измерять химический состав, искать следы воды и органических молекул, а также изучать геологические структуры. Для этих исследований они включают в себя различную научную аналитическую аппаратуру, использующую рентгеновской дифракции и рентгеновской флуоресценции для определения минералогического состава образцов, газовую хроматографию и др.

- **Curiosity** — марсоход, запущенный в 2011 г. и совершивший посадку на поверхность Марса в 2012 году. Он оснащён рядом научных инструментов, включая **CheMin** (Chemistry and Mineralogy) — прибор для анализа химического состава минералов в грунте. Это позволяет учёным получить информацию о химических элементах, присутствующих в грунте, и понять, какие процессы происходили на поверхности Марса. Хроматограф SAM GC-MS обнаружил такие соединения, как:

- **Углерод (C), водород (H), азот (N), кислород (O), сера (S)** — основные элементы, необходимые для существования жизни в известных нам формах. Они были обнаружены в атмосфере и почве Марса.

- **Вода (H<sub>2</sub>O)** — хотя это не новое открытие, марсоход подтвердил наличие воды на Марсе, что является важным фактором для потенциальной колонизации планеты.

- **Двуокись углерода (CO<sub>2</sub>)** — основной компонент атмосферы Марса, который может быть использован для производства кислорода и других химических веществ, необходимых для поддержания жизни.

- **Сероводород (H<sub>2</sub>S)** — газ, который может указывать на геологические процессы, происходящие на планете.

- **Хлорбензол (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl)** — органическое соединение, которое было обнаружено в следовых количествах. Хотя это не обязательно указывает на существование жизни на Марсе, это интересное открытие, которое требует дальнейшего изучения [8].

«Феникс» успешно приземлился на Марсе в мае 2008 года и начал свою работу. Он стал первым аппаратом, который работал так далеко на севере планеты. Марсоход провёл ряд экспериментов, включая анализ образцов грунта и измерение температуры и влажности атмосферы.

Одним из главных открытий «Феникса» стало подтверждение наличия льда под поверхностью грунта. Это было важным открытием, которое указывало на возможность существования воды на Марсе в прошлом. Кроме того, марсоход обнаружил перхлораты в почве, что могло иметь значение для будущих миссий по добыче кислорода из марсианской атмосферы [9].

**3. Анализ образцов.** Учёные анализируют образцы грунта, доставленные на Землю или исследованные непосредственно на Марсе. Это позволяет получить более точные данные о составе и свойствах марсианского грунта.

**4. Радиоуглеродное датирование.** Этот метод позволяет определить возраст органических материалов в грунте. Хотя на Марсе органические молекулы могут быть редкими, этот метод всё равно полезен для понимания истории планеты.

**5. Спектроскопия.** Спектроскопические инструменты позволяют анализировать свет, отражённый от поверхности, и определять химический состав грунта. Это быстрый и эффективный способ получения данных о минералах и химических элементах.

**6. Магнитные измерения.** Некоторые инструменты могут измерять магнитные свойства грунта. Это важно для понимания геологической истории Марса и наличия магнитных минералов.

**7. Радарное зондирование.** Радарные инструменты на орбитальных аппаратах могут проникать под поверхность и изучать структуру грунта на глубине. Это особенно полезно для поиска подземных вод и льда.

**8. Тепловые измерения.** Тепловые инструменты могут измерять температуру грунта и тепловые потоки. Это помогает понять термическую историю планеты и наличие активных геологических процессов.

**9. Гравитационные измерения.** Гравитационные инструменты на орбите могут измерять гравитационное поле Марса. Это даёт информацию о распределении масс внутри планеты и её структуре [10, 11].

Эти методы помогают учёным получить всестороннее представление о грунте Марса, его составе, истории и возможных условиях для жизни.

В контексте изучения грунта Марса хроматография может быть использована для:

- **Определения химического состава.** Хроматография позволяет разделить сложные смеси веществ, такие как органические соединения, неорганические соли и другие химические вещества, содержащиеся в грунте Марса. Это позволяет учёным определить химический

состав грунта и выявить наличие или отсутствие определённых химических элементов и соединений.

- **Поиска следов жизни.** Хроматография может помочь учёным обнаружить следы органических соединений, которые могут указывать на наличие жизни на Марсе в прошлом или настоящем. Органические соединения являются основными строительными блоками живых организмов, и их присутствие в грунте может свидетельствовать о биологической активности.

- **Изучения геологических процессов.** Хроматография также может быть использована для изучения геологических процессов, происходивших на Марсе. Например, она может помочь учёным понять, как формировался грунт Марса и какие химические реакции происходили в нём с течением времени.

Таким образом, хроматография является важным инструментом для исследования грунта Марса и получения информации о его химическом составе, истории и возможных условиях для жизни.

Хроматографы могут быть полезны для изучения состава атмосферы на МКС по нескольким причинам:

- **Определение концентрации газов и летучих веществ.** Хроматографы позволяют определить концентрацию различных газов в атмосфере МКС, таких как кислород, углекислый газ, азот и другие. Это важно для поддержания оптимальных условий для жизни и работы астронавтов.

- **Обнаружение загрязнений.** Хроматографы также могут обнаружить наличие загрязняющих веществ в атмосфере МКС, таких как пыль, микробы и химические соединения. Это помогает разработать меры по снижению уровня загрязнения и обеспечению безопасности астронавтов.

- **Анализ влажности воздуха.** Хотя хроматографы обычно не используются для прямого измерения влажности, они могут помочь в анализе состава воздуха, который включает водяной пар. Это позволяет получить более полное представление о состоянии атмосферы на станции.

- **Мониторинг температуры и давления.** Хотя хроматографы напрямую не измеряют температуру и давление, они могут использоваться в сочетании с другими приборами для мониторинга этих параметров. Например, изменения в составе атмосферы могут указывать на изменения температуры или давления.

**Идентификация вредных веществ.** Хроматографы способны идентифицировать различные химические вещества, что может быть полезно для обнаружения и идентификации вредных веществ в атмосфере МКС.

На МКС хроматографы используются вместе с другими инструментами и методами для комплексного изучения атмосферы. Вот как это работает:

- **Сбор образцов.** На МКС установлены специальные устройства для сбора образцов воздуха. Эти образцы затем анализируются с помощью хроматографа.
- **Анализ данных.** Полученные данные обрабатываются и анализируются специалистами на Земле. Это позволяет выявить закономерности и тенденции в изменении состава атмосферы.
- **Разработка мер.** На основе полученных результатов разрабатываются меры по улучшению качества атмосферы на МКС. Это может включать в себя изменение системы вентиляции, использование фильтров и т.д [9].

Глядя в будущее, можно предположить, что газовая хроматография также понадобится для анализа качества воздуха, например, в обитаемых отсеках космических кораблей для полетов к Марсу. Основные параметры атмосферы будут такими же, как она современных космических станциях: уровень кислорода должен быть около 21% по объёму, (как на Земле) для дыхания экипажа, а уровень углекислого газа должен быть низким, чтобы предотвратить его вредное воздействие на здоровье. Кроме того, могут быть добавлены другие газы, такие как азот, для создания оптимального давления и обеспечения стабильности атмосферы. Давление: давление в атмосфере должно быть близким к земному (около 101,3 кПа) для обеспечения нормального функционирования организма человека. Температура и влажность: температура и влажность также должны быть контролируемы, чтобы создать комфортные условия для экипажа. Оптимальная температура может варьироваться в зависимости от индивидуальных предпочтений, но обычно она должна быть в пределах 18–24 °С. Фильтрация и очистка: атмосфера должна регулярно очищаться от загрязнений, таких как пыль, микроорганизмы и другие вредные частицы. Для этого могут использоваться фильтры и системы очистки воздуха. Управление запахами: длительное пребывание в замкнутом пространстве может привести к накоплению неприятных запахов. Поэтому важно иметь системы, которые помогут контролировать и устранять запахи. Резервные системы: на случай аварийных ситуаций должны быть предусмотрены резервные системы обеспечения атмосферы, чтобы гарантировать безопасность экипажа. Создание и поддержание оптимальной атмосферы в обитаемых отсеках космического корабля является сложной задачей, требующей тщательного планирования и использования современных технологий.

Это важно не только для физического здоровья экипажа, но и для их психологического благополучия во время длительного полёта к Марсу.

В ходе работы использовали следующее оборудование, инструменты и материалы:

- Аспиратор ПВ-2 зав. № 2310222 (для отбора проб в сорбционные трубки).
- Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7 М зав. № 64226.
- Хроматограф «Хроматэк 5000.2» зав. № 2352507 с масс-детектором зав. № 2360062 (для качественного и количественного анализа летучих, адсорбированных в трубках).
- Поверочную газовую смесь, содержащую по 1000 ppm (миллионных долей) бутана, пентана, гексана и бензола в гелии высокой чистоты.
- Газоплотные микрошприцы объёмом 250 и 500 мкл.
- Сорбционные трубки ¼” Tenax GR 35/60 меш + Carboxack B 60/80 меш + Carbosieve SIII 60/80 меш.
- Десорбер зав. № 2310230 (устройство кондиционирования сорбционных трубок).
- Термодесорбер двухстадийный ТДС-1 SN 2310432 (в устройстве накопленные летучие вещества десорбируют из сорбционных трубок и направляют в хромато-масс-спектрометр для анализа).



Рисунок - 1 Аспиратор ПВ-2 зав. № 2310222



Рисунок 2 - Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7 М зав. № 64226



Рисунок 3 - Хроматограф «Хроматэк 5000.2» зав. № 2352507 с масс-детектором зав. № 2360062

Таблица 1 - Данные об отборе проб (на 07.03.2025)

№ п/п	№ сорбционной трубки	Наименование и расположение помещения	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Объём пробы, л	Расход отбираемого воздуха, мл/мин
1	2311002	№630, строение 14 ИКИ РАН	21,2	23	1	50
2	2311003		19,5	25	1	50
3	2311004	№628, строение 14 ИКИ РАН	22,6	28	1	50
4	2311005		24	27	1	50
5	2311006	Контроль(без отбора пробы)	-	-	-	-

Отборы проб проводили в комнатах №№ 630 и 511 по адресу: г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, строение 14, ИКИ РАН. С помощью аспиратора через две адсорбционные трубки пропустили 1 л атмосферного воздуха. Пробы брали в закрытых

помещениях в отсутствие людей. В качестве контрольной трубки оставили одну без пробы воздуха.

Затем для построения калибровочных кривых были проведены опыты с калибровочной смесью бутана, пентана, гексана и бензола. Опыты проводились при относительной влажности 12%, температура воздуха – 24°C, объем пробы – 1 л, расход отбираемого воздуха – 50 мл/мин.

На рисунке 4 приведен пример калибровочной хроматограммы.

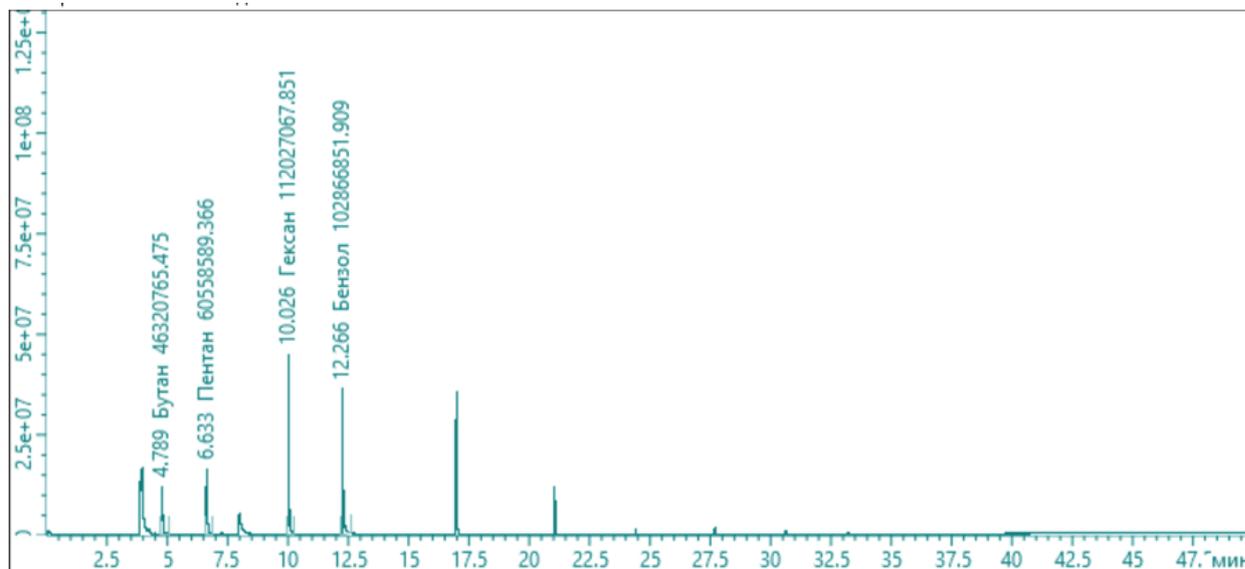


Рисунок 4 - Хроматограмма 50 мкл калибровочной смеси

В программе обработки данных производится расчет площади пиков калибровочных веществ. Далее можно произвести расчет количество или массы вещества в одном мк такой смеси. По полученным данным построены калибровочные графики и сделан расчет для количества вещества некоторых найденных веществ.

Таблица 2 - Площади пиков калибровочных веществ, мВ\*с

Номер сорбционной трубки	Объём калибровочной смеси, мкл	Бутан	Пентан	Гексан	Бензол
2310998	100	85554893,163	113782346,194	229420169,74	237444831,138
2310999	200	174078833,676	-	455103987,457	428772129,013

Номер сорбционной трубки	Объем калибровочной смеси, мкл	Бутан	Пентан	Гексан	Бензол
2311000	500	419307837,072	550043716,067	1027826669,281	984206891,485
2311001	50	46320765,475	60558589,366	112027067,851	102866851,909
2311002	20	17990417,222	22201039,887	47842324,829	50371746,251
2311003	10	9460272,436	14013850,548	24887330,829	25525463,387
-	0	0	0	0	0

По данным видно, что площадь пиков уменьшается пропорционально объему вводимой пробы. В данном диапазоне измерений зависимость площадь пика от объема пробы линейна. На рисунке 5 изображены калибровочные графики.

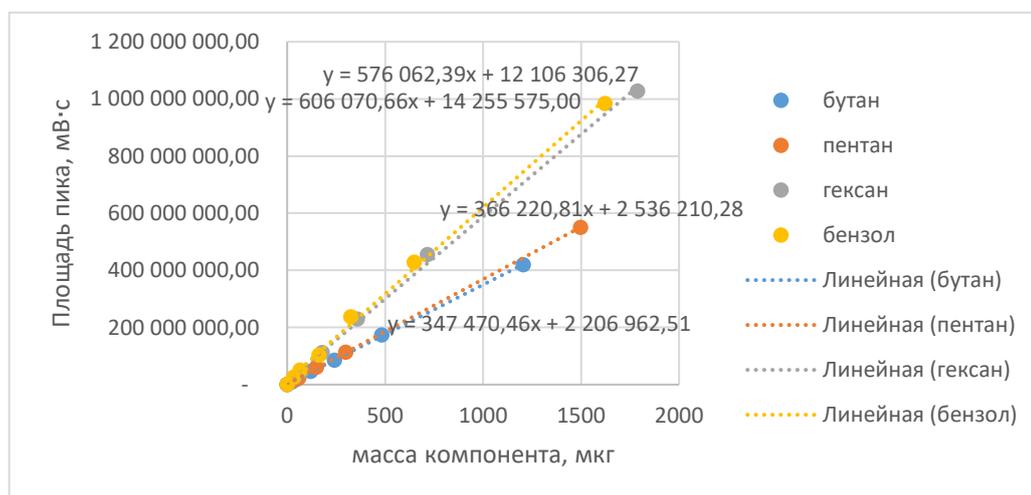


Рисунок 5 - Калибровочные графики

По полученным данным выведенные уравнение прямой зависимости площади пика от объем вводимой пробы. Методом аппроксимации можно получить объемы и других веществ. Для удобства проведенной расчет массы вещества в одном микролитре смеси.

$$m = \frac{V_{в-ва}}{V_m} \cdot M \quad (1)$$

Поскольку измерения проводились не при нормальных условиях, то необходимо было взять молярный объем газов при 20<sup>0</sup>С, приняв что все газы – идеальные.

$$V_m(20^0\text{C}) = 24.055 \frac{\text{л}}{\text{моль}}$$

Таблица 3 - Масса калибровочных веществ в 1 мкл смеси

	Бутан, мг	Пентан, мг	Гексан, мг	Бензол, мг
Масса в 1мкл смеси	0.00000277	0.00000344	0.00000411	0.00000372

Качественный анализ состава воздуха в комнате № 630 показал наличие многих летучих органических веществ таких как ацетальдегид, аммиак, хлорметан, пентан, ацетон, бутан, пентадиен, пропанол-2, гептан, глицерин, но только в следовых количествах, что указывает на исправную работу вытяжных шкафов и вентиляции. Наибольшее количественное значение отмечено у изопропилового спирта и дихлорметана. На рисунке 6 приведена хроматограмма образца воздуха, собранного в этой комнате.

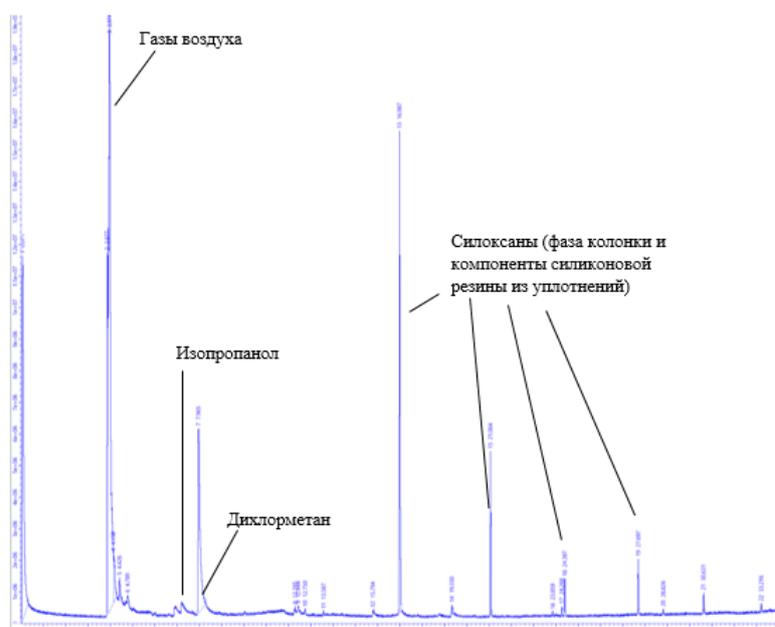


Рисунок 6 - Хроматограмма образца воздуха, комн. № 630 (химическая лаборатория)

Количественно все вещества идентифицировать не удалось, вероятно для этого требуется большее количество пропускаемого атмосферного воздуха и дополнительные калибровки. Однако были рассчитаны самые большие концентрации для дихлорметана и изопропилового спирта. Результат представлен в таблице 4.

Таблица 4 - Количественный анализ атмосферного воздуха в комнате № 630  
(химическая лаборатория)

Исследуемое вещество	Среднее значение концентраций, мг/м <sup>3</sup>	ПДК в воздухе рабочей зоны согласно ГН 2.2.5.3532-18, мг/м <sup>3</sup>
Пропанол-2	0.171851437	10
Дихлорметан	0.256780549	50

Качественный анализ в комнате № 511 показал большее разнообразие органических веществ. Были идентифицированы: пропан, бутан, ацетон, октан, толуол, 3-метилпентан, 2-метилпентан, дихлорметан, 2,2-диметилбутан, пропанол-2, пентадиен, метанол, аммиак, бензол и другие. Их количество существенно выше, чем в комнате № 630. На рисунке 7 приведен пример хроматограммы воздуха, взятого из этой комнаты.

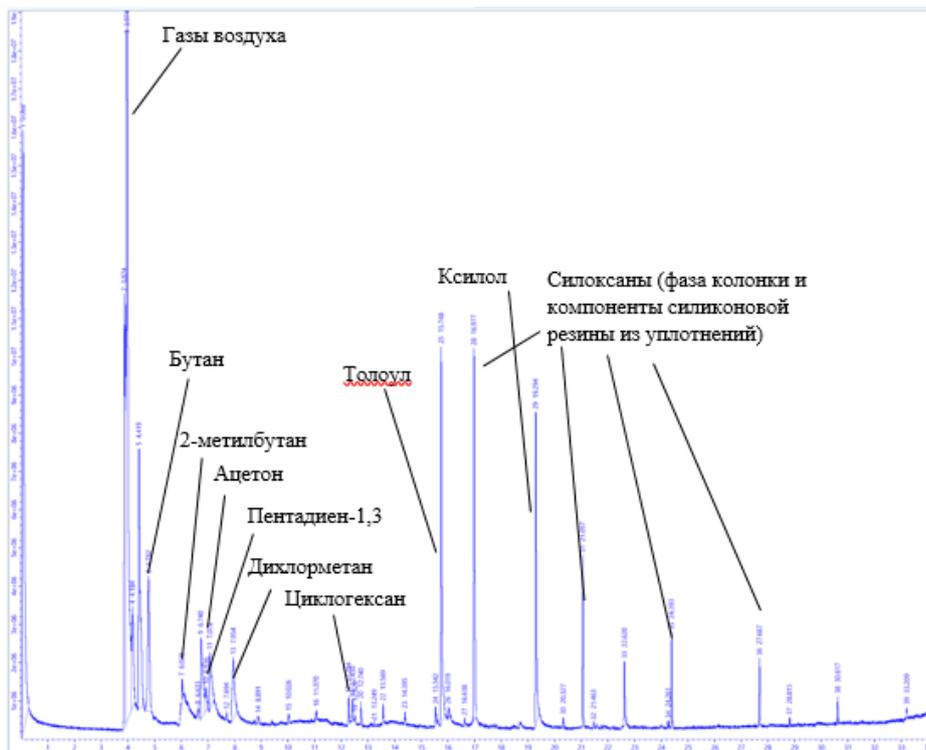


Рисунок 7 - Хроматограмма образца воздуха, комн. 511

Для многих веществ также не удалось провести хороший количественный анализ, необходимы дополнительные анализы с большим количества воздуха и дополнительные калибровки. Результаты, полученные для некоторых веществ представлены в таблице 5. Следует заметить, что наличие вредных примесей в данной комнате определяется органолептически (обнаруживается стойкий неприятный запах).

Количественный анализ для данных компонентов не показал превышения ПДК рабочей зоны, однако для других компонентов точное содержание в воздухе определить не удалось. Требуется провести дополнительное исследование.

Таблица 5 - Количественный анализ атмосферного воздуха в комнате № 511

<b>Исследуемое вещество</b>	<b>Среднее значение концентраций, мг/м<sup>3</sup></b>	<b>ПДК в воздухе рабочей зоны согласно ГН 2.2.5.3532-18, мг/м<sup>3</sup></b>
Бутан	0.0394	300
Ацетон	0.0222	200
Пропанол-2	0.1927	10
Дихлорметан	0.0295	50
Толуол	0.0190	50

В ходе анализа с использованием хроматографа были получены данные о содержании бутана, пентана, гексана и бензола в калибровочной смеси при различных объёмах. Результаты показали, что в заданных объёмах смеси (10, 20, 50, 100, 200 и 500 мкл) содержание каждого из веществ увеличивается пропорционально увеличению объёма смеси. Это подтверждает правильность расчётов и линейность отклика прибора в рабочем диапазоне концентраций.

На результаты хроматографического анализа могут влиять различные внешние факторы, такие как температура, давление, чистота газа-носителя и состояние колонки. В данном исследовании было принято допущение, что все вещества являются идеальными газами, и использовались молярные объёмы, рассчитанные для температуры 20 °С. Это

позволяет учесть влияние температуры на молярный объём и обеспечить более точные расчёты.

Методика анализа может быть использована для определения содержания органических веществ в газовых смесях, однако для более точных результатов необходимо использовать большее количество образца. Зная количество каждого вещества в заданных объёмах смеси, можно построить калибровочные графики, которые позволят определять концентрации неизвестных образцов по их хроматограммам.

В данных опытах удалось идентифицировать вредные примеси в воздухе комнат №№ 511 и 630 ИКИ РАН, однако, для уточнения результатов потребуются дополнительные анализы.

Газовая хроматография и гибридные методы на её основе широко применяются в космических исследованиях для анализа летучих, в том числе и органических веществ в атмосфере и грунте различных космических тел, включая Марс. Благодаря методу газовой хромато-масс-спектрометрии ранее были получены уникальные данные с космических аппаратов о химическом составе атмосферы и грунта красной планеты.

Этот метод также отлично подходит для контроля качества атмосфера на космических станциях, в подводных лодках и в любых рабочих помещениях, где важно следить за качеством воздуха.

В рамках ознакомления с данным методом проведён анализ воздуха офисных и лабораторных помещений ИКИ РАН. По результатам качественного анализа было выявлено множество вредных органических веществ в воздухе комнаты № 511. Рекомендовано провести дополнительные анализы на выявление точных концентрации бензолом, толуола, дихлорметана, ксилолов и других органических веществ. В воздухе комнаты № 630 сильного загрязнения (превышения ПДК) не выявлено, хотя также идентифицированы вредные органические вещества.

#### **Список источников**

1. Руденко, Б. А. Высокоэффективные хроматографические процессы. Т. 1 / Б. А. Руденко.– Санкт-Петербург : Наука, 2003. – 425 с.
2. Кристиан, Г. Аналитическая химия. Т. 2 : в 2 т. / Г. Кристиан. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 504 с. – ISBN 978-5-94774-391-3
3. Вяхирев, Д. А. Руководство по газовой хроматографии : учеб. пособие для хим. и хим.-технолог, спец. вузов. / Д. А. Вяхирев, А. Ф. Шушунова. – 2-е изд. – Москва : Высшая школа, 1987. – 335 с.

4. Заворотный, В. Л. Учебное пособие по курсу «Аналитическая химия» (Хроматография): учебное пособие / В. Л. Заворотный, Н. А. Калачева, Н. К. Зайцев. – Москва : Мин. Обр. Российской Федерации, Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 33 с.
5. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания // Министерство здравоохранения Российской Федерации : [сайт]. – 2023. – URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/10/gosudarstvennaya-farmakopeya-rossiyskoy-federatsii-xv-izdaniya>.
6. Основы масс-спектрометрии органических соединений / В. Г. Заикин, А. В. Варламов, А. И. Микая [и др.] – Москва : Наука/Интерпериодика, 2001. – 286 с. – ISBN: 5-7846-0100-8.
7. Фобос-Грунт : проект космической экспедиции. Т. 1 : [в 2 т.] / НПО им. С. А. Лавочкина Роскосмоса, Ин-т космических исслед. РАН. – Москва : ФГУП "НПО им. С. А. Лавочкина" Роскосмоса ; Учреждение Российской акад. Наук Ин-т космических исслед. РАН, 2011. – 237 с. – ISBN 978-5-905646-02-7.
8. Ball, Philip. Curiosity. How Science Became Interested in Everything / Philip Ball. – Chicago : The University of Chicago Press, 2012. – 475 с.
9. Вестник НПО ИМ. С.А. Лавочкина / Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина –ISSN: 2075-6941. – eISSN: 2311-3367.
10. Longair, M. S. Theoretical concepts in physics: an alternative view of theoretical reasoning in physics / M. S. Longair. – 2nd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2003. – 569 с.
11. Treiman, A. H. The SNC meteorites are from Mars / A. H. Treiman // Planetary and Space Science. – 2000. – № 48 (12-14). – С. 1213-1230.

## Поиск и анализ пересекающихся данных космических телескопов Kepler и TESS

*Изучены методы обнаружения экзопланет, описан метод фотометрии транзита. Проведен поиск, отбор и обработка данных космических телескопов Kepler и TESS. Исследованы возможности совместного использования данных двух космических телескопов. Результаты показаны на небольшой выборке.*

**Ключевые слова:** экзопланеты, фотометрия транзита, транзит, космический телескоп.

Данный проект посвящен исследованию экзопланет. Экзопланета – внесолнечная планета или планета, обращающаяся у звезды отличной от Солнца. Первая экзопланета была открыта в 1995 году, на данный момент статистика насчитывает почти 6000 подтвержденных экзопланет [1].

Существует несколько способов обнаружения экзопланет, они различаются по используемым методикам и данным. Одним из наиболее продуктивных является метод фотометрии транзита. Метод фотометрии транзита — способ обнаружения экзопланет, основанный на наблюдениях за прохождением планеты перед родительской звездой или по диску родительской звезды. Во время транзита планета затмевает часть своей родительской звезды для наблюдателя, так что яркость звезды уменьшается в процессе прохождения транзита. Эти изменения могут быть замечены непрерывным наблюдением яркости звезды и получением кривой блеска. Кривая блеска – функция от времени, показывающая изменение блеска звезды. Если перед звездой проходит планета, затмевая ее, в кривой блеска будет отображаться уменьшение блеска (Рис.1). Если уменьшение блеска происходит периодически, то возможно заключить, что вокруг звезды обращается объект. Это может быть другая звезда (бинарные системы) или экзопланета. Одного измеренного транзита недостаточно для того, чтобы утверждать об обнаружении экзопланеты, в таком случае заявляют об обнаружении кандидата в экзопланеты. Для подтверждения кандидата в экзопланеты, найденного методом фотометрии транзита, используют различные методики, такие как наблюдение параллельно в нескольких фотометрических полосах, или дополнительное использование метода лучевых скоростей. Также подтверждение возможно при получении 3 аналогичных транзитов независимыми инструментами.

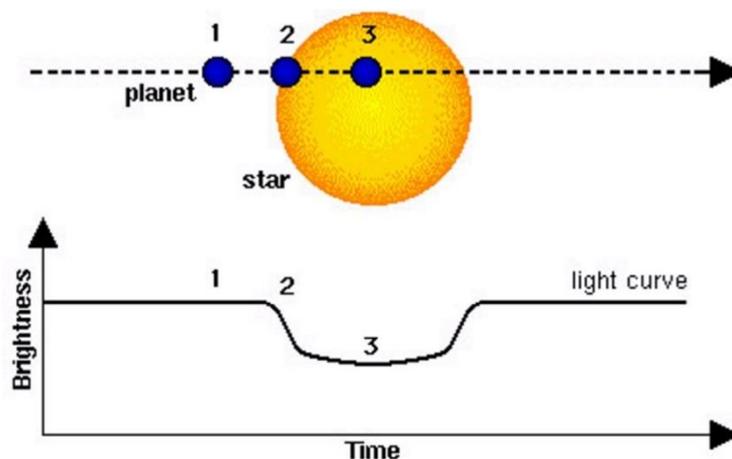


Рисунок 1 – Пример кривой блеска (credit: ESA Hans Deeg)

Впервые экзопланета методом фотометрии транзита была наблюдаена в 1999 году. Экзопланета HD 209458 b ранее уже была открыта методом лучевых скоростей, поэтому это не считается первым открытием. Но это событие по праву можно считать подтверждением состоятельности метода фотометрии транзита. Первое же открытие транзитным методом произошло в 2002 году, когда была открыта планета OGLE-TR-56 b. До 2006 года все наблюдения проводились с Земли, одним из наиболее знаменитых проектов по поиску экзопланет с Земли является SuperWASP. SuperWASP включает в себя две обсерватории – SuperWASP-North на острове Пальма (Канарские острова) и SuperWASP-South, находящейся в Южной Африке. Каждая обсерватория состоит из набора восьми объективов диаметром 200 мм каждый, оснащённых мощными ПЗС-матрицами. Большое поле обзора обеих обсерваторий позволяет покрывать значительную область неба, что упрощает способ обнаружения объектов. Данный проект до сих пор функционирует.

В 2006 году метод транзита был выведен в космос. Первым космическим телескопом для обнаружения экзопланет методом фотометрии транзита был CoRoT (**C**onvection, **R**otation et **T**ransits planétaires). CoRoT был создан французским космическим агенством, работал с 2006 по 2013 год на орбите Земли, открыл 34 новых планеты. Второй космический телескоп – Kepler. Kepler был создан National Aeronautics and Space Administration (NASA) и запущен в 2009 году, проработал до 2018 года на гелиоцентрической орбите. Телескоп проработал 9 лет 7 месяцев и 23 дня, хотя изначально планировалось лишь 3,5 года. Он был отключен 15 ноября 2018 года, в связи с нехваткой топлива для коррекции орбиты. Интересный факт, 15 ноября 1630 года – дата смерти Иоганна Кеплер, чье имя и носит телескоп.

Период работы Kepler можно разделить на два этапа: до 2014 года, и после 2014 года. 30 мая 2014 года официально стартовала миссия «K2», вследствие поломки двух гироскопов, из-за которой стабилизировать аппарат не удавалось. Инженеры NASA нашли решение проблемы – выравнить аппарат исходя из светового давления, оказываемого на него. Но из-за этого изменилась область наблюдения аппарата. Если ранее он смотрел в одну и ту же точку неба, лежащую вне эклиптики, чтобы Солнце не мешало наблюдениям, то теперь он наблюдал за девятью точками, меняя их раз в 83 дня. Это произошло из-за того, что если бы он смотрел в одну точку, как раньше, то Солнце периодически попадало бы в поле зрения телескопа, и выводило бы его из строя. Таким образом, телескоп смог проработать еще четыре года. Kepler принес 3326 подтвержденных экзопланет (совокупно за обе стадии) и 2958 кандидатов в экзопланеты, которые на данный момент ждут своего подтверждения. TESS (англ. **T**ransiting **E**xoplanet **S**urvey **S**atellite) — третий космический телескоп, предназначенный для открытия экзопланет транзитным методом, разработан Массачусетским технологическим институтом в рамках Малой исследовательской программы NASA. Телескоп был запущен 18 апреля 2018 года на ракете-носителе Falcon 9 и уже в течение шести лет проводит всепогодные исследования с целью более подробного изучения ранее открытых и обнаружения ранее неизвестных экзопланет на орбитах вокруг ярких звезд. На 17 марта 2025 года TESS привнес 4809 экзопланетных кандидатов и 613 подтвержденных экзопланет.

Главное отличие TESS от Kepler заключается в том, что TESS проводит поиск экзопланет, находящихся на относительно небольшом расстоянии от нашей планеты (200 световых лет), в то время, как расстояние поиска Kepler составляло до 3000 световых лет, вследствие чего тусклость большинства открытых им миров не позволяет даже самым современным наземным телескопам измерить их лучевую скорость.

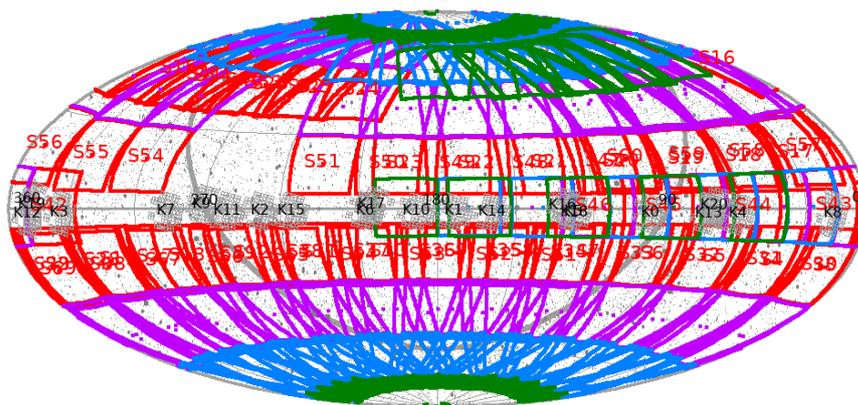


Рисунок 2 - Наложение обзоров TESS 1-7 года (цвет). Наложение обзоров Kepler – серые участки с K. Credit: TESS MIT Operation Center

Данные Kepler и TESS можно совместить, так как TESS охватывает все небо целиком, в том числе и участки, ранее просматриваемые Kepler. А с учетом того, что орбиты TESS и Kepler различаются, мы можем рассматривать экзопланеты Kepler с точки зрения TESS, и таким образом получать более точные сведения.

Считаю важным привести примеры нескольких экзопланет, которые были открыты телескопом Kepler. Данные примеры показывают разнообразие экзопланетного мира.

Kepler 438b – экзопланета у звезды Kepler-438 в созвездии Лиры, открытая орбитальным телескопом «Кеплер». Её открытие было публично объявлено NASA 6 января 2015 года. Находится на расстоянии 470 световых лет от Солнца. Эта экзопланета интересна не только тем, что очень похожа по своим параметрам на Землю, но и тем, что находится в области своей звёздной системы, где условия близки к земным. Но атмосфера планеты Kepler-438b страдает от мощного излучения её звезды — красного карлика Kepler-438, что ставит под сомнение возможность жизни на планете.

Kepler-62e — четвёртая по удалённости экзопланета, обнаруженная у звезды Kepler-62, находящейся в созвездии Лиры. Она вместе с планетой Kepler-62f может быть обитаемой. Она в полтора раза больше Земли, значит может удерживать атмосферу. Учёные предполагают, что эта планета может быть полностью покрыта океаном. Несмотря на то, что масса экзопланеты в 3 раза больше земной, сила тяжести там всего на 17,3 % больше, чем на Земле.

Kepler-62f — экзопланета в планетной системе звезды Kepler-62 (созвездие Лира). Находится на расстоянии около 1200 световых лет от Солнца. Она на 41 % больше, чем Земля. Учёные вычислили, что возраст этой планеты приблизительно 7,5 миллиарда лет. Это одна из двух планет в этой системе, у которых климатические условия на поверхности схожи с земными.

Согласно информации с сайта NASA Exoplanet Archive<sup>1</sup> на 17 марта 2025 года открыто и подтверждено 5856 экзопланет. При этом еще примерно 10 000 экзопланет находится в статусе кандидатов – ждет подтверждения. Актуальность исследования возможности совместного использования данных двух космических телескопов обоснована тем, что большая доля экзопланет открыта методом фотометрии транзита и благодаря именно двум основным космическим миссиям – Kepler и TESS. Так возможно использовать новые наблюдательные данные TESS для кандидатов, выделенных Kepler, чтобы понять являются ли они экзопланетами или ошибкой обработки данных Kepler, уточнить периоды планет и прочие параметры.

---

<sup>1</sup> <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html>

Данная работа проведена с целью понять возможно ли использовать данные звезд, которые были получены параллельно двумя независимыми космическими телескопами Kepler и TESS для более точного определения параметров экзопланет и их подтверждения.

Были выделены следующие задачи:

1. Изучение метода фотометрии транзита, чтение литературы по теме экзопланет.
2. Изучение библиотек python для анализа и визуализации данных.
3. Изучение работы архивов данных NASA exoplanet archive и MAST: Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes.
4. Выделение наборов данных, соответствующих целям исследований.
5. Выполнить анализ наборов данных из пункта 4.

В качестве материалов исследования были использованы открытые архивные данные телескопов Kepler и TESS. Эти данные представляют собой кривые блеска. Информация о доступных данных и сами данные были получены из MAST: Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes<sup>2</sup>

Для анализа данных был использован язык программирования Python, в частности несколько дополнительных библиотек для работы с данными телескопов и их визуализации: pandas, matplotlib, lightkurve. Особое внимание необходимо уделить пакету lightkurve [2], который был создан специально для работы с данными Kepler и TESS. Также создатели указывают на то, что этот пакет подходит для обучения работе с данными.

Для того, чтобы найти пересекающиеся данные было решено последовать примеру [3]. Положение объекта на небесной сфере описывается двумя координатами: right ascension (RA) или прямое восхождение и declination (Dec) или склонение (Рис.3). Прямое восхождение измеряет угловое расстояние объекта в восточном направлении вдоль небесного экватора от точки весеннего равноденствия. Прямое восхождение — это небесный эквивалент земной долготы. Склонение измеряет угловое расстояние объекта к северу или югу от небесного экватора. Склонение — это небесный эквивалент земной широты. Каждая звезда имеет определенные RA и Dec. Но при работе с данными космических телескопов необходимо учитывать небольшую погрешность в определении RA и Dec. Так, авторы статьи [3] брали во внимание погрешность в 6'' при сопоставлении координат списков Kepler и TESS. Мы решили использовать погрешность в 1'', поскольку ее оказалось достаточно для формирования выборки.

---

<sup>2</sup> <https://mast.stsci.edu/portal/Mashup/Clients/Mast/Portal.html>

Имея два списка кандидатов экзопланет, сформированных с помощью NASA Exoplanet Archive и условия поиска пересекающихся RA и Dec (с радиусом в 1''), стало возможно найти звезды, которые наблюдал Kepler и TESS независимо.

Список звезд, которые были выбраны для работы приведен в Таблице 1, которая позволит перейти к поиску в архиве данных MAST.

Таблица 1 - Выборка звезд, одновременно наблюдавшихся телескопами Kepler и TESS. EPIC ID – номер звезды в базе данных Kepler, TIC ID – номер звезды в базе данных TESS

EPIC ID	TIC ID
EPIC 201565013	TIC 325275220
EPIC 201626686	TIC 363445389
EPIC 202088212	TIC 438071843
EPIC 202093020	TIC 307016006



Рисунок 3 - Иллюстрация координат объекта на небесной сфере. Credit: Vito Technology

На рисунке 4 показан пример звезды EPIC 201565013, для которой есть наблюдения Kepler и TESS. Контуры показывают поле зрения двух космических телескопов, оранжевый цвет – поле зрения телескопа Kepler, белый цвет – 2 обзора телескопа TESS.



Рисунок 4 - Контуры показывают поле зрения двух космических телескопов вокруг звезды EPIC 201565013, оранжевый цвет – поле зрения телескопа Kepler, белый цвет – 2 обзора телескопа TESS

Дальнейшая работа проведена с помощью библиотеки для обработки данных lightkurve. Встроенные функции lightkurve позволяют обращаться напрямую в архив данных MAST, что удобно для дальнейшей работы с данными. Также в lightkurve реализована основная функция для поиска экзопланет – периодограмма. Рассматриваемые кривые блеска (для всех 4 звезд) имеют достаточно очевидные периоды падения яркости, такие случаи просты для поиска экзопланет. Применение функции периодограммы явно показывает сигнал с каким периодом является наиболее мощным. Создание периодограммы является сложным математическим действием, поэтому использование готовых решений сильно облегчает работу. Таким образом из кривых блеска можно найти период экзопланеты.

Дальше проводится сравнение полученных значений периодов из данных Kepler и из данных TESS для каждой звезды.

Был проведен анализ кривых блеска Kepler и TESS. Пример полученных графиков для звезды EPIC 201565013 (TIC 325275220) приведены на рисунках 5 и 6.

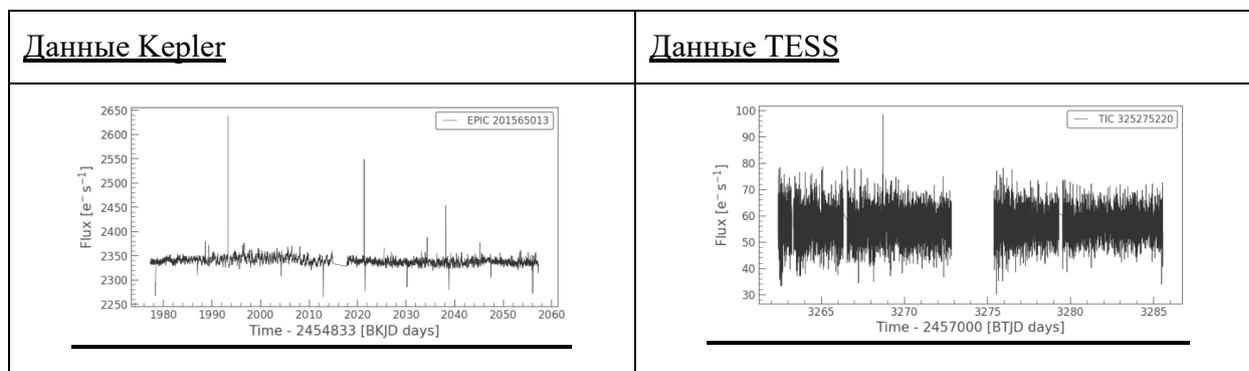


Рисунок 5 - Результат анализа данных звезды EPIC 201565013 (TIC 325275220)

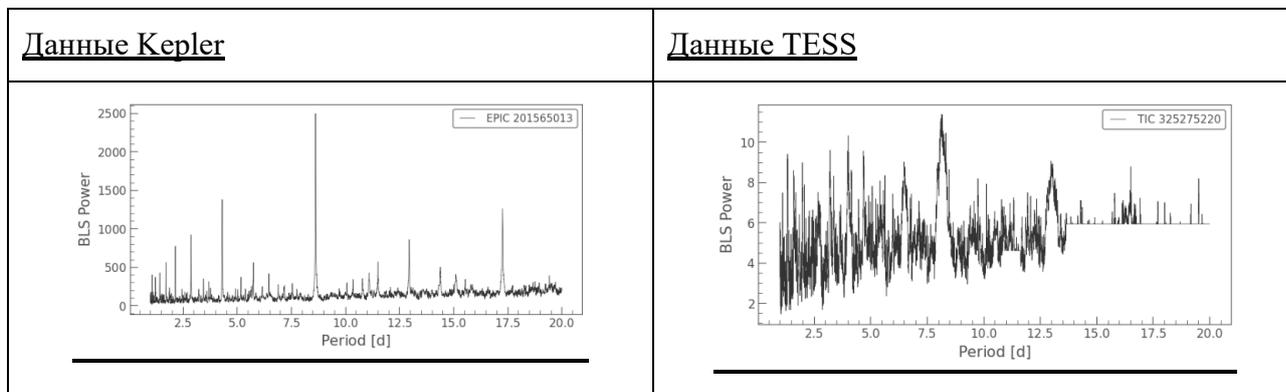


Рисунок 6 - Результат анализа данных звезды EPIC 201565013 (TIC 325275220)

На верхних графиках показаны кривые блеска, слева данные Kepler, справа данные TESS. На нижних графиках показаны результаты использования функции построения периодограммы, слева данные Kepler, справа данные TESS. При помощи использования функции периодограммы были получены периоды для звезд по данным Kepler и TESS, результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты анализа кривых блеска

ID	Kepler период (дни)	TESS период (дни)
EPIC 201565013/TIC 325275220	8,63	8,15
EPIC 201626686/TIC 363445389	5,27	5,28
EPIC 202088212/TIC 438071843	5,63	2,62
EPIC 202093020/TIC 307016006	4,24	3,29

Из таблицы 2 видно, что результаты анализа данных Kepler и TESS находятся в согласии. В случае EPIC 202088212/TIC 438071843 отличие в периоде в 2 раза может быть связано с тем, что данные Kepler были сильно зашумлены и только часть из них может быть применена для анализа. Аналогичная ситуация с данными Kepler звезды EPIC 202093020/TIC 307016006.

По результатам проведенного анализа можно заключить, что совместное использование данных Kepler и TESS позволяет точнее определять параметры экзопланет. Но при проведении подобного анализа необходимо уделять особое внимание качеству данных, как было показано

в секции «Полученные результаты». Использование сильно зашумленных данных может привести к получению некорректных результатов, которые будут довольно сильно не соответствовать результатам параллельного независимого анализа. Анализ совместных кандидатов может помочь выделить те из них, которые наиболее интересны для дальнейших наблюдений и исследований. Также анализ архивных данных является важным этапом подготовки последующих миссий.

#### **Список источников**

1. Perryman, M. The exoplanet handbook / M. Perryman. – 2nd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2018. – 952 с.
2. Kepler and TESS time series analysis in Python / Cardoso, J.V., Hedges, C.L., Gully-Santiago, M.A., Saunders, N. [et al] // Astrophysics Source Code Library. – 2018.
3. Barclay, T. A catalog of stars observed simultaneously by Kepler and TESS / T. Barclay, G. Barentsen // Research Notes of the AAS. – 2018. – Vol. 2, № 4. – С. 192. – DOI 10.3847/2515-5172/aae9e2.

## Применение хроматографии для исследований Луны

*В данной работе были изучены метод газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии, способы применения хроматографии на земле и в космосе (в частности – для исследования Луны), а также определён химический состав примесей в воздухе лабораторных и офисных помещений ИКИ РАН. Была оптимизирована методика качественного и количественного анализа летучих органических соединений с предварительной адсорбцией на сорбционных трубках, последующим хромато-масс-спектрометрическим анализом. В воздухе помещений обнаружены вредные вещества, такие как бензол, толуол, ацетон, изопропиловый спирт, дихлорметан и другие. Для некоторых из них были определены концентрации в воздухе и проведено сравнение с предельно допустимыми концентрациями данных веществ в воздухе рабочей зоны. Даны рекомендации по улучшению методики анализа и проведению дополнительных анализов в данных помещениях.*

**Ключевые слова:** *газовая хромато-масс-спектрометрия, летучие органические вещества, химический анализ, исследование Луны, реголит, лунный грунт, контроль качества воздуха.*

Проект был выполнен в лаборатории прямых физико-химических исследований планет (лаборатории 532) отдела физики планет ИКИ РАН. Лаборатория занимается, в частности, физико-химическими методами анализа внеземного вещества и его аналогов.

Цель работы заключается в ознакомлении с методом пиролитической хромато-масс-спектрометрии и её возможными применениями в космических исследованиях, в частности – Луны.

Для реализации проекта были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить литературные источники по теме хромато-масс-спектрометрии и ее применениях в космических исследованиях;
- 2) освоить технику безопасности работы в химической лаборатории;
- 3) изучить и оптимизировать методику качественного и количественного анализа летучих органических соединений, содержащихся в воздухе;

4) провести качественное и количественное определение летучих органических примесей в воздухе офисных и лабораторных помещений ИКИ РАН методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС).

Программой российско-китайского сотрудничества в области космических исследований предусмотрено создание и эксплуатация лунной базы. Важный аспект жизнеобеспечения обитаемых отсеков будущей базы – поддержание требуемой чистоты воздуха. Для этого требуется проводить постоянный мониторинг содержания не только макрокомпонентов ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , паров  $H_2O$ ) воздушной среды, но и токсичных микропримесей, таких как  $CO$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $CS_2$ ,  $COS$ , углеводородов, альдегидов, кетонов, карбоновых кислот, фенолов и т.д. Данные примеси могут обладать как острой токсичностью при высоких концентрациях, вызывая острое отравление при ингаляционном или кожно-резорбтивном поступлении в организм, так и хронической токсичностью при низких концентрациях, но длительном воздействии.

Для ознакомления с методом мониторинга токсичных примесей в воздухе обитаемых отсеков лунной базы проведено исследование воздушной среды офисных и лабораторных помещений ИКИ РАН методом ГХ/МС. Данное исследование также поможет оценить условия работы сотрудников Института. По результатам исследования можно будет судить о степени загрязненности воздуха примесями летучих органических веществ и уточнить, соответствует ли данный уровень загрязнений нормам ПДК для воздуха рабочей зоны. Отталкиваясь от результатов анализа, можно будет предоставить рекомендации для сотрудников и соответствующих служб Института об улучшении условий труда.

ГХ/МС – быстрый и точный метод мониторинга воздуха в окружающей среде на присутствие вредных примесей (удобно для экологических исследований), хорошо воспроизводится. В лаборатории 532 есть всё необходимое оборудование для проведения такого анализа. Данным методом можно установить наличие вредных веществ в атмосфере даже в низких концентрациях (десятых, сотых долей  $mg/m^3$  и менее), не затрачивая на это много времени.

**Газовая хроматография** – метод разделения и анализа смесей веществ, основанный на их распределении между неподвижной и подвижной фазами. Компоненты смеси разделяются в зависимости от их взаимодействия с неподвижной фазой, что позволяет получить индивидуальные пики на хроматограмме.

**Подвижная фаза:** газ-носитель, который транспортирует компоненты смеси через хроматографическую колонку. Обычно используют химически чистые инертные газы (гелий, аргон, азот).

**Хроматографическая колонка.** В газовой хроматографии чаще всего используют капиллярные колонки: тонкие стеклянные или стальные трубки длиной несколько метров, через которую проходит газ-носитель с компонентами исследуемой смеси.

**Неподвижная фаза:** это сорбент, нанесенный на внутренние стенки капиллярной колонки.

**Детектор:** устройство, регистрирующее изменение физико-химических свойств проходящего через него газа-носителя. Как только в потоке-газа появляется исследуемое вещество, физико-химические свойства смеси меняются (теплопроводность, электропроводность и другие свойства), и детектор мгновенно это регистрирует.

Суть метода: анализируемая смесь летучих компонентов переводится в газовую фазу и далее проталкивается далее непрерывно подаваемым газом-носителем в хроматографическую систему, попадает в хроматографическую колонку, заполненную неподвижной (стационарной) твердой или жидкой фазой – НФ [1].

Поток газа-носителя увлекает с собой разделяемую смесь вдоль хроматографической колонки, так что процессы сорбция-десорбция разделяемых компонентов повторяется многократно. Поскольку взаимодействие различных разделяемых веществ к НФ различно, то перемещение веществ вдоль колони происходит с разной скоростью. Таким образом, хроматографической колонки вместе с газом-носителем выходят зоны парообразных хроматографируемых веществ. Пары разделенных компонентов вместе с газом-носителем поступают в детектор хроматографа, генерирующий электрический сигнал — чем выше концентрация компонента в парогазовой смеси, тем сильнее будет этот сигнал. Система обработки преобразует и усиливает сигнал, затем выдаёт исследователю в виде хроматограммы – графика зависимости уровня сигнала от времени. Эти хроматограммы и используются для качественной и количественной обработки результатов анализа разделяемой смеси компонентов [2].

Метод **масс-спектрометрии** основан на ионизации частиц вещества и последующем разделении образовавшихся ионов в электромагнитном поле. Ионы разделяются в зависимости от присущих им отношений массы к заряду, затем регистрируются детектором [3]. Масс-спектр несет информацию и о молекулярной массе анализируемого вещества и о его структуре, т.к. учитывает не только наличие того или иного иона, но и интенсивность сигнала (количество этих ионов), а также учитывает сигналы ионов, на которое распадается вещество при его ионизации. Таким образом, на масс-спектре, как правило, видно несколько сигналов: самого ионизированного вещества и продуктов его распада.

Основные этапы анализа:

- 1) ионизация вещества;

- 2) разделение ионов;
- 3) регистрация ионов детектором.

Ионизацию можно проводить различными способами:

1) электронным ударом (электронной ионизацией) – анализируемую газовую смесь вводят в источник ионов, где они подвергаются бомбардировке пучком электронов;

2) химической ионизацией – источник ионов заполняется каким-либо газом при повышенном давлении (метан или изобутан), который ионизуется все тем же электронным ударом, индуцируя ионно-молекулярные реакции, ведущие к образованию ионов-реагентов, которые, в свою очередь взаимодействуют с молекулами исследуемого вещества, ведя к их ионизации;

3) ионизация в индуктивно-связанной плазме (обычно аргоновой). Попавшие в такую плазму молекулы и атомы моментально становятся ионами.

Существуют и другие методы, каждый из них эффективнее использовать для своего типа анализируемого вещества [3].

Разделение проводят в электромагнитном поле, создаваемое, например, квадруполем (как в нашем случае). Ионный пучок направляется между четырьмя параллельными электродами, создающими электромагнитное поле. Ионы в этом поле начинают колебаться, часть ионов с высокой амплитудой колебаний нейтрализуется при столкновении с электродами, часть приобретают фиксированную амплитуду и детектируются [3, 4].

Метод масс-спектрометрии обладает очень высокой точностью и способен обнаружить следовые количества вещества, в особенности, в сочетании с хроматографией.

Космические исследования на примере исследований Луны. Исследование грунта Луны – это важная задача, которая позволяет учёным лучше понять историю и геологию естественного спутника земли.

Изучение поверхности Луны представляет собой сложную задачу по нескольким причинам:

**Физические условия.** Сила тяжести на спутнике нашей планеты в шесть раз меньше, чем на Земле, по этой причине на Луне практически нет атмосферы и воды в жидком виде на ее поверхности.

Солнечные сутки длятся около 29,5 земных суток. Лунный день длится 354 часа, в этот период поверхность спутника разогревается до +127°C, в течение же ночи, которая также длится 354 часа, температура поверхности уменьшается до -173°C. Такие резкие изменения температуры вызваны отсутствием атмосферы, которая могла бы смягчить колебания температуры, а также длинные день и ночь. Это создаёт серьёзные вызовы для работы

исследовательских аппаратов и требует разработки специальных технологий для обеспечения их защиты и функционирования.

**Геологические особенности.** Поверхность Луны покрыта пылью и песком, что затрудняет передвижение исследовательских роботов и сбор образцов грунта. Кроме того, на Луне присутствуют различные геологические образования, такие как кратеры, каньоны и вулканы, которые требуют детального изучения и анализа.

**Отсутствие магнитного поля.** У Луны отсутствует глобальное магнитное поле, что делает его поверхность уязвимой для воздействия солнечной и космической радиации. Это может негативно сказаться на работе электронных компонентов исследовательских аппаратов и потребовать дополнительных мер защиты.

**Ограниченные ресурсы.** Исследовательские миссии на Луну требуют значительных финансовых и технических ресурсов. Ограниченность этих ресурсов может привести к необходимости выбора приоритетных задач и направлений исследования, а также к оптимизации использования доступных технологий [5].

Для исследования спутника Земли используются как дистанционные методы (наблюдения с помощью наземных телескопов, околоземных и лунных спутников), так и методы *in situ*. Разные страны отправляют свои луноходы, посадочные платформы для изучения Луны.

В Советском союзе была запущена серия аппаратов «Луна», среди которых были и посадочные и платформы, и спутники, и луноходы. Например, первой успешной миссией была АМС «Луна-3», отправившая на Землю фотографии обратной стороны Луны. Затем впервые совершил мягкую посадку аппарат «Луна-9». С его помощью получили данные об уровне радиации на Луне, фотографии поверхности и другие характеристики. Другой аппарат «Луна-13» впервые исследовал *in situ* механические свойства лунного грунта [6,7,8].

В данный момент разрабатывается новый космический аппарат – «Луна-27». Предполагается, что место посадки будет в приполярной области Луны. Изучение лунного субполярного реголита поможет научному сообществу увереннее определить происхождение лунных субполярных летучих веществ, установить их количественные характеристики, а также представить их возможное использование при будущем исследовании Луны.

Например, для этого исследования группа специалистов разработала Газоаналитический комплекс, состоящий из четырех интегрированных приборов: газового хроматографа (ГХ-Л), масс-спектрометра нейтральных газов (НГМС), перестраиваемого диодного лазерного спектрометра (ТДЛАС) и дифференциального термического анализатора (ТА-Л). Этот комплекс предназначен для установки на борту посадочного модуля «Луна-Ресурс». Он предназначен для различных измерений

Основными научными задачами Газоаналитического комплекса являются: качественные и количественные измерения приповерхностных летучих отложений и их поведения в течение лунных суток. Анализ минерального состава субполярного реголита Луны. Зондирование приповерхностной экзосферы и мониторинг изменений экзосферы в течение лунных суток [3].

В настоящее время разрабатывается комплекс научной аппаратуры для спускаемого аппарата «Луна-27» в его состав входит газовый хроматограф ГХ-Л и спектрометр ДЛС. Основные принципы хромато-масс спектрометрии (ХМС) на Луне.

Газоаналитический комплекс выполняет задачу по всестороннему исследованию летучих компонентов в грунте в месте посадки.

Непосредственными задачами, решаемыми комплексом, являются:

1) исследование химического состава и абсолютных количеств летучих соединений (вода, CO<sub>2</sub>), органические соединения, благородные газы и др.) в доступных для экспедиции поверхностных породах;

2) получение информации о формах вхождения летучих соединений в вещество поверхности;

3) исследование органического вещества в породах поверхности;

4) измерение изотопного состава основных летучих элементов: С, Н, О, N.;

5) построение модели минерального состава вещества поверхности с акцентом на минералы, содержащие летучие компоненты, на основании данных термического, газового и элементного анализа (с применением данных измерений других приборов экспедиции) [3].

Отдельное направление исследований – изучение лунного грунта, привезённого на землю. Впервые образец этого материала доставил аппарат «Луна-16».

Для этого в СССР были созданы специальные камеры для работы с лунным грунтом: в Институте геохимии и аналитической химии им. Вернадского АН СССР (ГЕОХИ АН СССР) – приемная камера для работы с грунтом в атмосфере гелия, а в Научно-исследовательском институте тепловых процессов (НИИТП) специализированный стенд ЛГ-1 для работы с грунтом в атмосфере гелия или в вакууме. В 1974 году ГЕОХИ АН СССР опубликовал сборник работ под названием «Лунный грунт из Моря Изобилия», где в многочисленных статьях рассказывалось об изучении образцов лунного грунта и сравнивался лунный грунт из Моря Изобилия (место посадки «Луны-16»), Моря Спокойствия (место посадки «Аполлона-11») и Океана Бурь (место посадки «Аполлона-12»)[9].

Позднее, лунный грунт привозили также «Луна-20» и «Луна-24».

Большое количество лунного грунта было привезено миссиями Аполлон, что позволило изучить минералы и породы более подробно. Были идентифицированы 20 минералов, известных на Земле, что говорило в пользу единого источника происхождения обоих небесных

тел. В то же время были обнаружены три новых минерала, которые в 1969 году на Земле были не известны. Один из них был назван транквиллититом, второй армалколитом (по первым буквам фамилий астронавтов), третий пироксферроитом.

Выяснилось, что образцы имеют разный возраст, это указывало на то, что поверхность Луны была сформирована более чем одним катастрофическим событием. Пробы, взятые с глубины, показали, что когда-то этот грунт находился на поверхности. Химический и минералогический состав лунных пород оказался отличным от земных. В них было меньше летучих элементов, таких как натрий, но гораздо больше титана, хрома, иттрия, ванадия, циркония. Поразительным для учёных оказалось почти полное отсутствие в лунных базальтах такого редкоземельного элемента, как европий, были обнаружены углерод и его соединения, большое количество инертных газов, заключённых в породах. Все эти открытия позволили уточнить возраст Луны и процессы, происходящие на ней [10].

Большой интерес представляет китайская лунная программа, в частности миссия Чанье-5. Она привезла в 2020 году более одного килограмма проб лунной породы и почвы. Доставленные породы - самые молодые из когда-либо привезённых на Землю. Китайские учёные обнаружили в лунном базальте новый фосфатный минерал, был изучен химический, минералогический состав грунта, были проведены эксперименты по получению из него воды. Такие эксперименты представляют большой интерес с точки зрения освоения Луны, т.к. позволит добывать воду на самом спутнике. В России на данный момент готовятся эксперименты по подробному изучению состава летучих веществ лунного реголита [11].

Для исследования возможных физических и химических процессов, происходящих в лунном реголите, также проводятся модельные эксперименты аналогами лунного грунта из земных минералов. Так, например, можно сделать предположения механизмах появления летучих веществ на поверхности Луны и об эволюции её поверхности.

В ходе работы использовали следующее оборудование, инструменты и материалы:

- 1) Аспиратор ПВ-2 зав. № 2310222 для отбора проб в сорбционные трубки.
- 2) Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7 М зав. № 64226.
- 3) Хроматограф «Хроматэк 5000.2» зав. №2352507с масс-детектором зав. №2360062 (для качественного и количественного анализа летучих, адсорбированных в трубках).
- 4) Десорбер зав. № 2310230 (устройство кондиционирования сорбционных трубок). В нём сорбционные трубки перед отбором проб продувают при ступенчатом нагревании от 50 до 300°C током высокочистого азота из генератора в течение нескольких часов для очистки от летучих примесей.

5) Термодесорбер двухстадийный ТДС-1 зав. № 2310432. В нём накопленные летучие вещества десорбируют из сорбционных трубок и направляют в хромато-масс-спектрометр для анализа.

6) Сорбционные трубки ¼” Tenax GR 35/60 меш + Carborack B 60/80 меш + Carbosieve SIII 60/80 меш.

7) Поверочную газовую смесь, содержащую по 1000 ppm (миллионных долей) бутана, пентана, гексана и бензола в гелии высокой чистоты.

8) Газоуплотненные микрошприцы объёмом 250 и 500 мкл.



Рисунок 1 - Аспиратор ПВ-2 зав. № 2310222



Рисунок 2 - Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7 М зав. № 64226



Рисунок 3 - Хроматограф «Хроматэк 5000.2» зав. № 2352507 с масс-детектором зав. № 2360062

Для проведения опыта были отобраны четыре пробы в разные сорбционные трубки: две из комнаты № 511 и две из комнаты № 631 (по адресу: г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, строение 14, ИКИ РАН). Пробы отбирались с помощью аспиратора в закрытых помещениях в отсутствие людей. В помещении № 631 работала приточно-вытяжная вентиляция. Объем взятой пробы – 1 л.

Таблица 1 - Данные об отборе проб (на 07.03.2025)

№ п/п	№ сорбционной трубки	Наименование и расположение помещения	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Объем пробы, л	Расход отбираемого воздуха, мл/мин
1	2311002	№631, строение 14 ИКИ РАН	21,2	23	1	50
2	2311003		19,5	25	1	50
3	2311004	№628, строение 14 ИКИ РАН	22,6	28	1	50
4	2311005		24	27	1	50
5	2311006	Контроль (без отбора пробы)	-	-	-	-

Затем для построения калибровочных кривых были проведены опыты с калибровочной смесью бутана, пентана, гексана и бензола. Опыты проводились при относительной влажности 12%, температура воздуха – 24<sup>o</sup>С, объем пробы – 1 л, расход отбираемого воздуха – 50 мл/мин.

На рисунке 4 приведен пример калибровочной хроматограммы.

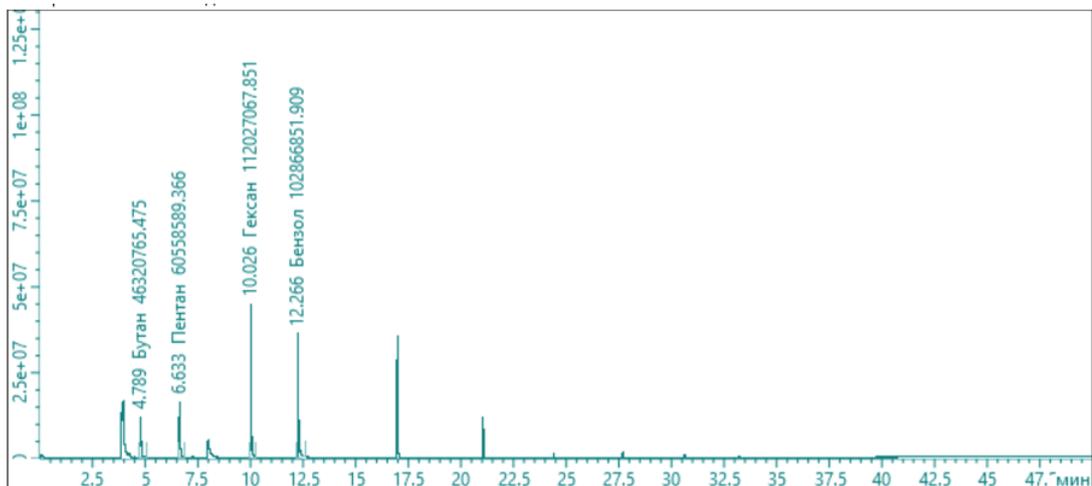


Рисунок 4 - Хроматограмма 50 мкл калибровочной смеси

В программе обработки данных производится расчет площади пиков калибровочных веществ. Далее можно произвести расчет количество или массы вещества в одном мк такой смеси. По полученным данным построены калибровочные графики и сделан расчет для количества вещества некоторых найденных веществ.

Таблица 2 - Площадь (мВ·с) пиков калибровочных веществ

Номер сорбционной трубки	Объем калибровочной смеси, мкл	Бутан	Пентан	Гексан	Бензол
2310998	100	85554893,163	113782346,194	229420169,74	237444831,138
2310999	200	174078833,676	-	455103987,457	428772129,013
2311000	500	419307837,072	550043716,067	1027826669,28 1	984206891,485
2311001	50	46320765,475	60558589,366	112027067,851	102866851,909
2311002	20	17990417,222	22201039,887	47842324,829	50371746,251
2311003	10	9460272,436	14013850,548	24887330,829	25525463,387
-	0	0	0	0	0

По графикам видно, что с массы уменьшается и сигнал от детектора. Площадь пиков линейно зависит от количества вещества. По этим данным построены калибровочные графики (рисунок 5).

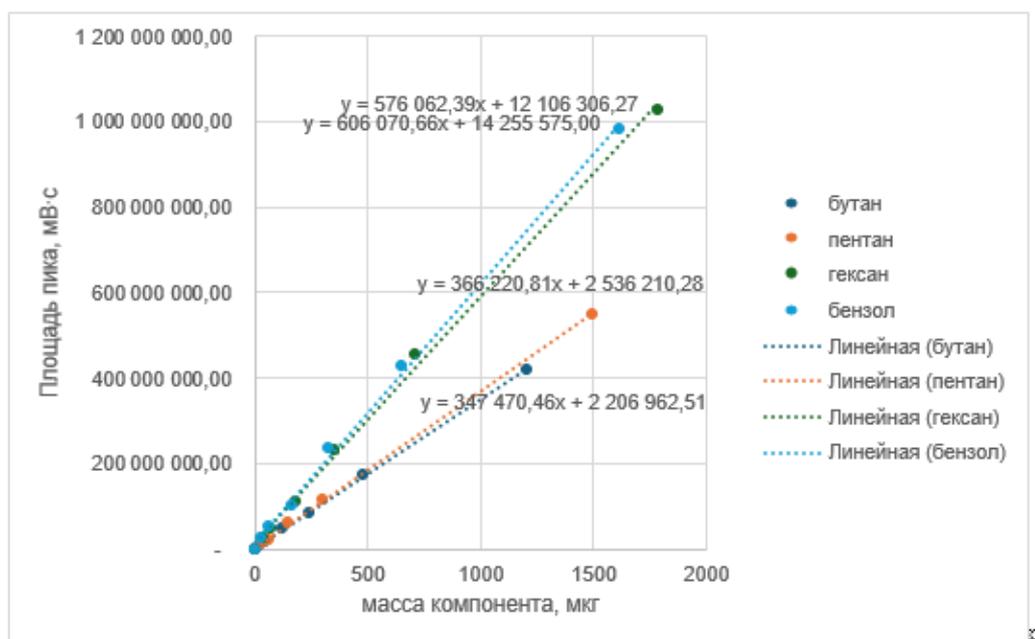


Рисунок 5 - Калибровочная графика

Перерасчет в массы проводился по формуле:

$$m = \frac{V}{V_m} \cdot M, \quad (1)$$

где  $m$  – масса компонента в мкг;

$V$  – объем вводимой пробы калибровочной смеси;

$V_m$  – молярный объем при  $20^{\circ}\text{C}$  ( $24,055 \frac{\text{л}}{\text{моль}}$ ).

Качественный хроматографический анализ состава воздуха в комнате № 631 показал следовое количество вредных летучих органических и неорганических веществ таких как: ацетальдегид, аммиак, хлорметан, пентан, ацетон, бутан, пентадиен, пропанол-2 (изопропиловый спирт), гептан и других. Наибольшее количественное значение отмечено у изопропилового спирта и дихлорметана, однако и оно не превышает норм предельной концентрации рабочей зоны, что указывает на исправную работу вытяжных шкафов и вентиляции. Благодаря этому несмотря на наличие этих веществ в комнате, в воздухе рабочей

зоны существенного их количества не обнаружено. На рисунке 6 приведена хроматограмма образца воздуха, собранного в этой комнате.

Количественно все вещества идентифицировать не удалось, вероятно для этого требуется большее количество пропускаемого атмосферного воздуха и дополнительные калибровки, т.к. диапазоны концентраций даже самых больших пиков лежат вне калибровочной прямой.

Качественный анализ в комнате 628 показал большее разнообразие органических веществ. Были идентифицированы: ацетальдегид, пропанон, 1,3-пентадиен, изопропанол, дихлорметан, гексан, метилбензол, гептан, 1,2-диметилциклопентон и другие соединения. Их количество существенно выше, чем в комнате 631. На рисунке 6 приведен пример хроматограммы воздуха, взятого из этой комнаты.

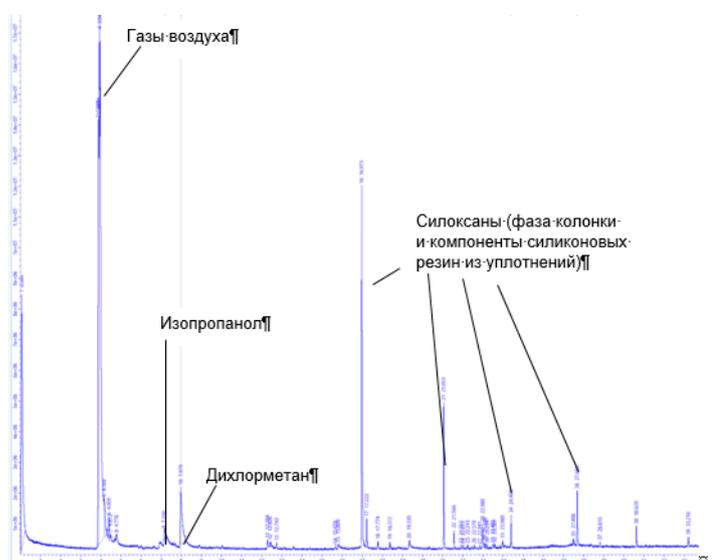


Рисунок 6 - Хроматограмма образца воздуха, комн. № 631 (химическая лаборатория)

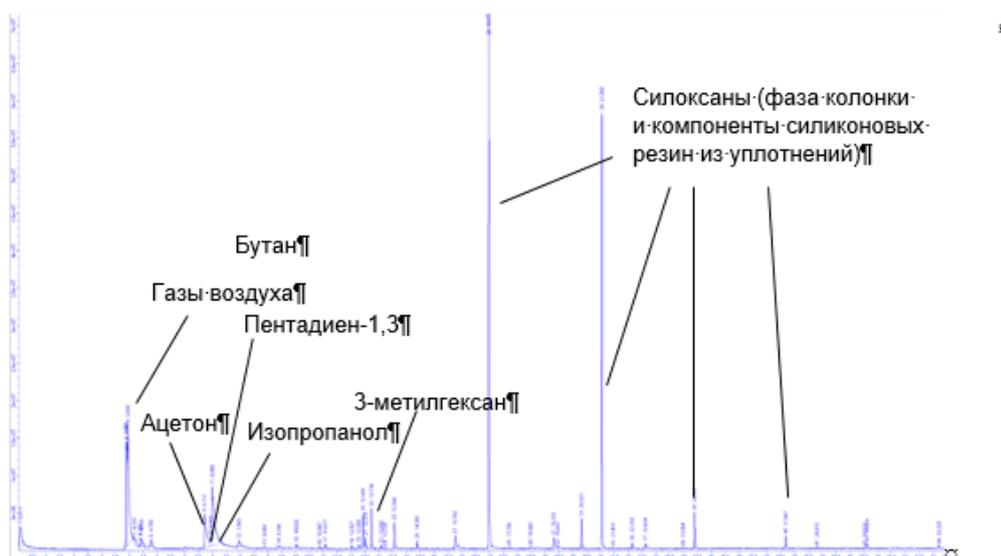


Рисунок 7 - Хроматограмма образца воздуха, комн. № 628

Для многих веществ также не удалось провести хороший количественный анализ, необходимы дополнительные анализы с большим количества воздуха и дополнительные калибровки. Результаты, полученные для некоторых веществ представлены в таблице 6, для некоторых их них приведены сравнительные концентрации ПДК.

Количественный анализ для данных компонентов не показал превышения ПДК рабочей зоны, однако для других компонентов точное содержание в воздухе определить не удалось. Требуется провести дополнительное исследование, поскольку даже органолептическим можно определить наличие вредных примесей в воздухе.

Таблица 6 - Количественный анализ атмосферного воздуха в комнате 628

<b>Исследуемое вещество</b>	<b>Среднее значение концентраций в мг/м<sup>3</sup></b>	<b>ПДК в воздухе рабочей зоны согласно ГН 2.2.5.3532-18 в мг/м<sup>3</sup></b>
ацетон	0.06	200
1,3-пентадиен	0.0047	0,5
изопропанол	0.13	10
2-метилгексан	0.02	-
2,3-диметилпентан	0.001	-
3-метилгексан	0.02	-
гептан	0.01	300

В ходе анализа с использованием хроматографа были получены данные о содержании бутана, пентана, гексана и бензола в калибровочной смеси при различных объёмах. Результаты показали, что в заданных объёмах смеси (10, 20, 50, 100, 200 и 500 мкл) содержание каждого из веществ увеличивается пропорционально увеличению объёма смеси. Это подтверждает правильность расчётов и линейность отклика прибора в рабочем диапазоне концентраций.

Поскольку проводится исследование газообразных веществ, то на качественный и количественный анализ влияют температура давление чистота газа-носителя (в нашем случае гелия), состояние хроматографической колонки. Мы постарались учесть эти факторы, и для

верного расчета количество вещества учли изменения малярного объема газа для разных температур, приняв что все газы идеальные. Это обеспечило нам более точные расчёты.

Методика анализа может быть использована определения содержания органических веществ в газовых смесях, однако для более точных результатов необходимо использовать большее количество образца. Зная количество каждого вещества в заданных объёмах смеси, можно построить калибровочные графики, которые позволят определять концентрации неизвестных образцов по их хроматограммам.

В данных опытах удалось идентифицировать вредные примеси в воздухе комнат №№ 631 и 628 по адресу: г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, строение 14, ИКИ РАН, однако, для уточнения результатов потребуются дополнительные анализы, с дополнительной оптимизацией калибровочных опытов (возможно применение большего количества хроматографических стандартов для уточнения количества вредных примесей). При проведении дополнительных калибровок можно будет применить полученные хроматограммы для уточняющих расчетов.

Метод газовой хромато-масс-спектрометрии хорошо зарекомендовал себя, как высокоточный метод химического анализа. В настоящее время он активно применяется в исследовании лунного грунта и его аналогов в земных экспериментах, также в лаборатории 532 ИКИ РАН разрабатывается космический хроматограф, который позволит исследовать летучие вещества лунного реголита *in situ*.

Качество воздуха – важнейший параметр контроль условий труда на любом предприятии. Этот метод позволяет быстро и надежно идентифицировать наличие вредных примесей в воздухе рабочих помещений, лабораторий и даже на космических станциях.

По результатам качественного анализа, в наших опытах было выявлено большое разнообразие вредных органических веществ в воздухе комнаты № 628 и совсем следовые количества в комнате № 631, хотя в обоих помещениях присутствуют вредные для организма вещества, ПДК по тем, что удалось рассчитать превышено не было. Рекомендовано провести дополнительные анализы на выявление точных концентрации бензола, толуола, дихлорметана, ксилолов и других органических веществ.

#### **Список источников**

1. Шаповалова, Е. Н. Хроматографические методы анализа. Методическое пособие для специального курса : учебное пособие / Е. Н. Шаповалова, А. В. Пирогов. – Москва : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. – 109 с.

2. Заворотный, В. Л. Учебное пособие по курсу «Аналитическая химия» (Хроматография) : учебное пособие / В. Л. Заворотный, Н. А. Калачева, Н. К. Зайцев ; РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – Москва, 2005. – 33 с.

3. Илларионова, Е. А. Основы метода масс-спектрометрии. Практическое применение метода : учебное пособие / Е. А. Илларионова, И. П. Сыроватский ; ФГБУ высшего образования «Иркутский государственный медицинский университет». – Иркутск, 2021. – 49 с.
4. Лебедев, А. Т. Масс-спектрометрия в органической химии : учебное пособие / А. Т. Лебедев. – Москва : БИНОМ, 2003. – 493 с.
5. Needham, D. H. Lunar volcanism produced a transient atmosphere around the ancient Moon / D. H. Needham, D. A. Kring // *Earth and Planetary Science Letters*. - 2017. – Vol. 478. – С. 175-178. – DOI 10.1016/j.epsl.2017.09.002.
6. Богатов, Г. Б. Как было получено изображение обратной стороны Луны / Г. Б. Богатов. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1961. - 65 с.
7. Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина : [сайт]. – URL: <https://www.laspase.ru/ru/> (дата обращения: 19.03.2025).
8. Виноградов, А. П. Лунный грунт из Моря Изобилия / А. П. Виноградов. – Москва : Наука, 1974. – 624 с.
9. Wilhelms, Don E. To a Rocky Moon: A Geologist's History of Lunar Exploration / Don. E. Wilhelms. - Tucson : University of Arizona Press, 1993. – 477 с.
10. Войтюк, А. Планетологи подтвердили рекордную молодость добытых станцией «Чанъэ-5» лунных базальтов / А. Войтюк // N+1 : [сайт]. – 2021. – URL: <https://nplus1.ru/news/2021/08/31/change-5-very-young-moon> (дата обращения: 20.03.2025).
11. Отдела физики планет Солнечной системы Института космических исследований : [сайт]. – URL: <http://planetary-physics.cosmos.ru/index.html> (дата обращения: 15.03.2025).

### **Классические космологические задачи**

*В данной работе мы рассмотрели ряд классических задач наблюдательной космологии. Измерили постоянную Хаббла, используя архивные наблюдения за движением галактик Местной Группы. И, используя архивный каталог галактик, получили оценку на соотношение «масса-светимость» для скопления галактик Волосы Вероники.*

**Ключевые слова:** космология, закон Хаббла, скопление Волосы Вероники.

Космология – это наука изучающая всю Вселенную в целом. Человечество издревле задавалось вопросом об устройстве мироздания. К примеру, древние шумеры считали, что представляли Землю в виде плоского круга, огороженного горами и покрытого твердым небесным куполом. Вся эта «конструкция» погружена в воды океана, а Вселенная состояла из трёх частей: земли, неба и подземного мира. А в средние века бытовало мнение о том, что неподвижная круглая Земля находилась в центре мира, а вокруг неё вращались небесные сферы с помещёнными в них планетами и звёздами.

Шло время и человечество накапливало наблюдательные данные о движении небесных тел. Важно отметить работы Тихо Браге, который первым в Европе начал проводить систематические и высокоточные астрономические наблюдения; построил первую в Европе обсерваторию, большинство астрономических инструментов в которой были либо сделаны им собственноручно, либо выполнены по его проектам; повысил точность наблюдения звезд и планет более чем на порядок. Составил первые таблицы видимых положений светил и новые точные солнечные таблицы, измерил продолжительность года с менее чем секундной ошибкой.

Его ученик, Иоганн Кеплер, продолжил работы своего учителя и, опираясь на его наблюдения, открыл три эмпирических закона, называемых теперь законами Кеплера. Они формулируются следующим образом:

1. Первый закон Кеплера гласит, что все планеты Солнечной системы движутся по замкнутой кривой в форме эллипса, в одном из фокусов которого находится Солнце.

2. Второй закон Кеплера гласит, что каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причём за равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, описывает равные площади.

3. Третий закон Кеплера звучит так: отношение полных оборотов вокруг центральной звезды для двух любых планет системы, возведенных в квадрат, всегда равняется отношению больших полуосей орбитальных путей этих тел, возведенных в куб.

Дальнейшее развитие науки об устройстве Вселенной связано с именем Исаака Ньютона, который в конце XVII века открыл закон всемирного тяготения. Стало понятно, что всеми процессами во Вселенной управляет гравитация. И понимание гравитации – ключ к пониманию мироздания. Однако, космология Ньютона столкнулась с рядом проблем и парадоксов. Первым парадоксом стал «парадокс Ольберса». Он формулируется следующим образом: если Вселенная бесконечна и в ней содержится бесконечное количество звезд, значит всё небо должно быть заполнено звездами. В любой точке ночного неба мы должны видеть звезду, а значит небо должно ярко светиться. Однако в реальности мы наблюдаем сплошное чёрное небо лишь с отдельными звёздами. Следующей важной проблемой стал гравитационный парадокс, который также называют парадоксом Неймана–Зелигера. Его суть заключалась в следующем: если Вселенная бесконечна и материя в ней распределена равномерно, то гравитационное притяжение со стороны бесконечного количества масс должно создавать в каждой точке пространства бесконечно большую силу. Это противоречило здравому смыслу — ведь мы не ощущаем бесконечного гравитационного «разрыва», а планеты и звёзды движутся предсказуемо, подчиняясь законам Ньютона. Все эти проблемы не нашли своего решения в рамках Ньютонической теории тяготения.

Все эти проблемы нашли свое решение в рамках Общей Теории Относительности (ОТО), разработанный Альбертом Эйнштейном в 1907 – 1916 годах. ОТО опирается на принцип эквивалентности (Его краткая формулировка: гравитационная и инертная массы любого тела равны) и описывает гравитацию как искривление пространственно-временного континуума. Применение ОТО ко всей Вселенной позволило разрешить парадоксы классической Ньютонической космологии. Однако породило новые проблемы. В начале XX века считалось, что наша Вселенная состоит только из нашей галактики, и бесконечного пустого пространства вне её. А также считалось, что наша Вселенная вечная и неизменная. Эти представления нашли свое отражение в работе Эйнштейна 1916 года «Вопросы космологии и Общей теории относительности» [1]. При решении уравнений ОТО для всей Вселенной Эйнштейн обнаружил, что Вселенная не статична. И для решения этого «парадокса» им была введена космологическая постоянная Лямбда. Позже Эйнштейн называл это «Своей самой большой ошибкой в жизни». Также стоит упомянуть работы нидерландского астронома Виллема де Ситтера, который в своей работе [2] показал, что даже с введенной Эйнштейном космологической постоянной уравнения ОТО допускают нестатические решения. Де Ситтер построил модель, которая, несмотря на наличие постоянной Лямбда, не содержит материи и

при этом расширялись. Это создало парадокс: если пустое пространство с космологической постоянной динамично, то как это совместить с представлением о статичной реальной Вселенной, где есть материя?

Дальнейшее развитие космологии связано с работами нашего соотечественника Александра Александровича Фридмана, который в 1920-х годах нашел нестационарные решения уравнений Эйнштейна и показал, что Вселенная может как уменьшаться в объеме, так и расширяться [3]. Его результаты были чуть позже независимо открыты бельгийским священником и математиком Жоржем Леметром. В своих работах они показали, что при расширении однородной и изотропной Вселенной, скорость удаления точек будет пропорциональна расстоянию между ними.

Это утверждение можно было проверить экспериментально, что было сделано американским астрономом Эдвином Хабблом [4]. Открытая им зависимость скорости удаления далеких галактик от Земли до сих пор носит его имя – закон Хаббла. Работа Хаббла заключалась в оценивании расстояния до галактик по блеску наиболее ярких звезд и сопоставлял это расстояние с известными в то время скоростями галактик. В результате он нашёл линейное соотношение между ними.

Другой важной вехой в космологии стала работа американского астрофизика швейцарского происхождения Фрица Цвикки. Он занимался изучением движений туманных объектов в созвездии Волосы Вероники. Выполнив многочисленные исследования пространственного распределения галактик, пришёл к выводу о существовании межгалактического поглощающего вещества облачной структуры. Полученное им соотношение «масса – светимость» показало, что большая часть гравитирующей массы не излучает электромагнитные волны (то есть не светит). Он назвал эту тёмную массу «Тёмной материей» [5].

Актуальность и новизна исследуемых задач заключается в используемых данных. Новые данные, полученные с использованием современных методик и инструментов, позволяют по-новому взглянуть на классические задачи наблюдательной космологии. К примеру, в оригинальной работе Хаббла значение постоянной Хаббла было оценено как  $500 \text{ км/с/Мпк}^3$ , что дает оценку возраста Вселенной всего в 2 миллиарда лет. Это почти на миллиард лет меньше, чем общепризнанный в тот момент возраст Земли. Современные же данные позволяют исправить эту неточность. Аналогично ситуация обстоит и с оригинальным измерением соотношения «масса – светимость» для скопления галактик Волосы Вероники. В 1930-е годы не существовало еще той техники, которая позволяла бы точно оценивать светимости галактик и, следовательно, правильно измерять соотношение «масса –

---

<sup>3</sup> В системе СИ  $1 \text{ км/с/Мпк} = 3,241 \cdot 10^{(-20)} \text{ Гц}$ .

светимость». Таким образом, использование современных данных позволяет значительно точнее оценивать важные космологические параметры.

Цель исследования: на основе использования архивных данных определить такие основные космологические параметры, как постоянная Хаббла и соотношение обычного (барионного) вещества и темной материи. Вся работа состоит из следующих основных частей:

- a) В первой части нашей работы мы с помощью простой модели из бумаги продемонстрируем однородное и изотропное расширение Вселенной.
- b) Во второй части нашей работы мы, используя каталог галактик Местной Группы, продемонстрируем справедливость закона Хаббла и оценим значение постоянной Хаббла.
- c) В третьей части мы, используя каталог галактик в скоплении Волосы Вероники, продемонстрируем, что видимое вещество не может описать всю массу скопления.

**1. Простая модель однородной и изотропной расширяющейся Вселенной.** Для создания такой модели нам нужен лист бумаги формата А4 и какая-то прозрачная пленка того же размера. Идеально подойдет обычный файл для бумаги. На бумажном листе рисуется сетка с шагом в 4 сантиметра, а на файле рисуется сетка с большим шагом. К примеру, 4.3 сантиметра. И при наложении файла на бумажный лист мы получаем модель плоской однородной и изотропной расширяющейся Вселенной (рис. 1).

**2. Определение постоянной Хаббла по данным движения галактик Местного Объем.** Для решения этой задачи нами использовался расширенный и дополненный каталог «Catalog of Neighboring Galaxies» [6], который доступен онлайн на сайте Специальной астрофизической обсерватории РАН<sup>4</sup>. Каталог содержит различную информацию о более чем 1000 галактик ближайших галактик, расстояние до которых не превышает 15 Мпк<sup>5</sup>. Для нашей задачи важны 2 колонки: «Heliocentric velocity», «Distance modulus» и «Method used to determine distance». Фильтруя данные и нанося их на график зависимости скорости от расстояния мы, используя метод наименьших квадратов (МНК), находим значение постоянной Хаббла.

Метод наименьших квадратов. При нахождении параметра  $H$  в линейной зависимости

**2.1 Метод наименьших квадратов.** При нахождении параметра  $H$  в линейной зависимости  $v = H \cdot r$  мы воспользовались методом наименьших квадратов (МНК), для чего

---

<sup>4</sup> <https://www.sao.ru/lv/lvgdb/introduction.php>

<sup>5</sup> В системе СИ 1 Мпк =  $3.086 \cdot 10^{22}$  метров.

нужно минимизировать сумму квадратов отклонений между наблюдаемыми значениями  $v_i$ , и предсказанными моделью значениями  $H \cdot r_i$ . Шаги решения:

1. Сумма квадратов ошибок:

$$\sum_{i=1}^n (v_i - H \cdot r_i)^2.$$

2. Минимизируем суммы квадратов, чтобы найти оптимальное  $H$ , возьмем производную  $S$  по  $H$  и приравняем её к нулю:

$$\frac{dS}{dH} = -2 \sum_{i=1}^n (v_i - H \cdot r_i) \cdot r_i = 0.$$

3. Раскроем скобки и выразим  $H$ :

$$\sum_{i=1}^n v_i \cdot r_i = H \cdot \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad \Rightarrow \quad H = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot r_i}{\sum_{i=1}^n r_i^2}$$

Итоговая формула:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot r_i}{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad (1)$$

**3. Измерение соотношения “масса - светимость” для скопления галактик Волосы Вероники.** Для решения данной задачи использовался каталог из работы [7]. Данный каталог содержит данные по 243 галактикам скопления. Наиболее важными данными являются:

- А. Прямое восхождение  $\alpha$  и склонение  $\delta$  галактики.
- В. Видимая звездная величина в синем светофильтре  $b$ .
- С. Лучевая скорость галактики  $v = cz$ .

В качестве первого шага мы с помощью лучевых скоростей находим дисперсию скоростей. Далее, находим расстояние до скопления используя закон Хаббла и значение постоянной Хаббла, найденное в прошлой задаче. Затем, зная расстояние и видимую звездную величину находим суммарную светимость скопления. После этого, зная расстояние и видимый размер скопления, находим физический размер скопления. И в конце, используя все это, с помощью теоремы вириала находим массу скопления. В итоге мы получаем искомое соотношение “Масса - светимость”.

**3.1 Дисперсия скоростей галактик.** Пусть у нас имеется  $n$  значений скоростей  $v_i$ . Тогда среднее значение скорости вычисляется следующим образом:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

А дисперсия:

$$\bar{v}^2 = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad (3)$$

**3.2 Нахождение светимости отдельных галактик и всего скопления.** Начнём с определений. *Видимая звездная величина ( $m$ )* — яркость объекта, наблюдаемая с Земли (зависит от расстояния). *Абсолютная звездная величина ( $M$ )* — видимая звездная величина, которую имела бы звезда на стандартном расстоянии 10 парсек<sup>6</sup>. Светимость ( $L$ ) — полная энергия, излучаемая объектом в единицу времени (часто выражается в единицах светимости Солнца  $L_{\odot}$ ). Абсолютная звездная величина объекта вычисляется из видимой звёздной величины  $m$  и расстояния  $d$  (в парсеках) следующим образом:

$$M = m - 5 \cdot \log_{10}(d) + 5 \quad (4)$$

Далее, отношение светимости объекта к солнечной светимости дается выражением:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 10^{0.4 \cdot (M_{\odot} - M)}, \quad (5)$$

где  $L_{\odot}$  — светимость солнца (в системе СИ равная  $3,828 \times 10^{26}$ Вт),  $M_{\odot} = +4,83$  — абсолютная звёздная величина Солнца. А суммарная светимость скопления вычисляется как сумма светимостей от отдельно взятых галактик.

**3.3 Использование теоремы вириала для нахождения массы скопления.** Теорема вириала говорит о том, что для стабильной системы её средняя кинетическая энергия равна половине потенциальной энергии:  $T = \frac{1}{2} |U|$ . Применение теоремы к галактикам и скоплениям не является простым. Обычно только радиальные скорости могут быть измерены по доплеровским смещениям спектральных линий. Также необходимо сделать предположения о пространственном и скоростном распределении звезд в галактике или галактик в скоплении. Если распределение скоростей изотропно, дисперсия скоростей одинакова в двух перпендикулярных направлениях, как и вдоль луча зрения, и поэтому  $\langle v^2 \rangle = 3 \langle v_{\parallel}^2 \rangle$ , где  $v$  — радиальная (или лучевая) скорость. Если дисперсия скоростей не зависит от масс галактик, то полная кинетическая равна:

---

<sup>6</sup> В системе СИ 1 пк =  $3.086 \cdot 10^{16}$  метров.

$$T = \frac{1}{2} \sum_i m_i r_i = \frac{3}{2} M \overline{v_{\parallel}^2}, \quad (6)$$

где  $M$  — полная масса системы. Если система сферически симметрична, то её размер можно оценить как  $R_{cl} = d \cdot \tan(\theta/2)$ , где  $d$  — расстояние до скопления, а  $\theta$  — угловой диаметр скопления. Гравитационную потенциальную энергию можно оценить как:

$$|U| = GM^2/R_{cl} \quad (7)$$

Тогда из (6) и (7) получаем полную массу системы:

$$M = 3(v_{\parallel}^2)R_{cl}/G \quad (8)$$

### Простая модель однородной и изотропной расширяющейся Вселенной.

- A. Прямое восхождение  $\alpha$  и склонение  $\delta$  галактики.
- B. Видимая звездная величина в синем светофильтре  $b$ .
- C. Лучевая скорость галактики  $v = cz$ .

На рисунке 1 представлена простая модель однородной и изотропной расширяющейся Вселенной. Это модель явно демонстрирует одно из основных свойств нашей Вселенной – у расширения нет центра. Все точки одновременно являются центром.

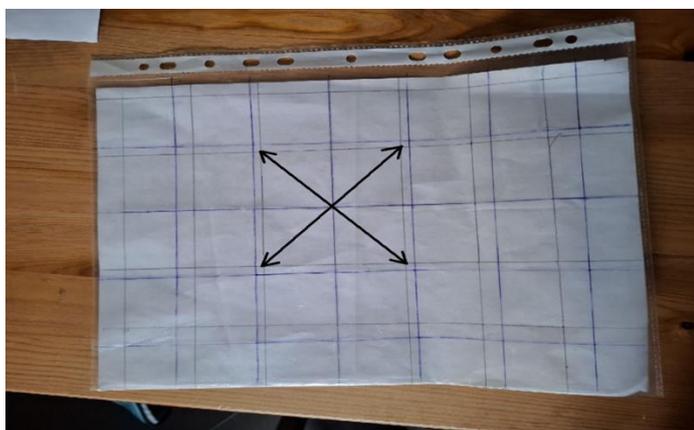
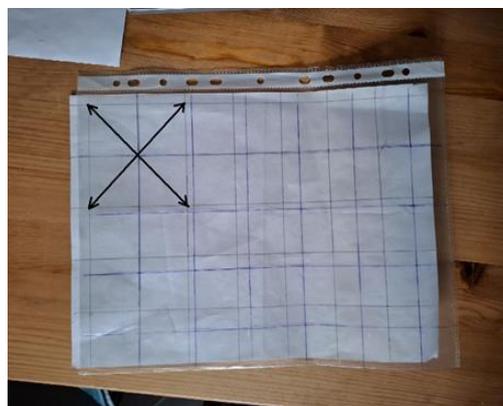
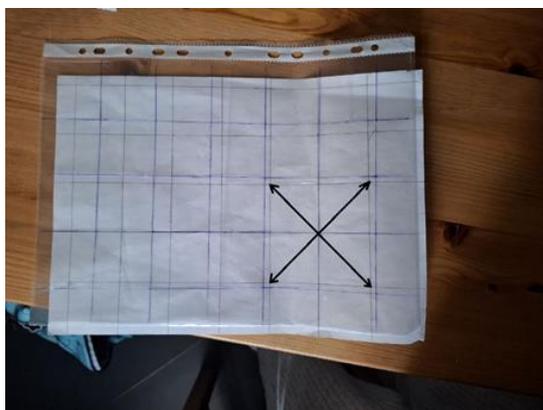


Рисунок 1 - Простая модель плоской расширяющейся однородной и изотропной Вселенной

Также, глядя на эту простую модель, можно математически получить закон Хаббла. Рассмотрим две произвольные точки в пространстве. Расстояние между ними будет равно:

$$r(t) = a(t) \cdot \chi \quad (9)$$

Здесь  $r(t)$  - “физическое” расстояние. То есть то расстояние, которое мы можем измерить линейкой.  $\chi$  - “координатное” расстояние (число узлов решетки между точками), которое не меняется. А  $a(t)$  - масштабный фактор, меняющийся со временем. При расширении Вселенной, масштабный фактор увеличивается. Теперь найдем скорость удаления этих двух точек. Как известно из курса “Алгебра и начала математического анализа” за 10 класс, скорость изменение какой-то величины – это производная. Следовательно,

$$v(t) = \frac{dr}{dt} = \frac{da}{dt} \cdot \chi \quad (10)$$

Из формулы (9) мы получаем, что  $\chi = \frac{r}{a}$ . Подставляя это в (10), получаем:  $v = \frac{da}{dt} \cdot \frac{r}{a}$ . Или, обозначая  $\frac{da}{dt} \cdot \frac{1}{a}$  как  $H(t)$  окончательно получаем:  $v = H \cdot r$ . Это и есть знаменитый закон Хаббла. Он говорит нам о том, что относительная скорость двух объектов линейно зависит от расстояния между нами. И этот закон можно проверить, опираясь на наблюдения движения далеких галактик.

### Определение постоянной Хаббла по данным движения галактик Местного Объем.

На рисунке 2 представлена полная выборка галактик из каталога «Catalog of Neighboring Galaxies».

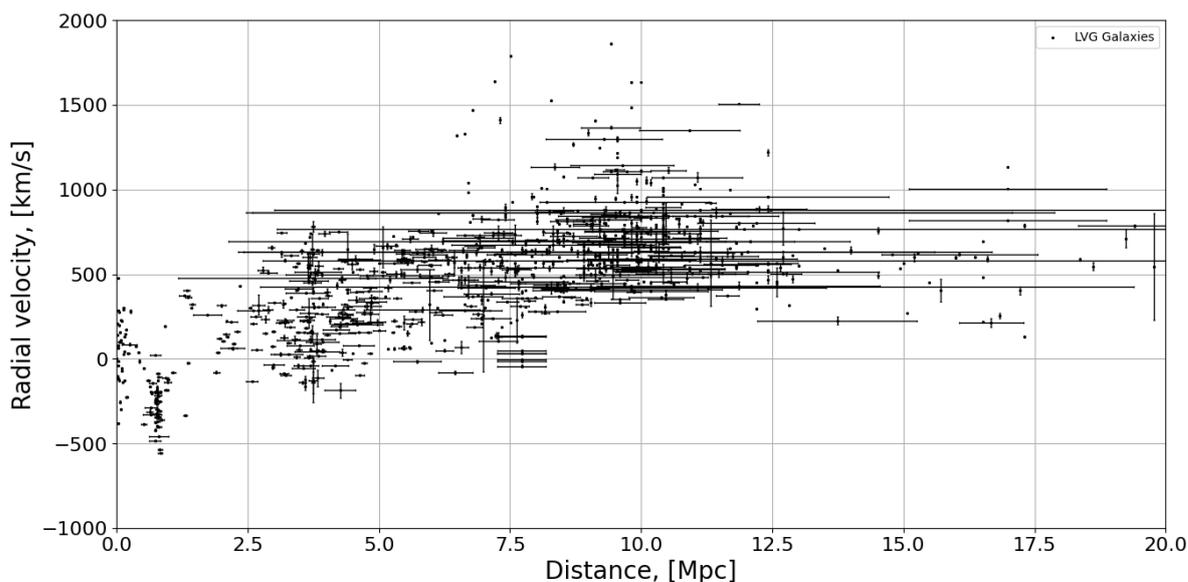


Рисунок 2 - Полная выборка LVG галактик. На оси X отложено расстояние в мегапарсеках.

На оси  $Y$  – радиальная скорость в километрах в секунду. Каждая галактика представлена в виде точки. Линии, исходящие из каждой точки – ошибки в определении скорости и расстояния

Далее, мы фильтруем эту выборку по следующим параметрам:

- Расстояние до галактики должно лежать в диапазоне от 1 Мпк, до 15 Мпк. Нижняя граница позволяет отсеять близкие гравитационно связанные галактики. Верхняя граница позволяет отсеять галактики, которые, по всей видимости, не являются далекими, а являются близкими, но очень тусклыми.
- Для некоторых галактик не был указан метод определения расстояния. Такие галактики мы тоже откидывали.
- Ошибки в определении скорости меньше 50 км/с.
- Ошибка в определении расстояния меньше 0.2 Мпк.

Получившееся распределение галактик представлено на рисунке 3. Далее, используя метод наименьших квадратов, находим значение параметра Хаббла как  $H = 73.60 \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$ . Итоговый результат представлен на рисунке 4. Полученная оценка значения параметра Хаббла хорошо согласуется с другими современными оценками.

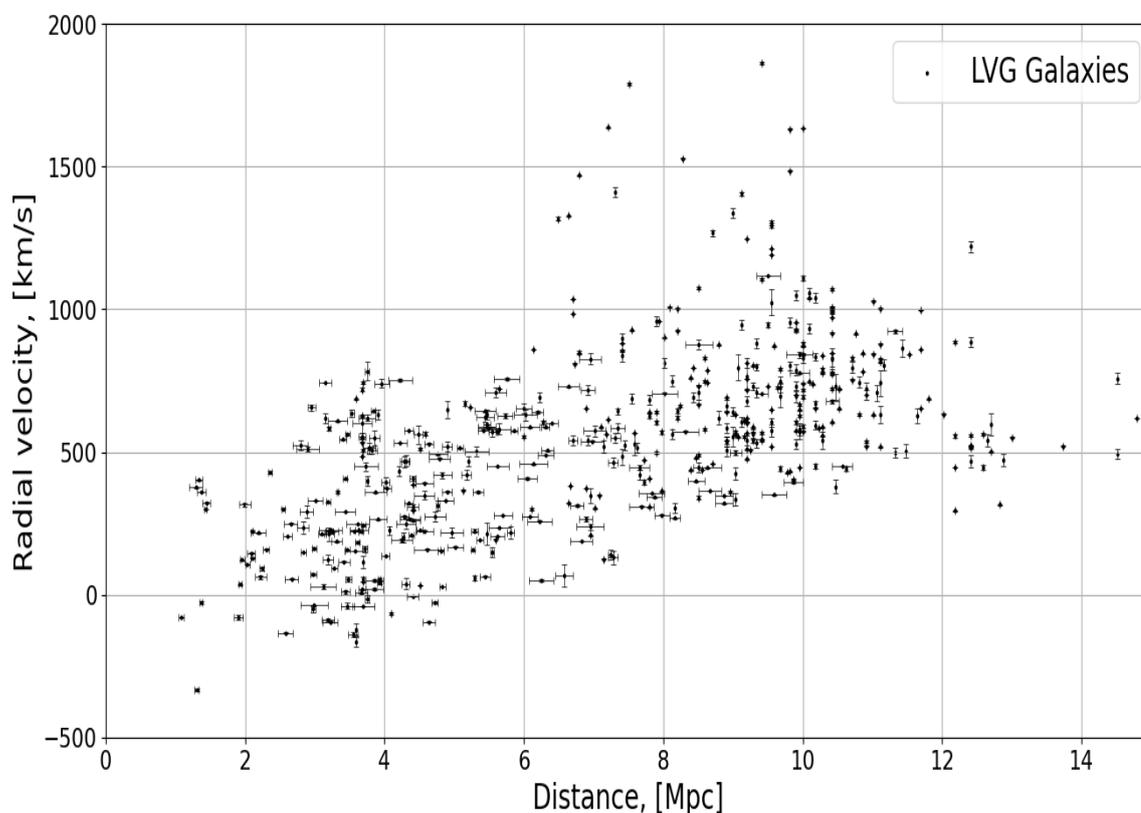


Рисунок 3 - Зависимость «скорость – расстояние» для отфильтрованного списка галактик

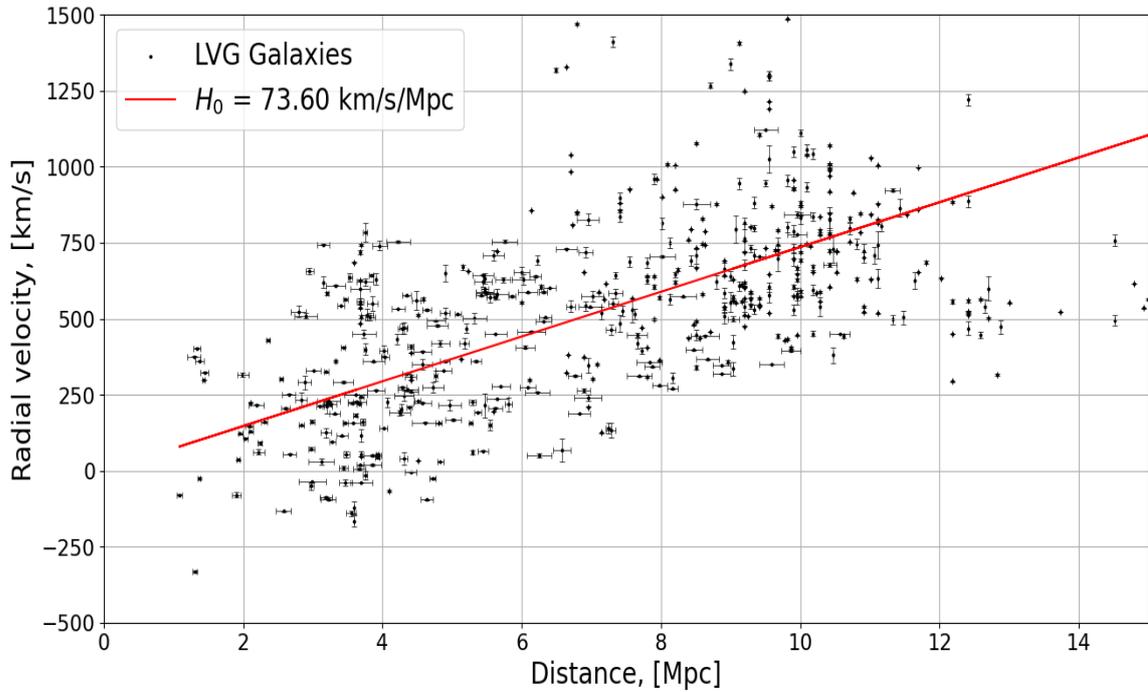


Рисунок 4 - Итоговая диаграмма «скорость – расстояние»

На рисунке 4 красной линией показана зависимость лучевой скорости галактики от расстояния для  $H = 73.60$  (км/с)/Мпк

**4. Измерение соотношения “масса – светимость” для скопления галактик Волосы Вероники.** На рисунке 5 представлена гистограмма распределения галактик по лучевым скоростям. При этом галактики со скоростями выше 12 000 км/с мы откинули, так как, скорее всего, это далёкие фоновые галактики, которые к скоплению не относятся. Далее, по формуле (2) находим среднее значение, а по формуле (3) – дисперсию. Они равны  $\bar{v} = 7078,07$  км/с и  $\sqrt{v^2} = 1146$  км/с соответственно. Далее, используя закон Хаббла, находим расстояние до скопления:

$$d = \frac{v}{H} = \frac{7078,07}{73,6} = 96,17 \text{ Мпк.} \quad (11)$$

Следующим шагом станет расчет светимости скопления используя формулы (4) и (5). Характерное значение видимой звёздной величины  $m = 18$ . Следовательно, из (4) и (11) получаем  $M = -17$ , а из (5) получаем светимость  $L = 5,4 \times 10^8 L_{\odot}$ . То есть характерная светимость каждый галактик порядка 500 миллионов светимостей Солнца. Полная светимость скопления  $L = 2,43 \times 10^{11} L_{\odot}$ . Что примерно 250 миллиардов светимостей Солнца.

Теперь оценим размер скопления. На рисунках 6 и 7 представлено оптическое изображение скопления Волосы Вероники. Из этих изображений мы можем оценить угловой размер скопления как 30 угловых минут (примерно размер диска полной Луны). Следовательно, размер скопления  $R_{cl} = 1,68$  Мпк . Теперь у нас есть всё необходимое для вычисления массы скопления. Из (8) получаем:

$$M = \frac{3 \cdot 1146,51 \cdot 1,68}{4,3 \times 10^{-8}} = 1,54 \times 10^{15} M_{\odot}$$

Теперь посчитаем соотношение “масса-светимость” для данного скопления:

$$\frac{M}{L} = \frac{1,54 \times 10^{15} M_{\odot}}{2,43 \times 10^{11} L_{\odot}} = 6321,08 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}}$$

Данное значение сильно превышает общепринятое значение. Это может быть связано с тем, что мы недооценили светимость скопления из-за того, что не учли светимость многих крупных и ярких галактик.

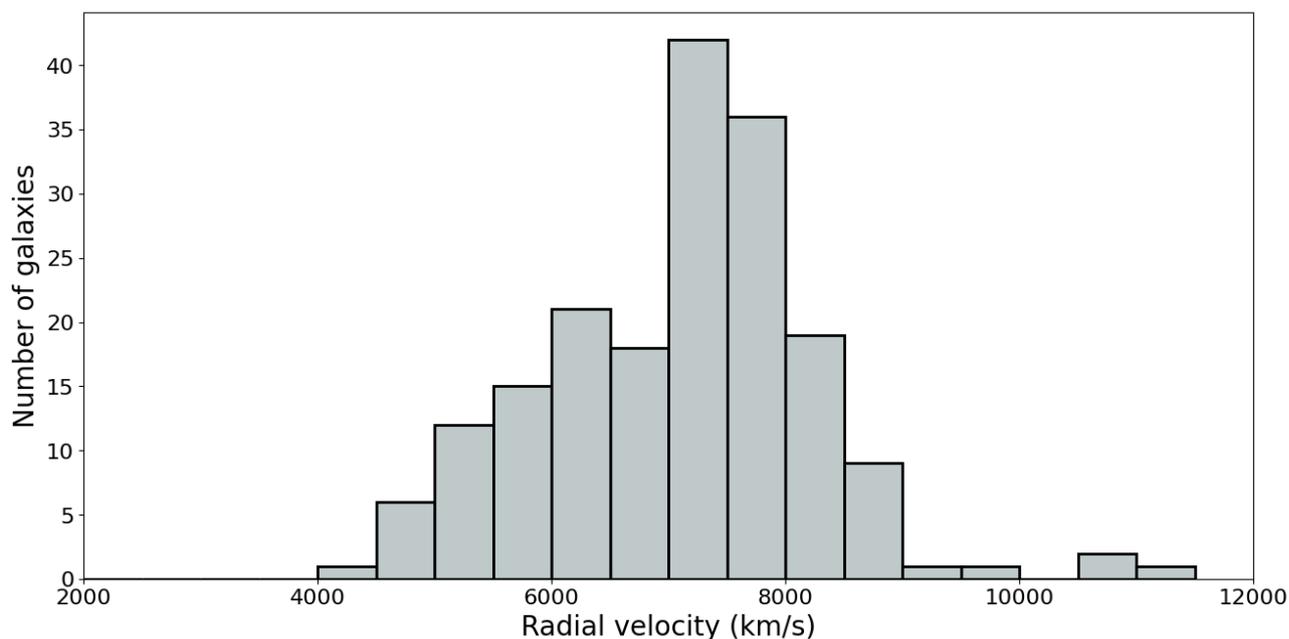


Рисунок 5 - Гистограмма распределения галактик по скоростям

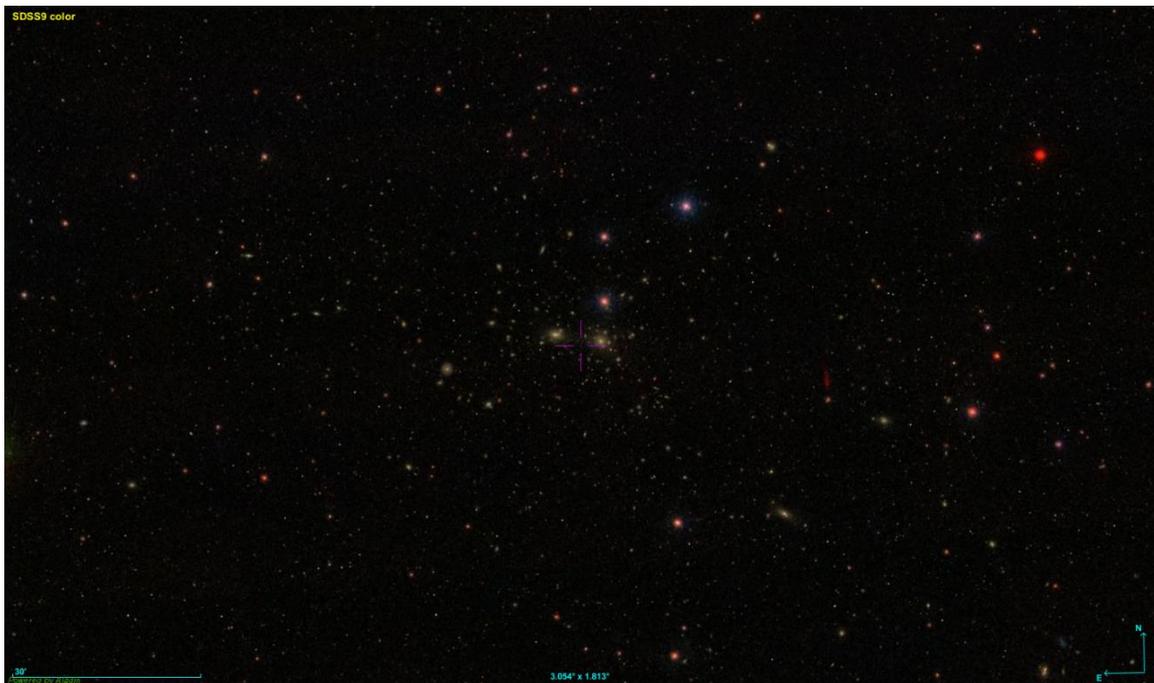


Рисунок 6 - Оптическое изображение скопления Волосы Вероники.

Центр изображения совпадает с центром скопления. Изображение получено с помощью программы Aladin Sky Atlas<sup>7</sup>

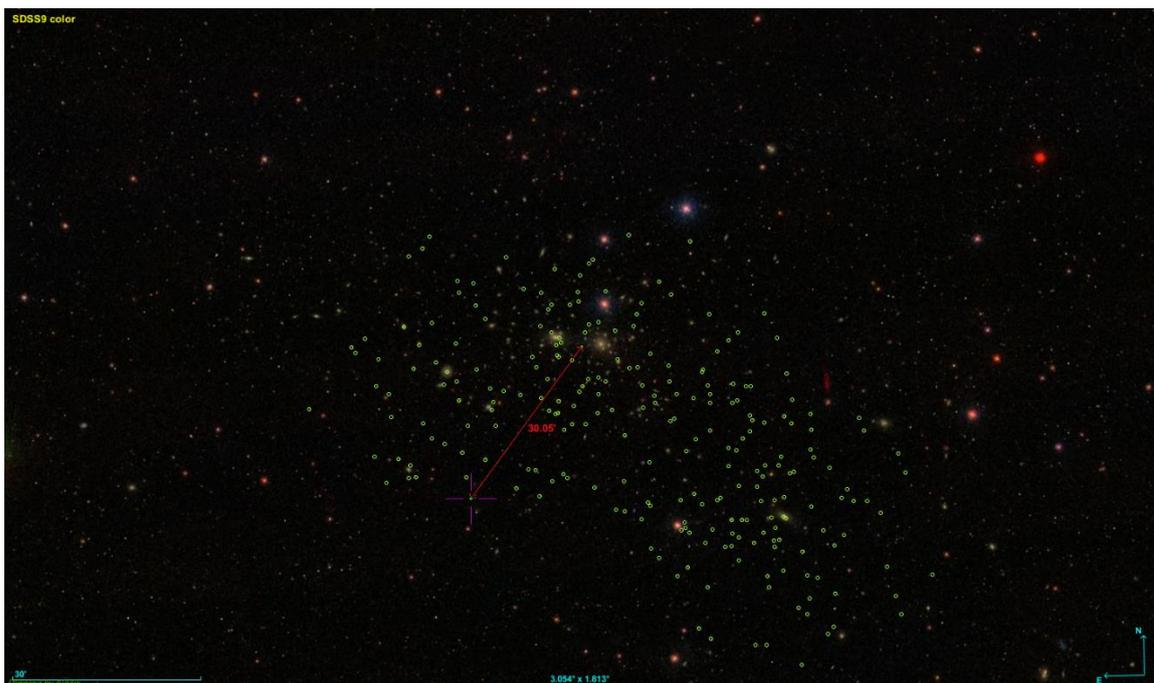


Рисунок 7 - Оптическое изображение скопления Волосы Вероники.

На рисунке 7 зелеными кружками обозначены используемые нами галактики, красной стрелкой обозначен характерный размер скопления – 30 угловых секунд.

---

<sup>7</sup> <https://aladin.cds.unistra.fr/>

В данной работе нами было рассмотрено ряд классических космологических задач. В первой задаче нами была продемонстрирована простая модель плоской однородной и изотропной расширяющейся Вселенной. На основе этой модели нами было выведено соотношение «скорость – расстояние», более известное как закон Хаббла. Во второй задаче мы, используя данные по движению ближайших галактик, подтвердили справедливость закона Хаббла и оценили значение постоянной Хаббла как  $73,60 \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$ , что очень хорошо согласуется с современным значением. В третьей задаче мы нашли соотношение «масса – светимость» для скопления галактик Волосы Вероники. Получившееся значение сильно превышает общепринятое. По всей видимости это связано с недооценкой светимости скопления. В нашу выборку не вошли самые большие и яркие галактики скопления. Это могло внести значительный вклад в получившийся результат.

### Список источников

1. Эйнштейн, Альберт. Собрание научных трудов. В 4 т. Т. 1 : [перевод] / ред. И. Е. Тамма. – Москва : Наука, 1965. – 700 с.
2. Фридман, А. А. Избранные труды / ред. проф. Л. С. Полака. – Москва : Наука, 1966. – 462 с.
3. Hubble, E. A. Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae / E. A. Hubble // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. - 1929. – Vol. 15., Is. 3. – С. 168-173.
4. Zwicky, F. On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae / F. Zwicky // Astrophysical Journal. – 1937. – Vol. 86. – С. 217.
5. A Catalog of Neighboring Galaxies / I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, W. K. Huchtmeier [et al.] // The Astronomical Journal. – 2004. – Vol. 127, Is. 4. – С. 2031-2068.
6. Colless, M. Structure and Dynamics of the Coma Cluster / M. Colless, A. M. Dunn // Astrophysical Journal. – 1996. – Vol. 458. – С. 435.

## Исследование траектории движения тел в гравитационном поле

*Показаны траектории движения шарика в искусственно созданном пространстве под влиянием гравитационного поля, а также выявлена зависимость формы траектории от первоначального запаса потенциальной энергии шарика. Были изучены параметры и траектории движения нейтронных звезд в двойных системах. Получено, что орбиты нейтронной звезды в системе Cep X-3 и Her X-1 имеют форму окружности, в то время как Vela X-1 имеет чуть сплюснутую форму из-за сравнительно небольшого эксцентриситета  $\sim 0.08$ . Анализ кривых блеска позволил определить орбитальные периоды нейтронных звезд в указанных системах, что достоверно сходится с полученными ранее результатами.*

**Ключевые слова:** движение в гравитационном поле, рентгеновские двойные звездные системы, орбитальное движение, периодичность, Cep X-3, Her X-1, Vela X-1.

Гравитационное поле — это физическое поле, которое создается телами, обладающими массой и через которое осуществляется гравитационное взаимодействие, то есть притяжение между всеми материальными телами [1]. Исследование движения тел в гравитационном поле имеет глубокую историю, но продолжает вызывать огромный интерес и в настоящее время.

Сама идея всеобщей силы тяготения неоднократно высказывалась учеными разных эпох. О ней размышляли Эпикур, Гассенди, Кеплер, Борелли, Декарт, Роберваль, Гюйгенс и другие. Кеплер полагал, что тяготение обратно пропорционально расстоянию до Солнца и распространяется только в плоскости эклиптики; также Кеплер заложил основу для исследования движения небесных тел в поле тяготения:

1) Закон эллипсов - каждая планета Солнечной системы движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

2) Закон площадей - каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причём за любые равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, описывает собой равные площади.

3) Гармонический закон - квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей орбит планет.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad (1)$$

Первым строгим теоретическим основанием для понимания гравитационного взаимодействия стала классическая механика Ньютона. Законы всемирного тяготения, сформулированные Исааком Ньютоном, заложили фундамент для расчета траекторий как небесных тел, так и искусственных спутников. В своём основном труде «Математические начала натуральной философии» (1687) [2] Ньютон вывел закон тяготения, основываясь на законах Кеплера, известных к тому времени. Он показал, что:

- наблюдаемые движения планет свидетельствуют о наличии центральной силы;
- обратно, центральная сила притяжения приводит к эллиптическим (или гиперболическим) орбитам.

Закон гласит, что сила  $F$  гравитационного притяжения между двумя материальными точками с массами  $m_1$  и  $m_2$ , разделенными расстоянием  $r$ , действует вдоль соединяющей их прямой, пропорциональна каждой из масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния [2]. То есть

$$F = G \times \frac{m_1 \times m_2}{r^2}, \quad (2)$$

где  $G$  — гравитационная постоянная, равная:  $6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$  [3].

Траектория материальной точки в гравитационном поле, создаваемом много большей по массе материальной точкой, подчиняется законам Кеплера. В частности, планеты и кометы в Солнечной системе движутся по эллипсам или гиперболам.

Ньютон пришёл к пониманию того, что гравитация универсальна: другими словами, одна и та же сила заставляет и яблоко падать на землю, и Луну вращаться вокруг Земли.

Но Ньютонская теория также со временем показала свои недостатки и дала развитие новой теории, которая позволяет более точно описывать природу тяготения. Так, в 1915 году была создана общая теория относительности Эйнштейна, в которой все недостатки были решены. Теория Ньютона, в полном согласии с принципом соответствия, оказалась приближением более общей теории, применимым при выполнении двух условий:

1. Гравитационный потенциал в исследуемой системе не слишком велик:  $\frac{\varphi}{c^2} \ll 1$ ;
2. Скорости движения в этой системе незначительны по сравнению со скоростью света:  $\frac{v}{c} \ll 1$ .

Развитие теории гравитации позволяют ученым применять новые знания для исследования систем, в которые входят два объекта, в частности две звезды, помогают нам понять физику взаимодействия двух тел, рассчитать их эволюцию и определить некоторые параметры системы, что необходимо для дальнейших исследований. Таким образом, астрономы уже в XIX веке, анализируя данные двойных звезд, выявили, что их видимое относительное движение компонентов совершается по эллипсу и удовлетворяет закону площадей, то есть происходит в согласии с законами Кеплера. Отсюда следует, что движение двойных звезд в системах подчиняется закону всемирного тяготения Ньютона. Однако подтверждение действенности закона тяготения в звездном околосолнечном пространстве безусловно имело громадное научное и философское значение. Перед астрономами открылась реальная возможность "взвешивать" звезды, то есть определять их массы, опираясь только на закон Ньютона и наблюдения. Для решения поставленной задачи достаточно было определить из наблюдений период обращения двойной звезды  $P$  и большую полуось ее орбиты [4]. Далее следовало воспользоваться третьим законом Кеплера в ньютоновском обобщении:

$$\frac{a^3}{P^2} = M_1 + M_2 \quad (3)$$

Таким образом, развитие теории движения тел в гравитационном поле представляет собой непрерывную эволюцию от классических представлений до современных высокоточных исследований. Открытие новых аспектов гравитационного взаимодействия и возможность их экспериментального подтверждения делают это направление особенно перспективным для дальнейших исследований.

В настоящей работе мы демонстрируем и исследуем движение тела в гравитационном поле, в зависимости от меняющихся параметров системы, а также показываем применимость теории на основе реальных космических объектов.

Актуальность работы состоит в том, чтобы показать, что с помощью простой экспериментальной установки можно качественно и наглядно воспроизводить характерные орбиты космических тел.

**Степень разработанности.** Исследование движения тел в гравитационных полях имеет глубокие научные результаты, описанные в работах ученых различных эпох. Касаемо теоретической части исследования, законы Ньютона и Кеплера до сих пор используются в современных работах, например, NASA использует эти законы для планирования траекторий космических аппаратов [5], также законы используются для определения параметров двойных звездных систем, и при изучении взаимодействия компонентов двойных систем [6].

В практическом применении особое внимание уделялось визуализации орбитальных движений, например, Ореллана М.Д. и Ромеро Г.Е. в своей статье Гамма-излучение от Ве

рентгеновских двойных [7], демонстрируют изображение орбитального движения нейтронной звезды, входящей в состав рентгеновской двойной системы, описывая как меняется физика системы за счет вращения нейтронной звезды и переноса вещества между компаньонами системы.

Еще одним ярким примером использования компьютерного моделирования гравитационных систем является известный N-body код Аарсета [8], который моделирует взаимодействие систем с различным количеством компонентов и их параметров, примерами таких систем могут быть шаровые скопления, состоящие из миллионов звезд. А определение параметров двойных звездных систем позволяет углубленно изучать космические объекты, например, в статье А. Гонзалез-Галан и др., с помощью исследуемых параметров, были получены результаты, предполагающие возможную эволюцию такого типа систем, что является очень важным результатом для дальнейших исследований [9].

В ходе исследования были выявлены несколько направлений, требующих дальнейшей разработки. В практическом плане было установлено, что необходимо создание установки, на которой можно наглядно увидеть движение тела в гравитационном поле, а также важно создание более реалистичных компьютерных моделей орбитального движения двойных систем, которые также демонстрируют процессы, происходящие между реальными космическими объектами.

**Цель работы** состояла в том, чтобы исследовать траектории движения тел в гравитационном поле с использованием установки показать возможность замкнутых и незамкнутых траекторий, исследовать от каких параметров зависит форма траектории. По имеющимся наблюдательным данным изучить орбиты для нескольких реальных астрономических объектов.

Для реализации проекта были поставлены следующие задачи:

- 1) Построить установку, позволяющую исследовать движение в поле тяготения.
- 2) Провести эксперимент, меняя один параметр - высоту трубки.
- 3) Выполнить анализ полученных результатов.
- 4) Найти орбитальные параметры рентгеновских двойных систем Cen X-3, Her X-1, Vela X-1
- 5) Построить орбиты двойных систем, изучить их форму.
- 6) Построить кривые блеска и оценить период обращения нейтронной звезды вокруг компаньона.

Модель гравитационного поля и движущийся в нем шарик для эксперимента, касаемо компьютерного моделирования- объектами исследования являются рентгеновские двойные.

В работе исследуются траектории движения названных выше тел.

В рамках исследования траектории движения тел в гравитационном поле была использована научная литература, которая включает теоретические работы по классической механике и гравитационному взаимодействию, материалы о законах Кеплера и законах Ньютона и их применении в астрономии, научные статьи по динамике двойных звездных систем [1, 3, 6, 13-17]. Также использовались данные наблюдений за двойными звездами, результаты измерения орбитальных периодов [10], специализированные базы данных астрономических наблюдений [11]. В методическом аспекте были изучены научно-методологические пособия по обработке астрономических данных, инструкции по использованию программного обеспечения для анализа орбит [12] и публикации об исследовании двойных звездных систем [6, 7, 15, 16, 17].

Экспериментальная часть проводилась на базе отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН и включала в себя сборку самодельной установки для демонстрации движения в гравитационном поле.

В работе также применялось компьютерное оборудование для обработки данных. Код для построения орбитального движения был написан на языке программирования Python с помощью библиотек NumPy и Matplotlib [12].

В методологическом плане использовались общенаучные методы экспериментального моделирования физических процессов, математического моделирования динамики систем, статистической обработки результатов измерений и построение орбитальных движений. Частные методы астрофизики включали визуализацию орбит двойных звёздных систем, например, [13] или [14].

Особенности методологического подхода заключались в исследовании закономерностей движения тел в поле тяготения и анализе особенностей орбитального движения. Экспериментальное исследование включало построение и настройку лабораторной установки, проведение измерений параметров движения и обработку полученных экспериментальных данных. Вычислительный анализ предполагал разработку алгоритмов расчёта орбит, визуализацию результатов и сравнение теоретических и экспериментальных данных.

Полученные результаты исследования позволили создать рабочую модель движения тел в гравитационном поле, визуализировать орбиты двойных звёздных систем и сопоставить теоретические расчеты с экспериментальными данными.

Основной гипотезой выступает предположение, что форма траектории движения в гравитационном поле будет изменяться с изменением начальных параметров.

В ходе работы, впервые ознакомился с методами моделирования орбитального движения в двойных системах, научился строить изображения с помощью языка программирования Python и работать с библиотеками NumPy и Matplotlib, углубился в теоретические исследования движения тел в гравитационном поле. Также с нуля была собрана установка для эксперимента.

Установка состояла из картонной коробки, в которой мы сделали вырез по центру одной из боковых сторон коробки. В виде самого гравитационного поля мы использовали плотную и упругую ткань, натянув её на коробку и закрепив с помощью металлических кнопок по краям коробки (см. рис.1).



Рисунок 1 - Фото экспериментальной установки

Для искривления ткани мы использовали магнит и металлический болтик, который служил для того, чтобы прижимать ткань ко дну коробки, тем самым задавая искривленность пространства-времени гравитационного поля. Магнит был закреплен на скотч.

В качестве второго объекта мы использовали маленький металлический шарик, который запускали с помощью пусковой установки (силой трения пренебрегаем). Она состояла из продолговатой трубки и ножек с помощью которых можно было удобно измерять высоту запуска шарика. Запечатлели траекторию шарика с помощью подставки, на которой лежал телефон и снимал в замедленной съёмке движение шарика.

Опыты заключались в том, что мы запускали шарик из пусковой установки и записывали на видео его траекторию, потом мы раскладывали это видео на кадры и склеивали их в траекторию. Когда мы получили все изображение орбит, мы их проанализировали и получили некоторую информацию, которая представлена ниже.

На картинке с высотой трубки 2 см мы видим достаточно вытянутую орбиту, которая проходит очень близко к болтику, а центр смещен достаточно далеко от него. На изображении, которое показывает траекторию запуска шарика из трубки высотой 6 см, орбита получилась в немного шире предыдущих орбит, но длина не увеличилась, и центр установки стал ближе к центру орбиты. На картинке с высотой трубки 8 см, мы видим, что по сравнению с предыдущими картинками она получилась более округлой и широкой, и центр установки оказался практически по центру орбиты. На картинке с высотой трубки 10 см, мы заметили то, что различий с картинкой, где шарик выпускался из трубки высотой 8 см, практически нет, за исключением того, что шарик двигался быстрее и орбита стала чуть более широкая. На картинке с высотой трубки 15 см, шарик не образовал эллиптическую орбиту, а вылетел за пределы установки по гиперболической траектории. Изображения траектории орбит и их типов в зависимости от высоты трубки представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Траектории полета шарика в зависимости от высоты трубки и потенциальной энергии шарика

Высота трубки, м	Потенциальная энергия, Дж	Траектория	Полученное изображение траектории
0,15	0,06	Гиперболическая	
0,1	0,04	Эллиптическая	
0,08	0,032	Эллиптическая	

Высота трубки, м	Потенциальная энергия, Дж	Траектория	Полученное изображение траектории
0,06	0,024	Эллиптическая	
0,04	0,016	Эллиптическая	
0,02	0,008	Эллиптическая	

Таким образом, мы построили установку с помощью, которой можно исследовать движение тела в гравитационном поле. Также мы выяснили, что с увеличением высоты и соответственно потенциальной энергии шарика ( $E = mgh$ ), наша траектория значительно изменяется из более узкой эллиптической орбиты с небольшой полуосью - в более широкую и вытянутую. Также мы нашли максимальную потенциальную энергию, с которой шарик больше не движется по эллиптической траектории, демонстрируя нам гиперболическое движение в гравитационном поле.

В практической части работы исследовались три двойных системы Cen X-3, Her X-1, Vela X-1. Параметры двойных систем представлены в таблице 2.

Cen X-3 — рентгеновский пульсар с периодом 4,84 секунды. Является первым открытым рентгеновским пульсаром и третьим рентгеновским источником, обнаруженным в созвездии Центавра. Система состоит из нейтронной звезды, вращающейся вокруг массивного голубого сверхгиганта спектрального класса O. Со сверхгиганта на нейтронную звезду из-за сильного звездного ветра происходит аккреция вещества, что приводит к образованию рентгеновского излучения [15].

Her X-1 — рентгеновская двойная, впервые исследованная спутником Uhuru. Состоит из нейтронной звезды, на которую происходит аккреция вещества с оптической звезды (HZ Her) массой около 2 масс Солнца, вероятно, вследствие заполнения звездой полости Роша. Источник обладает сложной переменностью, пульсации с периодом 1,24 секунды связана с вращением нейтронной звезды, затмения каждые 1,70 дней показывают орбитальный период двойной звезды, также наблюдаются вариации с периодом 35 дней, ассоциируемые с прецессией аккреционного диска [16].

Vela X-1 — массивная рентгеновская двойная система, состоящая из пульсара и оптической звезды — сверхгиганта HD 77581 (или же GP Vel). Она расположена в созвездии Парусов на расстоянии около 6200 световых лет от Солнца. Система Vela X-1 является затменно-переменной: примерно раз в 9 дней интенсивность рентгеновского излучения уменьшается из-за того, что оптическая звезда заслоняет пульсар при движении по орбите. Известно всего семь таких затменно-переменных рентгеновских систем. Они интересны тем, что позволяют непосредственно измерить орбитальный период системы. Согласно измерениям, пульсар Vela X-1 является одной из самых массивных нейтронных звёзд, открытых на данный момент. Он имеет массу не менее  $1,88 \pm 0,13$  солнечных масс [17].

Таблица 2 - Орбитальные параметры рентгеновских двойных систем

Название двойной системы	Орбитальный период из литературы, дни	Орбитальный период, полученный в ходе работы, дни	Эксцентриситет	Большая полуось, метры	Долгота периастра, градусы
Cen X-3	2,08	~ 2 - 2,1	0,0	$1,16919 \cdot 10^{10}$	0,00
Her X-1	1,7	~ 1,6 - 1,8	0,0	$3,897302 \cdot 10^9$	0,00
Vela X-1	8,96	~ 8,6 - 9	0,08	$3,38765 \cdot 10^{10}$	162,33

По известным орбитальным параметрам [15-17], а также зная, что их форма эллиптическая, мы использовали параметрические уравнения для построения эллиптических орбит нейтронных звезд [18]:

$$\begin{cases} x = a \cos t \\ y = b \sin t \end{cases} \quad 0 \leq t \leq 2\pi,$$
 , были получены модели орбитального движения нейтронной звезды в этих системах. (см. рисунок 2)

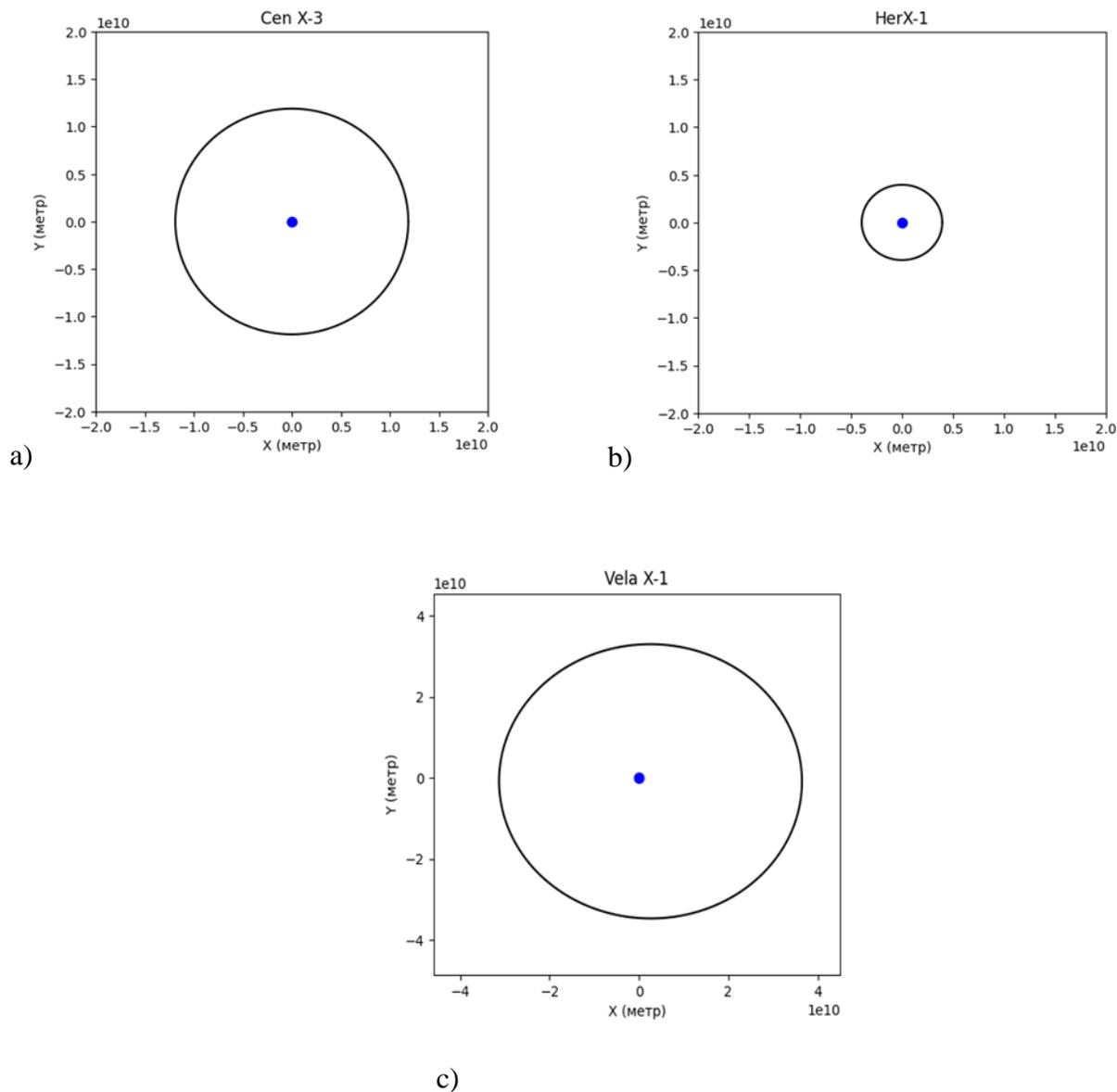


Рисунок 2 - Модели орбит двойных систем а) Cen X-3, б) Her X-1, в) Vela X-1

Исходя из параметров системы и полученных моделей орбит, можно сделать вывод, что орбиты нейтронной звезды в системе Cen X-3 и Her X-1 имеют форму окружности, в то время как Vela X-1 имеет чуть сплюснутую форму из-за сравнительно небольшого эксцентриситета  $\sim 0,08$ , тем не менее в центре орбит располагаются массивные оптические компаньоны.

Также в ходе работы были исследованы кривые блеска данных систем. Были построены изображения кривых блеска за все время наблюдения инструментом MAXI, данные прихода фотонов от систем детектировались каждые 1,5 часа, что удобно для поиска коротких орбитальных периодов. Так как все три системы являются затменными, то по виду кривой блеска очень легко обнаружить периодическое движение нейтронной звезды вокруг компаньона. Таким образом, был осуществлен поиск орбитальных периодов двойных систем Cen X-3, Her X-1, Vela X-1. Полученные результаты сошлись с данными из литературы [15-17] и представлены в таблице 2 и на рисунках 3-5. По изображениям видно, что растущий поток фотонов в какой-то момент падает до нуля и это повторяется с определенным периодом, соответствующим каждой системе, это говорит о том, что нейтронная звезда затмевается своим компаньоном и в этом время прибор не регистрирует от нее рентгеновского излучения. Как только нейтронная звезда выходит из тени своего оптического компаньона, рентгеновский поток начинает снова возрастать.

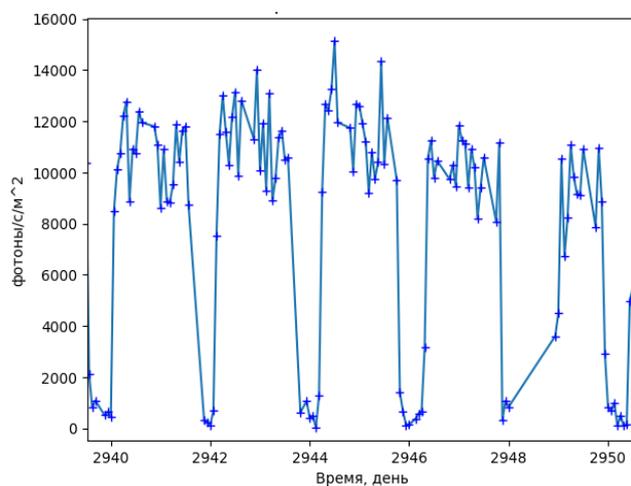


Рисунок 3- Кривая блеска двойной системы Cen X-3 по данным инструмента MAXI, построена на ограниченном участке, для демонстрации периодического движения

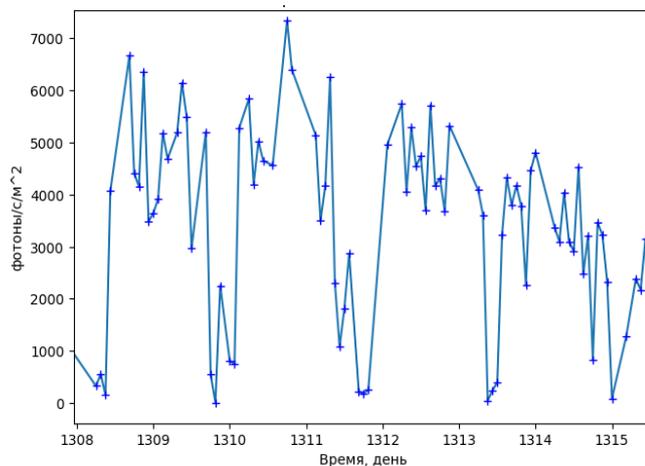


Рисунок 4 - Кривая блеска двойной системы Her X-1 по данным инструмента MAXI, построена на ограниченном участке, для демонстрации периодического движения

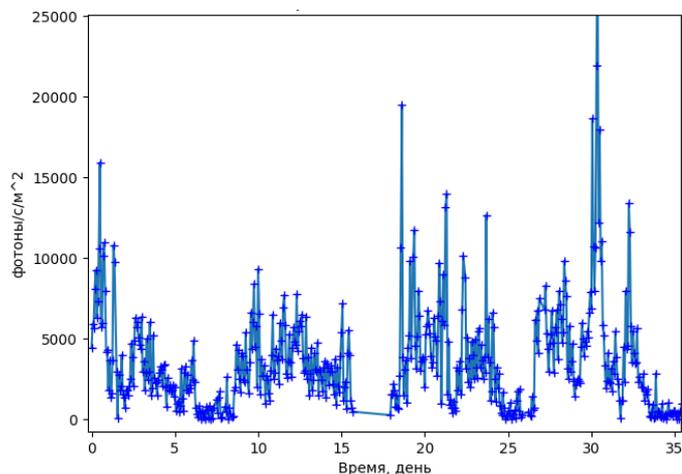


Рисунок 5 - Кривая блеска двойной системы Vela X-1 по данным инструмента MAXI, построена на ограниченном участке, для демонстрации периодического движения

Таким образом, была проделана масштабная работа по изучению движения объектов в гравитационном поле, в частности, собрана экспериментальная установка, которая позволила наглядно исследовать траектории движения шарика искусственном гравитационном поле. Было получено, что в зависимости от первоначальной потенциальной энергии шарика (которая задавалась высотой пусковой установки) его траектория движения может значительно изменяться, принимая форму эллипса или гиперболы, когда шарик вылетал за пределы ограниченного коробкой пространства.

Также были изучены параметры и траектории движения нейтронных звезд для трех рентгеновских двойных систем. 5) Было получено, что орбиты нейтронной звезды в системе Cen X-3 и Her X-1 имеют форму окружности, в то время как Vela X-1 имеет чуть сплюснутую форму из-за сравнительно небольшого эксцентриситета  $\sim 0,08$ . 6) В качестве упражнения, был также произведен поиск периодического движения по данным кривых блеска, полученных инструментом MAXI за все время наблюдения этих систем. Полученные значения периодов сошлись с данными, взятыми из литературы. Эти результаты в дальнейшем помогут наглядно изучать движение тел в гравитационном поле, а также моделировать это движение.

#### Список источников

1. Ньютон, Исаак. Математические начала натуральной философии / Исаак Ньютон ; пер. с латинского и коммент. А. Н. Крылова ; под ред. и с предисл. Л. С. Полака. – Москва : Наука, 1989. – 15, 687, [7] с. – ISBN 5-02-000747-1.
2. The National Institute of Standards and Technology : [сайт]. – URL: <https://www.nist.gov/> (дата обращения: 29.11.2024).

3. Струве, О. Элементарная астрономия / О. Струве, Б. Линдс, Э. Пилланс. - Москва : Наука, 1967. - 467 с. - URL: <https://www.astronet.ru/db/msg/1210255> (дата обращения: 29.11.2024).
4. Kepler and the Mars Problem // NASA : [сайт]. - URL: <https://science.nasa.gov/solar-system/orbits-and-keplers-laws/#h-kepler-and-the-mars-problem> (дата обращения: 29.11.2024).
5. Bhattacharyya, B. Determination of the orbital parameters of binary pulsars / B. Bhattacharyya, R. Nityananda // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. - 2008. - Vol. 387. - С. 273–278. - DOI 10.1111/j.1365-2966.2008.13213.x.
6. Orellana, M. Gamma-Ray Emission from Be/X-ray Binaries / M. Orellana, G. E. Romero // Astrophysics and Space Science. - 2005. - Vol. 297. - С. 167–178. - DOI 10.1007/s10509-005-7618-6.
7. Aarseth, S. J. Gravitational N-body Simulations : Tools and Algorithms / S. J. Aarseth. - Cambridge : Cambridge University Press, 2003. - 413 с.
8. Astrophysical parameters and orbital solution of the peculiar X-ray transient IGR J00370+6122/ A. González-Galán, I. Negueruela, N. Castro [et al.] // Astronomy and Astrophysics. - 2014. - Vol. 566. - С. A131. - DOI 10.1051/0004-6361/201423554.
9. Gamma-Ray Astrophysics at the NSSTC : [сайт]. - URL: <https://gammaray.msfc.nasa.gov/gbm/science/pulsars.html> (дата обращения: 29.11.2024).
10. Light curves : [сайт] - URL: <https://maxi.riken.jp/top/lc.html> (дата обращения 29.11.2024).
11. Python : [сайт]. - URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 29.11.2024).
12. Roy, A. E. Orbital Motion / A. E. Roy. - Abingdon : Taylor & Francis, 2005, - 544 с. - DOI 10.1201/9780367806620.
13. Черепашук, А. М. Тесные двойные звезды. Ч. 1 / А. М. Черепашук. - Москва : Физматлит, 2013. - 560 с.
14. A new measurement of the spin and orbital parameters of the high mass X-ray binary Centaurus X-3 using AstroSat / P. Shirke, S. Bala, J. Roy [et al.] // Journal of Astrophysics and Astronomy. - 2021. - Vol. I. 42. - С. 58. - DOI 10.1007/s12036-021-09710-w.
15. Podsiadlowski, Ph. Evolutionary Sequences for Low- and Intermediate-Mass X-Ray Binaries / Ph. Podsiadlowski, S. Rappaport, E. D. Pfahl E // The Astrophysical Journal. - 2002. - Vol. 565. - С. 1107-1133. - DOI 10.1086/324686.

16. Observing the onset of the accretion wake in Vela X-1 / C. M. Diez, V. Grinberg, F. Fürst [et al.] // *Astronomy and Astrophysics*. – 2023. – Vol. 74. – A147. – DOI 10.1051/0004-6361/202245708.

17. Привалов, И. И. Аналитическая геометрия / И. И. Привалов. – Москва : Наука, 1966. – 272 с.

## Расчёт траектории полёта на Венеру

*В работе проведены расчёты траектории перелёта к Венере и необходимые затраты топлива. Также проведена массовая оценка основных систем рассматриваемой автоматической межпланетной станции согласно статистическим данным.*

**Ключевые слова:** *Венера, траектория полета, автоматическая межпланетная станция, схема перелета, время старта.*

Венера – это вторая по удалённости от Солнца планета. Несмотря на трудные условия на планете, ее изучение представляет большую ценность для науки. Возможно, в дальнейшем удастся колонизировать её, возможно, она скрывает в себе важные полезные ископаемые. Для этого нам нужно уметь доставлять до неё исследовательские аппараты, которые изучат эту планету и передадут полученную информацию [1].

Актуальность темы заключается в том, что будущее развития человечества – это исследование и экспансия космоса. Поэтому надо понимать, с какими проблемами, затратами и трудностями столкнётся человечество, чтобы долететь до других планет и космических тел. Венера – одна из таких планет. Исходя из сегодняшних технических возможностей человека, она нам доступна, достижима для современных аппаратов, перспективна для космических путешествий и исследований.

Цель работы – определить схему перелёта и рассчитать необходимые для её реализации затраты топлива космического аппарата при полёте на Венеру.

В работе использованы следующие сокращения и аббревиатуры:

- АМС (Автоматическая Межпланетная Станция)
- а (апоцентр)
- в (Венера)
- гип (гиперболическая траектория)
- ду (двигательная установка)
- з (Земля)
- кон (конечная)
- НОО (Низкая Околоземная орбита)
- нач (начальная)

- п (перицентр)
- пр (переходная орбита)
- рб (разгонный блок)

При планировании полета до Венеры, нужно рассчитать правильное время старта, чтобы от места старта (Земля) до места назначения (Венера) можно было провести прямую линию. Т.е., от той точки, где будет Земля в момент вылета до той точки, где будет Венера в момент прилета, учитывая постоянное движение этих планет.

Расчетная дата вылета аппарата 26.07.2026

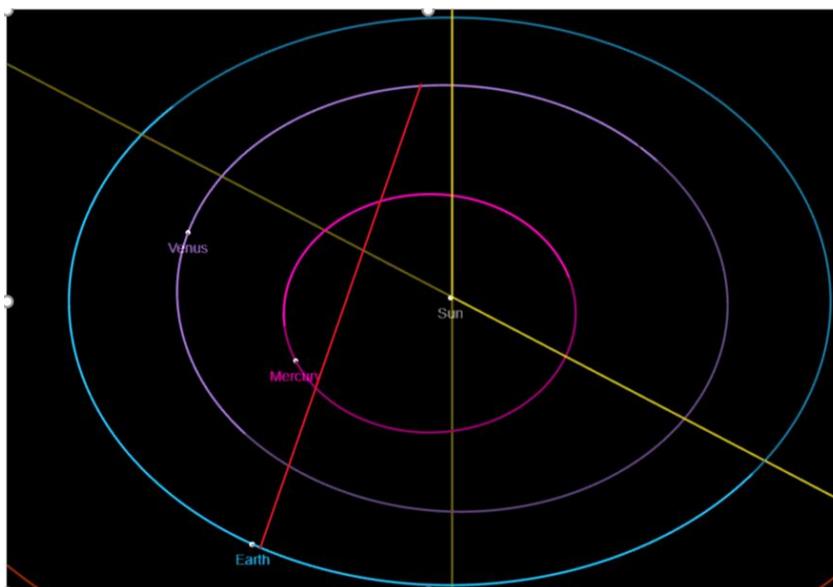


Рисунок 1 - Схема Солнечной системы (неполной) к 26 Июля 2026 года

Прилетает аппарат 20.12. 2026

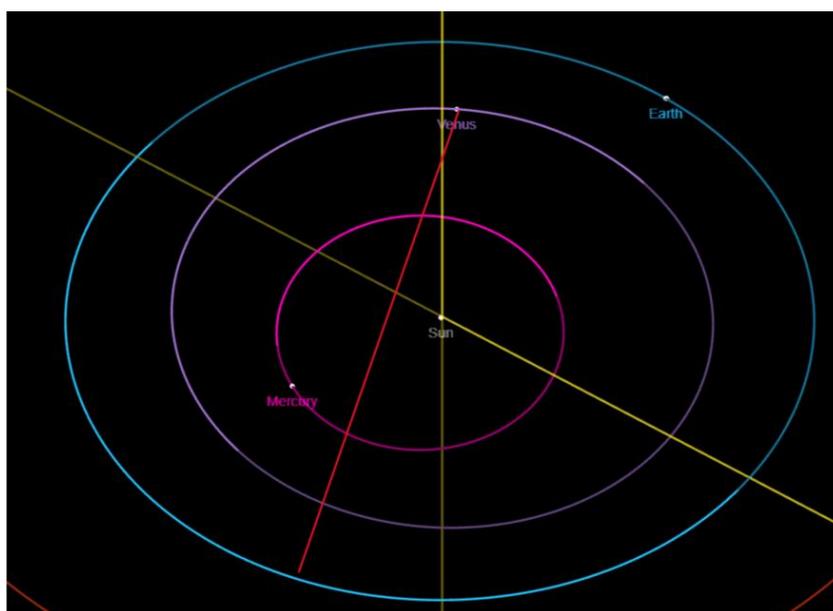


Рисунок 2 - Схема Солнечной системы (неполной) к 20 Декабря 2026 года

Как мы видим из схем, можно провести прямую линию от Земли во время старта до Венеры ко времени прилёта аппарата.

Для расчёта времени перелёта нам нужно для начала рассчитать период обращения по переходной орбите [2].

$$T_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{a^3_{\text{пр}} \times T_{\text{з}}^2}{a_{\text{з}}^3}} \quad (1)$$

$a_{\text{п}}$  = сумма радиусов орбит Земли и Венеры, разделённое на 2.

$$a_{\text{п}} = (108200000 + 149600000)/2 = 128900000 \text{ км}$$

$$T_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{128900000^3 \times 365^2}{149600000^3}} \quad (2)$$

$$T_{\text{пр}} = 291,9 \text{ дней}$$

$T_{\text{полёта}} = 0,5 T_{\text{пр}} = 145,9$ , округляем до 146 дней. Это и есть время полёта.

Низкая Опорная Орбита – 200 км.

Аппарат состоит из трех элементов: разгонного блока, двигательной установки и блока с аппаратурой.



Рисунок 3 - Схема аппарата

Для того, чтобы вылететь с низкой опорной орбиты, нам потребуется разгонный блок. Используем мы разгонный блок «Фрегат».

Рассчитаем  $R_{\text{ноо}}$  – он равен  $R_{\text{з}} + 200$  км.  $R_{\text{ноо}} = 6571$  км;  $U_{\text{з}} = 30$  км;  $U_{\text{с}} = 37,7$  км

Мы знаем скорости Земли и Солнца, и таким образом мы можем узнать:

$$v_{k\rho} = \frac{\sqrt{3986 \cdot 10^2}}{6571} \quad (3)$$

Соответственно  $U_{кр} = 7,7 \text{ км/с}$

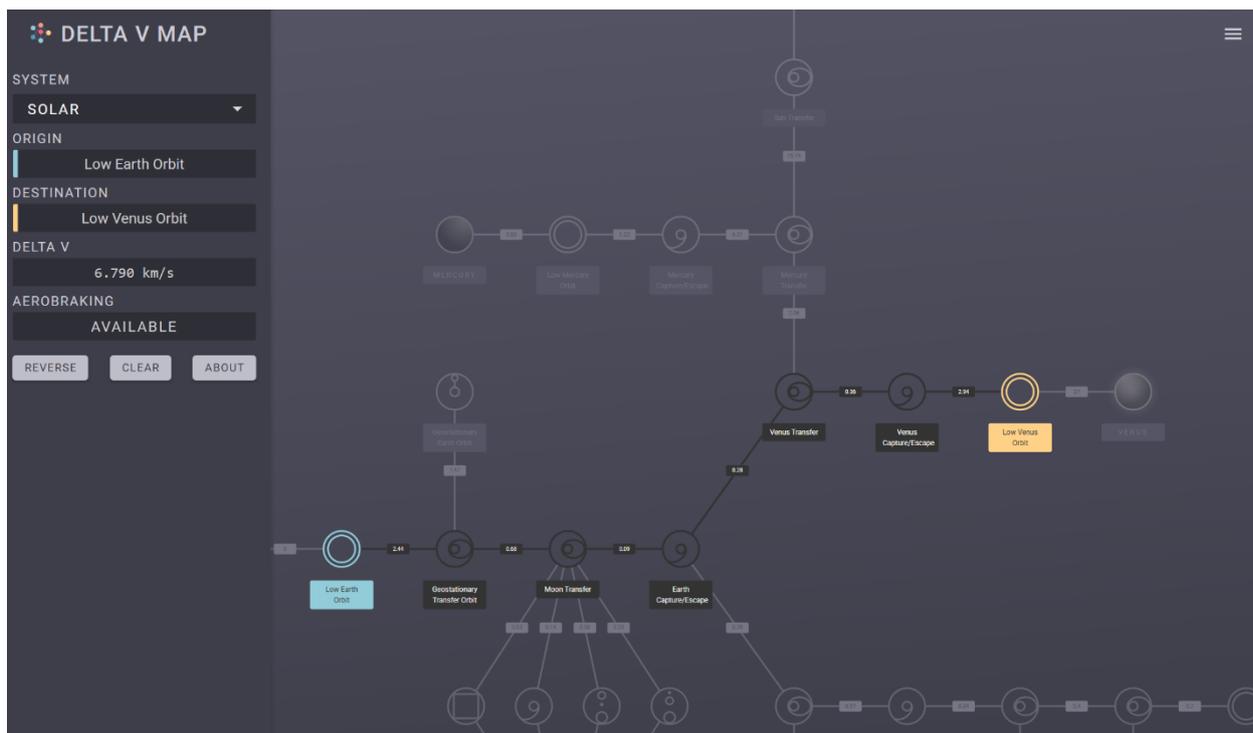


Рисунок 4 - Delta v map сайт

Сравнивая скорость, которая нам нужна на сайте Delta v map, получаем 6,7 км/с, что близко к рассчитаному ранее результату.

Далее рассчитаем скорость. Для расчёта нам понадобится  $\mu$  космических тел

$\mu_{вен}$	324 859
$\mu_{зем}$	398 600
$\mu_{сол}$	132 712 440 018

$$v = \sqrt{\mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \quad (4)$$

а в данном случае – это длина большой полуоси.

Рассчитаем скорости в апоцентре и перигентре:

$$va = \sqrt{7132712440018} \cdot \left( \frac{1}{75} - \frac{1}{125} \right) \quad (5)$$

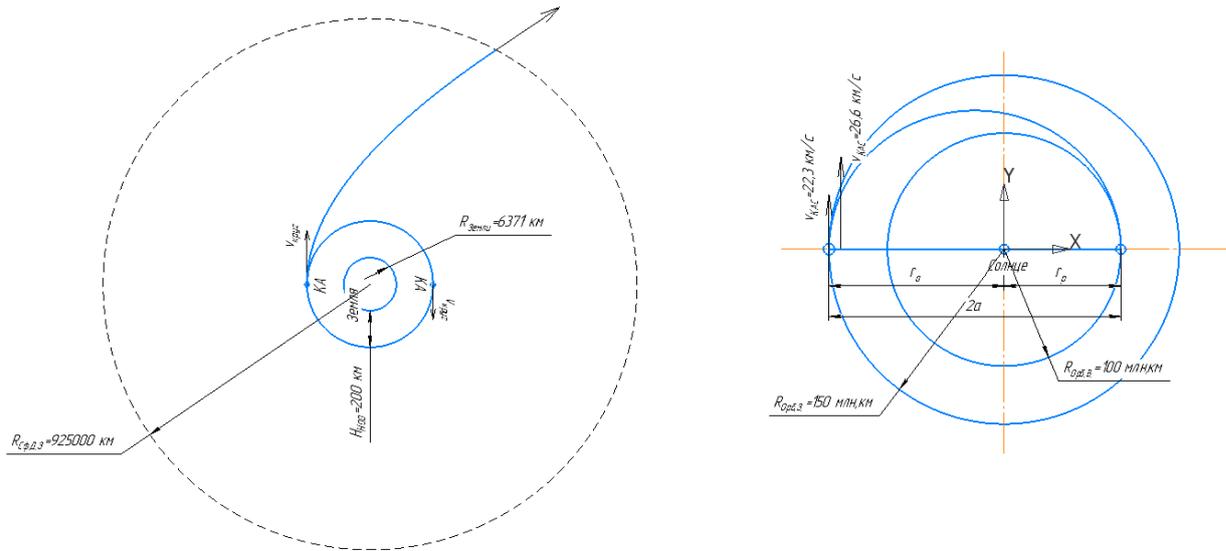


Рисунок 5 - Сфера действия Земли

Эта схема демонстрирует нам траекторию полета, а также дает понять, что значат некоторые обозначения:

$$U_a = 26,6 \text{ км/с}; U_{п} = 39 \text{ км/с}$$

Как мы вычислили ранее:

$$U_{п} = 39,9 \text{ км/с};$$

$$U_a = 26,6 \text{ км/с};$$

$$U_{з} = 29,79 \text{ км/с};$$

$$U_{в} = 35,02 \text{ км/с};$$

$$U_{з} = 11,467 \text{ км/с}.$$

Для того, чтобы рассчитать импульс на НОО (Низкой Околосемной Орбите), нам нужно знать скорость гиперболическую [3]. Она рассчитывается по данной формуле:

$$v_{\text{гип}} = \sqrt{(\Delta v_{\text{гип з}})^2 - \frac{2\mu_{з}}{R_{\text{ноо}}}} \quad (6)$$

Получаем: 11,167 км/с

Рассчитаем импульс, который мы должны дать на Низкой околосемной орбите (НОО)

$$\Delta U_{\text{ноо}} = U_{\text{гип з}} - U_{\text{ноо}} = 3,767 \text{ км/с}; U_{\text{ка}} = 22,3 \text{ км/с}; R_{\text{ср.д.з.}} - 925000 \text{ км}.$$

Аппарат почти у цели, но пока только залетел в сферу действия Венеры. Находим  $\Delta U_{в} = 4,88 \text{ км/с}$ .

Высота Атмосферы Венеры – 300 км [2]

$$R_{в} - 6052 \text{ км}.$$

Рассчитаем радиус орбиты Венеры:

$$R_{ов} = R_{в} + \text{Высота атм.} = 6052 + 300 = 6352 \text{ км}$$

Аппарат летит по гиперболической траектории до Венеры, поэтому надо рассчитать Угип:

$$U_{гип в} = 7,3 \text{ км/с.}$$

Теперь рассчитаем Дельту скорости орбиты Венеры:

$$\Delta v_{ов} = 4,153 \text{ км/с.}$$

Это – тормозной импульс у орбиты Венеры.

Вспоминаем про аппарат:

$$m_{нач} = m_{кон} + m_T \quad (7)$$

Для начала рассчитаем сколько топлива нам понадобится для разгонного блока «Фрегат».

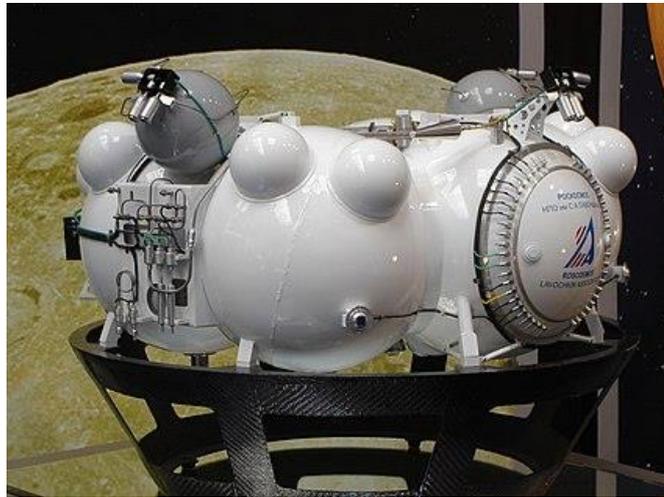


Рисунок 6- Разгонный Блок Фрегат

$m_{кон} = 1100 \text{ кг}$ ;  $m_{рб Т} = 4715 \text{ кг}$ ;  $J = 360 \text{ м/с}$ ;  $m_{кон-285} \text{ кг}$ ;  $m_{дугТ} = 815 \text{ кг}$ .

Рассчитаем объем топлива для разгонного блока:

$$V_{\frac{рб}{Т}} = V_{\frac{рб}{гор}} + V_{\frac{рб}{ок}} \quad (8)$$

Окислитель – Азотный тетроксид.

$J = 360 \text{ м/с}$ ;  $m_{кон-285} \text{ кг}$ ;  $m_{дугТ} = 815 \text{ кг}$ ;  $K_m = 1,85$ ;  $Q_{гор} = 790 \text{ кг/м}^3$ ;  $m_{ок} = 903 \text{ кг}$ ;  
 $m_{гор} = 1671 \text{ кг}$ .

$$V_{\frac{рб}{ок}} = 2,1 \text{ м}^3$$

$$V \frac{pb}{ok} = 1,14 \text{ м}^3$$

Теперь рассчитаем объём топлива для двигательной установки по тем же формулам (но теперь  $m_{кон} = 815$  кг, так как мы отбрасываем разгонный блок):

$$V \frac{pb}{гор} = 0,362 \text{ м}^3$$

$$V \frac{pb}{ok} = 0,368 \text{ м}^3$$

Таблица 1 - Схема удельных масс систем

Наименование системы	Удельная масса		
	Пилотируемый модуль	Обслуживаемый модуль	Автономный модуль
Конструкция	0,180-0,220	0,180-0,220	0,13-0,17
Энергопитание	0,60-0,80	0,70-0,90	0,10-0,13
СТР	0,75-0,85	0,80-0,90	0,09-0,10
СОЖ	0,130-0,150	0,50-0,60	0
Объединенная двигательная установка	0,020-0,025	0,020-0,025	0,02-0,05
Управление и навигация (с БКС)	0,170-0,200	0,170-0,200	0,03-0,07
Бортовые измерения и телеметрия	0,045-0,070	0,040-0,070	0,03-0,07
Прочие резервы, в том числе	0,020-0,120	0,030-0,070	0,03-0,07

Наша цель – рассчитать, сколько мы сможем уместить на станции аппаратуры.

$M_{\text{топ\_амс}} = 815 \text{ кг}$ ;  $M_{\text{амс}} = 1100 \text{ кг}$ ;  $\frac{m_{\text{топ\_амс}}}{m_{\text{амс}}} = 74\%$ ;  $M_{\text{кон\_амс}} = 143 \text{ кг}$ .

Процент аппаратуры от массы АМС составляет 46 %, что не подходит, так как свободного места всего 24 %. Поэтому сократим пропорции всей аппаратуры вдвое. В итоге, аппаратура занимает около 23% от АМС. Теперь рассчитаем массу каждой системы.

Таблица 2 - Массы систем АМС

Наименование системы	Масса, кг (приблизительная)
Конструкция	77 кг
Энергопитание	55 кг
СТР	55 кг
Объединённая двигательная установка	11 кг
Управление и навигация (с БКС)	11 кг
СОЖ	0 кг (не используется на автономных модулях)
Бортовые измерения и телеметрия	11 кг

В результате данной работы мы пришли к выводу, что полёт на Венеру очень сложен, продолжителен по времени, требуется затраты большого количества топлива для достижения цели, в результате чего, мы вынуждены будем сократить практически вдвое массу забрасываемой аппаратуры. Но, несмотря на эти факторы, до планеты всё же можно долететь и изучить. Когда-нибудь, это будет нетрудно для человечества.

#### Список источников

1. Госкорпорации «Роскосмос» : [сайт]. – URL: <https://www.roscosmos.ru/> (дата обращения: 02.03.2025).
2. Толяренко, Н. В. Основы проектирования орбитальных станций : учеб. пособие / Н. В. Толяренко ; Моск. гос. авиац. ин-т (техн. ун-т). - Москва : Изд-во МАИ, 1994. - 63, [1] с.
3. Элементы орбиты // Википедия : [сайт]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B\\_%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%8B](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B_%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%8B) (дата обращения: 02.03.2025).

## **Анализ данных космических телескопов Kepler и TESS для звезд северного полушария**

*Проект посвящён анализу данных космических телескопов «Kepler» и «TESS» для поиска экзопланет в северном полушарии небесной сферы. Основным методом исследования — изучение кривых блеска, позволяющих выявлять транзиты планет по малым периодическими изменениям яркости звёзд.*

*С использованием библиотеки «lightcurve» построены кривые блеска для выбранных объектов, проведён их анализ и оценена видимость звёзд. Особое внимание уделено фильтрации шумов, чтобы исключить инструментальные ошибки, космическое излучение и другие помехи, мешающие точному определению транзитов. Проверены различные методы обработки временных рядов, включая сглаживание данных и удаление выбросов. Выявлены объекты с потенциальными признаками транзитов. Полученные данные могут быть полезны для уточнения характеристик известных экзопланет и поиска новых кандидатов.*

**Ключевые слова:** *экзопланеты, фотометрия транзита, kepler, tess, космический телескоп.*

В последние десятилетия исследования экзопланет — планет, находящихся за пределами нашей Солнечной системы, стали одной из самых захватывающих и динамично развивающихся областей астрономии. Эта область казалась далёкой мечтой вплоть до конца 20-го века, и лишь некоторые теоретики могли представить, что когда-нибудь мы сможем обнаруживать планеты в других звездных системах. Только недавно стали доступны доказательства, которые позволяют начать различать крайние точки зрения, существовавшие более 2000 лет. Одни считали, что «Существуют бесконечные миры, как похожие на наш, так и отличающиеся от него» (Эпикур, 341–270 гг. до н. э.), в то время как другие утверждали: «Не может быть больше одного мира» (Аристотель, 384–322 гг. до н. э.). Современные достижения в области астрономии и технологий позволили превратить мечты в реальность, и помогли этой амбициозной идее пройти путь до практической реализации. Теперь экзопланеты — это не просто теоретическая концепция, а научное направление.

На сегодняшний день астрономы уже открыли тысячи экзопланет, и этот процесс продолжается с каждым днём, открывая новые горизонты в нашем понимании Вселенной. Эти планеты могут существенно отличаться от Земли, и могут находиться в совершенно разных условиях, чем те, к которым мы привыкли на родной планете. Вопросы о том, есть ли на этих

экзопланетах жизнь, какие условия могут способствовать её возникновению, а также насколько уникальна Земля как планета – остаются открытыми. Ответы на эти вопросы требуют более глубокого изучения экзопланет и использования различных методов наблюдения.

Одним из самых эффективных методов обнаружения экзопланет является метод фотометрии транзита. Этот метод позволяет детектировать планеты, проходящие перед своими звездами, таким образом создавая небольшие и кратковременные затмения света, которые могут быть зарегистрированы с помощью высокочувствительных приборов. Когда экзопланета проходит по орбите и перемещается между своей звездой и наблюдателем, звезда теряет часть своей яркости. Этот процесс называется транзитом, и наблюдение за изменениями в светимости звезды позволяет астрономам не только обнаружить планету, но и изучить её основные характеристики, такие как размер, масса, орбитальные параметры и даже состав атмосферы.

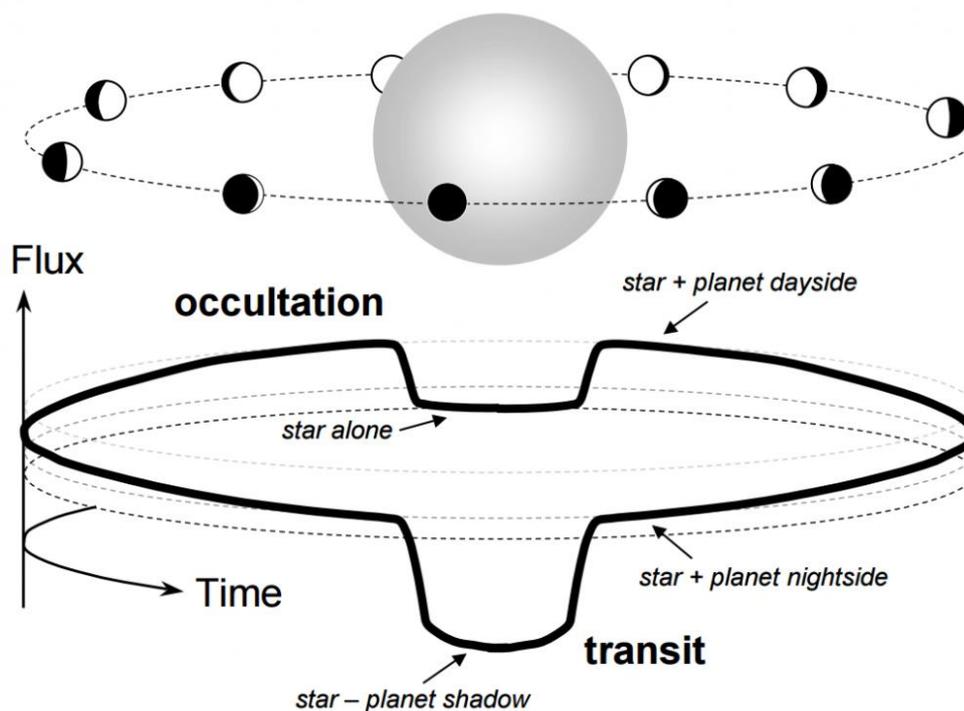


Рисунок 1 - Прохождение планеты перед диском звезды

Фотометрия транзита, несмотря на свою простоту в основе, требует высокой точности и чувствительности инструментов, так как изменения в яркости звезды могут быть очень незначительными. Например, транзит Земли перед Солнцем изменил бы яркость звезды всего на 0,0001%. Для того чтобы эффективно использовать этот метод, астрономы нуждаются в телескопах, которые могут наблюдать звезды в течение длительного времени с высоким разрешением.

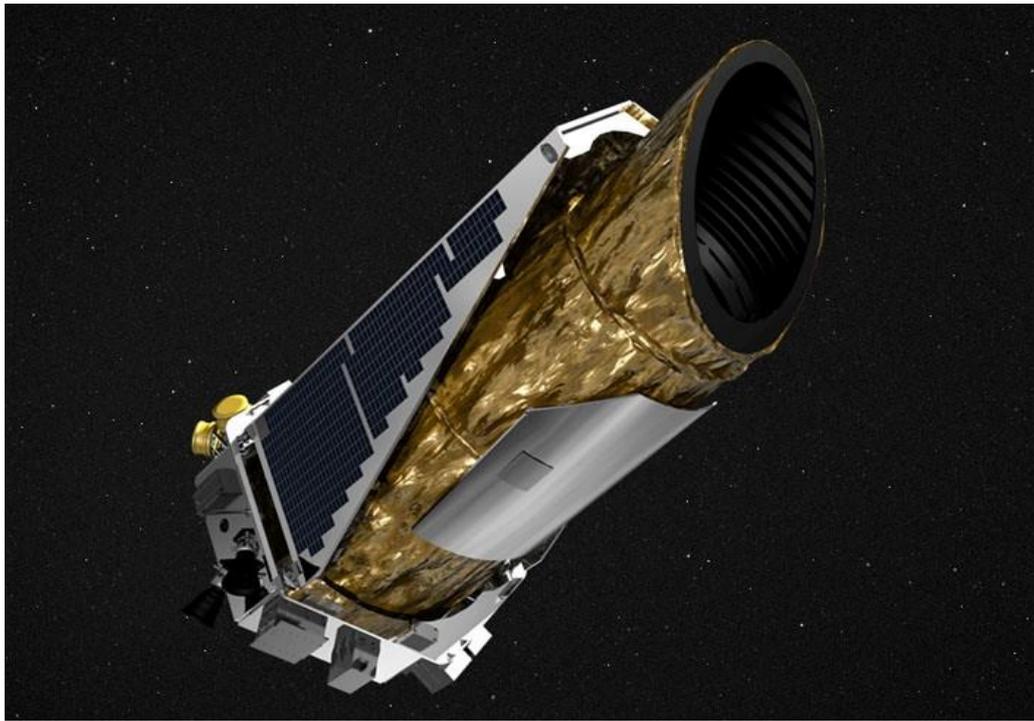


Рисунок 2 - Телескоп Kepler

Одним из самых известных космических телескопов, использующих метод фотометрии транзита, является телескоп Кеплер. Этот телескоп, выведенный на орбиту в 2009 году, стал настоящей революцией в области астрономических исследований экзопланет. Он работал в течение девяти лет, прежде чем был выведен из эксплуатации в 2018 году, но за это время успел совершить огромное количество открытий. Кеплер обнаружил более 2 600 экзопланет и обнаружил десятки тысяч кандидатов в экзопланеты. Благодаря этому телескопу мы смогли не только найти планеты, находящиеся в «зоне обитаемости» (где условия могут быть подходящими для существования жизни), но и начать исследовать их атмосферные особенности и состав.

Однако, несмотря на всё свои успехи, Кеплер имел определённые ограничения. Во-первых, его область наблюдения была ограничена небольшой частью неба, а во-вторых, его миссия была завершена после девяти лет работы. К счастью, на смену ему пришёл другой космический телескоп, не менее амбициозный и перспективный - TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite). Запущенный в 2018 году, TESS стал продолжением работы Кеплера и значительно расширил область наблюдения. Если Кеплер был сосредоточен на исследовании маленькой области неба, то TESS охватывает почти всю небесную сферу, что позволяет находить экзопланеты в большем количестве звёздных систем.

Особенность миссии TESS заключается не только в его способности искать транзиты экзопланет, но и в том, что его цель - находить планеты, которые потенциально могут быть изучены более подробно с помощью других инструментов, таких как телескопы, специализирующиеся на изучении атмосферы экзопланет. Это важно, потому что на основе открытий TESS учёные смогут отобрать объекты для дальнейшего исследования, включая поиск признаков жизни и изучение условий, которые могут быть подходящими для её существования.

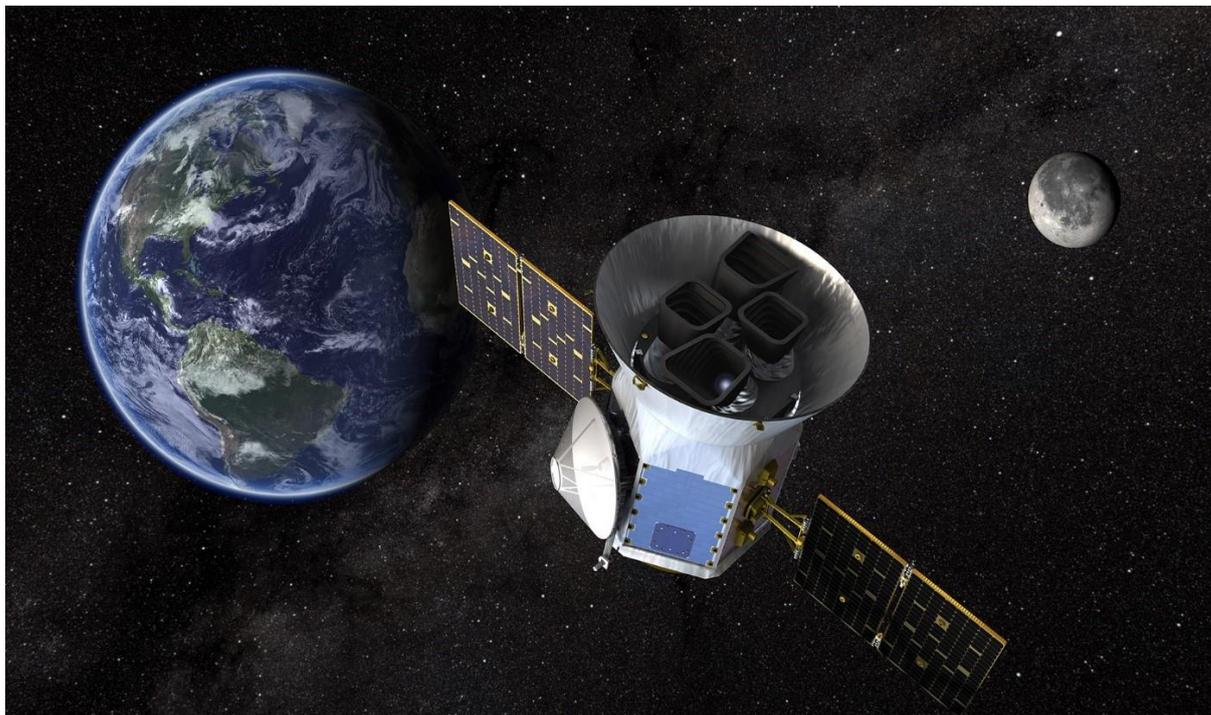


Рисунок 3 - Телескоп TESS

Экзопланеты – это не просто далёкие миры, о которых мы знаем благодаря научным моделям и теоретическим вычислениям. Эти планеты становятся всё более доступными для изучения, и с каждым новым открытием мы понимаем, насколько разнообразными могут быть миры за пределами нашей Солнечной системы. Мы всё ближе подходим к ответам на вопросы, которые когда-то казались невозможными: есть ли жизнь на других планетах, и если да, то как она может выглядеть? Или, может быть, нам предстоит встретиться с такими мирами, которые совершенно не похожи на Землю, и изучение их поможет нам понять, как можно жить в условиях, которые мы никогда не могли бы себе представить?

В конечном итоге, поиски экзопланет не только помогают нам лучше понять Вселенную, но и открывают новые горизонты для будущих поколений учёных.

Экзопланеты, которые светятся отражённым светом своих звёзд, будут в миллиард раз тусклее своих хозяев. В зависимости от их расстояния, угол их отделения от звезды будет составлять всего несколько секунд дуги. Поиск экзопланет методом транзита зависит от

точной геометрии наблюдатель-планета-звезда. Транзит можно наблюдать, когда планета проходит перед звездой по направлению к нам, что требует особой ориентации орбиты. Вероятность транзита  $p$  зависит от радиуса звезды  $R_s$  и большой полуоси орбиты  $a$ . Ближе к звезде планета - выше вероятность транзита. Транзит происходит лишь при определённой геометрии, что делает его редким событием. Это сочетание факторов делает прямое обнаружение экзопланет чрезвычайно сложной задачей, особенно в оптическом диапазоне, где соотношение яркости звезды и планеты очень велико, а также с Земли, из-за искажений, вызванных атмосферой, ведь ее турбулентность снижает разрешающую способность наземных телескопов. Такие космические телескопы, как Kepler и TESS, анализ данных которых был проведен в рамках проекта, обеспечивают наилучшие условия для обнаружения экзопланет. Kepler и TESS предоставили огромные массивы данных, анализ которых продолжает открывать новые горизонты в понимании Вселенной.

Но огромный объём данных так же является одной из основных проблем, с которой сталкиваются современные астрономы и исследователи. Космический телескоп Kepler за годы своей работы собрал сведения о более чем 530 000 звёздах, а TESS за два года наблюдений охватил 85% неба, передав информацию о миллионах объектов. Эти массивы данных невозможно проанализировать вручную, поэтому астрономия всё больше опирается на алгоритмы машинного обучения.

Эта работа демонстрирует, насколько важно развитие методов автоматизированного поиска, ведь с увеличением числа открываемых экзопланет их ручной анализ становится практически невозможным.

Современные алгоритмы способны не только фиксировать снижение яркости звезды, но и различать реальные транзиты от шумов и других астрономических явлений. Например, вспышки на поверхности звезды или двойные звёздные системы могут создавать схожие по форме кривые блеска, и без точных методов анализа существует риск ложных открытий. Работа с реальными данными Kepler и TESS показала, насколько сложен процесс обработки информации, но в то же время продемонстрировала потенциал автоматизированных систем.

Но все-таки ключевой задачей астрономии, имеющей как фундаментальное научное, так и прикладное значение, является поиск потенциально обитаемых миров. В этом контексте работа, направленная на анализ данных миссий «Kepler» и «TESS», построение кривых блеска звёзд и выявление возможных транзитных сигналов, является особенно актуальной.

Исследование экзопланет даёт ответ на один из самых важных вопросов науки и человечества: «является ли Земля уникальной или во Вселенной существуют другие миры, пригодные для жизни?» В течение столетий этот вопрос оставался исключительно в сфере

философии и предположений, но теперь мы получили возможность искать научные доказательства.

Современные наблюдательные миссии, такие как Kepler, TESS и James Webb Space Telescope (JWST), позволяют:

– Определять радиусы и массы экзопланет, что помогает выявлять потенциально скалистые (землеподобные) объекты.

–Анализировать состав их атмосфер с помощью спектроскопии, выявляя ключевые элементы, такие как вода, кислород, углекислый газ и метан - потенциальные биосигнатуры.

–Исследовать орбиты и энергетические характеристики экзопланет, определяя, находятся ли они в «обитаемой зоне» - области вокруг звезды, где может существовать жидкая вода.

В рамках данной работы был проведён анализ данных, который позволил выявить потенциальные транзитные сигналы у некоторых звёзд северного полушария. Это ценно, поскольку подавляющее большинство известных экзопланет обнаружено в южном полушарии, а северное пространство остаётся менее изученным.

**Цель работы:** анализ данных миссий Кеплер и Тесс для звезд северного полушария с последующим формированием перечня наиболее перспективных объектов для дальнейших наблюдений, включая использование обсерваторий Российской Федерации.

Несмотря на успехи экзопланетных исследований, выявление потенциально обитаемых миров остаётся сложной задачей по ряду причин:

–Яркость звезды маскирует сигнал экзопланеты. Из-за этого трудно напрямую зафиксировать свет, отражённый от планеты, и приходится использовать косвенные методы (например, транзитный метод).

–Атмосферные характеристики пока исследуются только у ограниченного числа экзопланет. Спектральные исследования доступны в основном для больших планет-гигантов, тогда как землеподобные планеты остаются сложными объектами для анализа.

–Необходимы длительные наблюдения. Чтобы подтвердить наличие планеты, особенно с длинным орбитальным периодом (похожим на Землю), требуется многолетний мониторинг.

Тем не менее, с появлением новых миссий и развитием технологий спектроскопии шансы на обнаружение пригодных для жизни миров становятся всё выше.

Поиск потенциально обитаемых экзопланет имеет значение не только для фундаментальной науки, но и для будущего человечества.

В частности:

–Поиск жизни во Вселенной. Если будут найдены экзопланеты с биосигнатурами, это изменит наше понимание места человека в космосе.

–Будущие миссии по исследованию экзопланет. Данные, полученные в рамках анализа кривых блеска, могут помочь выбрать объекты для детального изучения с помощью телескопов нового поколения.

–Долгосрочные перспективы освоения космоса. Хотя технологии путешествий к экзопланетам пока недоступны, выявление потенциально обитаемых миров закладывает основу для будущих исследований в области межзвёздных перелётов.

Таким образом, работа в области анализа данных миссий «Kepler» и «TESS» и построения кривых блеска звёзд имеет важное научное и практическое значение, поскольку помогает приблизить человечество к ответу на один из самых древних вопросов - «одни ли мы во Вселенной?».

#### **Задачи исследования:**

1. Собрать и обработать данные миссий «Kepler» и «TESS» для изучения светимости звёзд.
2. Построить кривых блеска с использованием библиотеки «lightkurve».
3. Проанализировать видимости звёзд и выявить потенциальные транзитные сигналы.
4. Сравнить различные методы обработки данных и оценить их эффективность.
5. Определить кандидаты на экзопланеты и оценить их характеристики.
6. Сформировать выводы о возможности дальнейших исследований выявленных объектов.

На первом этапе исследования были загружены и обработаны каталоги миссий Kepler и TESS.

Данные включали кривые блеска звезд, параметры их светимости и информацию о кандидатах в экзопланеты. В результате обработки была составлена общая таблица с характеристиками звезд и их предполагаемых планет.

На следующем этапе из списка были отобраны 12 наиболее перспективных кандидатов. При отборе учитывались следующие факторы: равномерное распределение объектов по прямому восхождению, использование данных миссий Kepler и TESS, качество транзитных сигналов с низким уровнем шума, а также видимость объектов из конкретной обсерватории, проверенная с помощью инструмента Staralt. Для этих объектов с использованием библиотеки Lightkurve были построены кривые блеска, отражающие изменение светимости звезд в зависимости от времени. Анализ этих кривых позволил оценить амплитуду транзита, его длительность и регулярность.

Полученные кривые блеска соответствуют данным SAP (Simple Aperture Photometry), которые можно найти в архиве данных более высокого уровня. Однако SAP-кривые блеска необходимо корректировать, чтобы получить данные, подходящие для поиска экзопланет. Поэтому дальнейшая работа велась с использованием PDCSAP (Presearch Data Conditioning SAP) кривых блеска из архива. Ниже приведены кривые блеска звезды, перед диском которой проходит один из выбранных кандидатов в двух типах данных, а также файл-снимок CCD целевого объекта с наложенной апертурной маской.

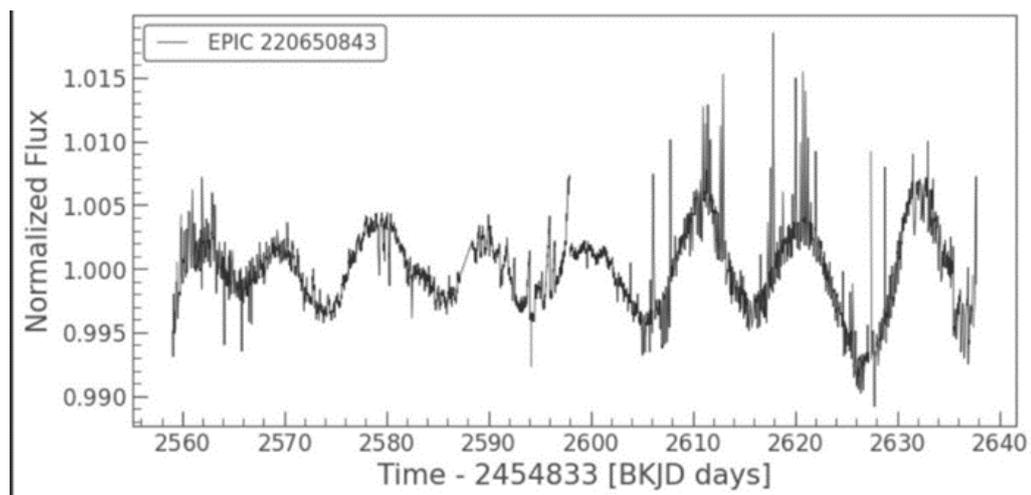


Рисунок 4 - PDCSAP-кривая блеска

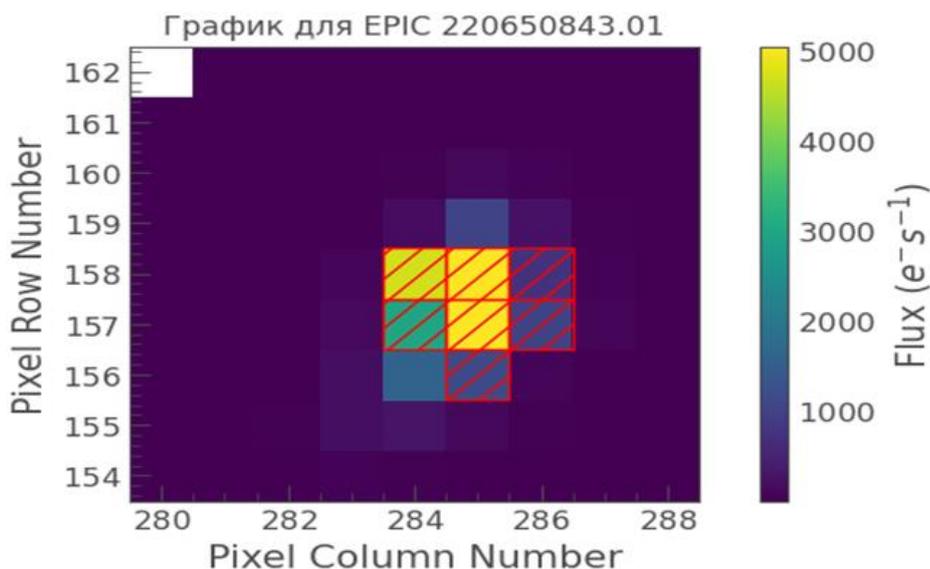


Рисунок 5 - Файл-снимок CCD целевого объекта с наложенной апертурной маской

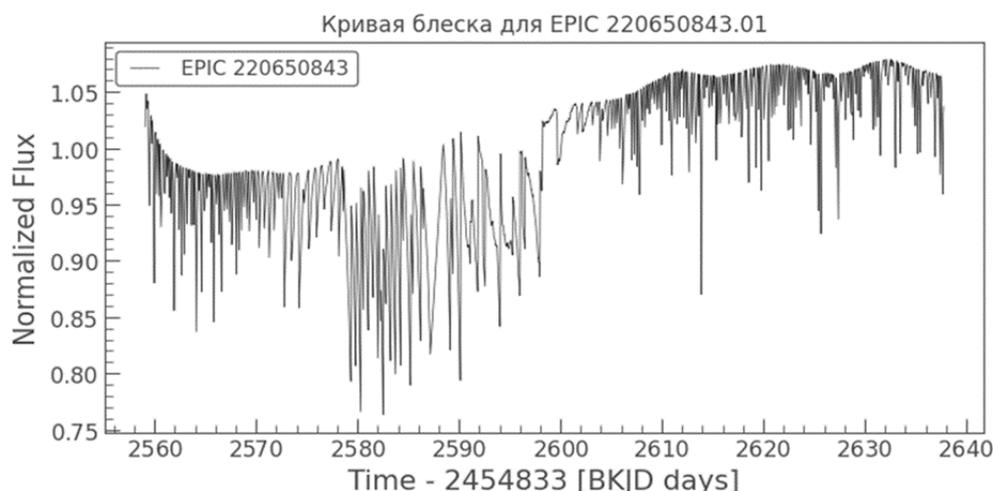


Рисунок 6 - SAP-кривая блеска

В результате проведенного исследования были обработаны и проанализированы данные миссий Kepler и TESS, что позволило изучить светимость звезд северного полушария и сформировать сводную таблицу с характеристиками звездных систем и возможных экзопланет.

Для 12 отобранных объектов построены кривые блеска с использованием библиотеки Lightkurve, что позволило зафиксировать изменения светимости звезд во времени. Анализ полученных данных помог выявить потенциальные транзитные сигналы, а также определить их ключевые параметры: глубину, длительность и периодичность прохождения планеты перед звездой.

В ходе сравнения различных методов обработки данных была оценена их эффективность и выявлены оптимальные подходы для исследования транзитных событий.

По итогам работы выделены наиболее перспективные кандидаты в экзопланеты, для которых проведена предварительная оценка их размеров, орбитальных характеристик и вероятности подтверждения планетного статуса.

Выявленные объекты представляют интерес для дальнейших исследований, включая дополнительные наблюдения с использованием наземных обсерваторий. Полученные результаты могут быть полезны для уточнения физических характеристик экзопланет и подготовки к их последующему детальному изучению.

### Список источников

1. Trigo-Rodríguez, J. M. The exoplanet handbook / J. M, Trigo-Rodríguez // Meteoritics & Planetary Science. - 2018. – Vol. 47. – С. 449-451. – DOI 10.1111/j.1945-5100.2012.01343.x.

2. Kaltenegger, L. How to Characterize Habitable Worlds and Signs of Life / L. Kaltenegger // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2017. – Vol. 55 – C. 433-485. – DOI 10.1146/annurev-astro-082214-122238.

3. Seager, S. The Search For Habitable Worlds / S. Seager // Professor Sara Seager : [сайт]. – 2015. – URL: [https://www.saraseager.com/\\_files/ugd/92999e\\_c8bcf67588dc4b1d98b89a862b195b79.pdf](https://www.saraseager.com/_files/ugd/92999e_c8bcf67588dc4b1d98b89a862b195b79.pdf).

### Полезные свойства облепихи крушиновидной и препараты из неё с регенерирующим действием

Целью работы являлось выявление среди препаратов из облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides L.*) наиболее активных, обладающих регенерирующим действием, и изучить его влияние и эффективность на кожу. Применялись методы анализа доступных литературных данных по биологической и фармакологической активности *Hippophae rhamnoides L.* Обобщены главные аспекты медицинских исследований облепихи, результаты экспериментов над животными и клинических испытаний экстрактов из облепихи (общие флавоноиды, плоды облепихи и облепиховое масло, сок) за последнее десятилетие. Выполнено описание следующих особенностей: ботаническое описание и ареал распространения; экологические требования и адаптивность; размножение и селекция; онтогенез и продолжительность жизни. Особое внимание уделяется химическому составу плодов. Дана общая характеристика, витаминный состав, жирнокислотный состав; представлена динамика изменения химического состава в зависимости от сортовых особенностей, условий произрастания и зрелости плодов. Представлено описание биологической активности и фармакологических свойств облепихи (антиоксидантная активность, противовоспалительное действие, ранозаживляющее и регенерирующее действие, иммуномодулирующие свойства, кардиопротекторное действие, гепатопротекторное действие, противоопухолевая активность). В результате сопоставления научно-доказанных фактов, показано, что плоды облепихи крушиновидной обладают наиболее сильной регенерирующей активностью, по сравнению с другими видами лекарственного растительного сырья. Подробно дано описание перспектив использования облепихи крушиновидной в медицине, пищевой промышленности, косметологии, сельском хозяйстве, нанотехнологиях.

**Ключевые слова:** облепиха, полезные свойства, биологически активные вещества, регенерирующая активность.

Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides L.*) – это наиболее распространенный вид облепихи, произрастающий по всей территории России. Плоды облепихи широко используются в медицине в качестве регенерирующего, ранозаживляющего,

противоязвенного, бактерицидного и обезболивающего средства благодаря присутствию в них разнообразных классов биологически активных веществ.

Цель работы заключалась в выявлении среди препаратов из облепихи наиболее активный, обладающий регенерирующим действием, и изучении его влияния на кожу.

В качестве методов и материалов исследования были определены подбор и анализ доступных литературных данных по биологической и фармакологической активности *Hippophae rhamnoides* L.

Научно доказано, что плоды облепихи крушиновидной обладают наиболее сильной регенерирующей активностью, по сравнению с другими видами лекарственного растительного сырья. Ниже приведем ботаническую, географическую, экологическую характеристику вида, а также его химический состав и лечебные свойства.

Жизненная форма: многолетний кустарник (реже дерево). Высотой 1–3 м, иногда 3–6 м (может достигать 15 м) (см. рисунок 1).



Рисунок 1 - Побеги с плодами Облепихи Крушиновидной

Корневая система: близко к поверхности, не глубже 40 см, распространяется на широкой площади. Слабо развита механическая ткань. (см. рисунок 2)

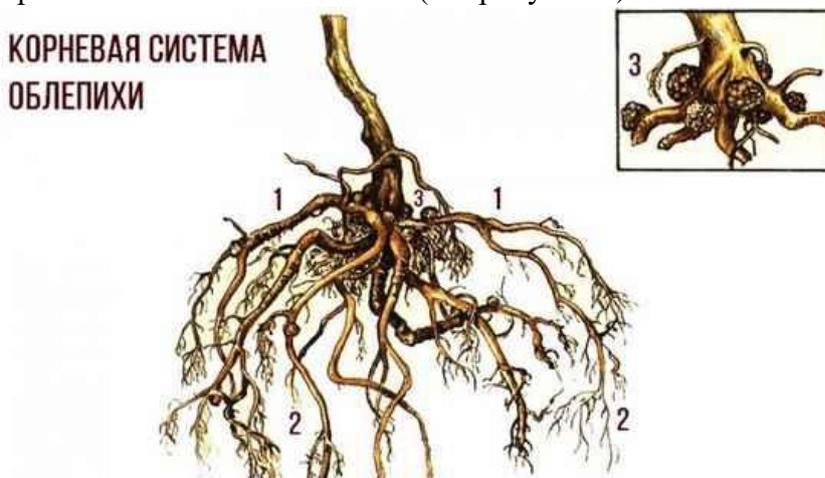


Рисунок 2 - Корневая система Облепихи Крушиновидной

Листья: очередные, простые, линейные (см. рисунок 3)



**Облепиха крушиновидная: а — ветвь с плодами; б — женский цветок; в — мужской цветок.**

Рисунок 3 - Ветвь с плодами и женскими и мужскими цветками Облепихи Крушиновидной

Цветки: зеленовато-бурые, облепиха не является медоносом из-за отсутствия нектаринов. Женские цветки собраны в короткие соцветия колосья. Мужские расположены в пазухах веток и колочек на коротких цветоножках. (см. рисунок 4)



Рисунок 4 - Женское и мужское растение Облепихи Крушиновидной

Плоды: с одной продолговато-яйцевидной косточкой. Созревание начинается в августе, полностью урожай дозревает лишь в октябре (см. рисунок 5).



Рисунок 5 - Плоды Облепихи Крушиновидной

В диком виде распространена на территории Европы, на Кавказе, в Западной и Средней Азии, Монголии, Китае, в тропических районах Пакистана и Индии. На территории РФ встречается в европейской части. Заросли облепихи приурочены к поймам реки и берегам озер, растет по островам, где нет застойного увлажнения. Растет в рыхлых почвах с большим содержанием органических веществ и фосфора. Облепиха светолюбива, при затемнении плохо растет и плодоносит. Растение морозоустойчиво, в Сибири выдерживает температуру до  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Облепиха светолюбива. Не выносит затенения, не может расти под пологом высоких деревьев и кустарников. Молодые растения не выдерживают конкуренции травяного покрова. Хорошо растёт и плодоносит на лёгких, водо- и воздухопроницаемых плодородных почвах, богатых солями кальция. Отрицательно реагирует на недостаток влаги в почве. В жаркие засушливые годы нуждается в орошении. При этом непригодны переувлажнённые участки со стоячей водой. Уровень грунтовых вод должен быть не выше 1–1,5 м от поверхности почвы. Зимостойкость зависит от происхождения. Наибольшей выносливостью к низким температурам характеризуются сибирские популяции, они выдерживают морозы до  $-35$ – $-40^{\circ}\text{C}$  и после этого хорошо плодоносят.

Размножение облепихи возможно несколькими способами: порослью или корневыми отпрысками, одревесневшими и зелёными черенками, горизонтальными отводками и семенами. Размножение семенами считается простым и распространённым. Семена облепихи

не требуют стратификации, хорошо всходят в любое время вегетационного периода. Однако при таком способе размножения примерно 50% растений оказываются мужскими. Размножение порослью — один из самых простых способов. Поросль у облепихи растёт активно и ежегодно. У мужских растений она формируется слабо, у женских — гораздо активнее. Размножение отводками используют на частных участках для получения небольшого количества саженцев. У одного растения, может быть, 10 порослевых побегов, на каждом из которых, может быть, 10 вертикальных побегов, которые можно отделить и получить самостоятельные растения. Размножение черенками проводят обычно осенью, в сентябре или начале октября. Черенки высаживают вначале на грядку доращивания с рыхлой и питательной почвой, а затем — на постоянное место. Селекция облепихи базируется на искусственном отборе сеянцев, полученных от свободного опыления, и естественных дикорастущих зарослей, а также на внутривидовой гибридизации географически отдалённых форм и повторной гибридизации лучших форм и сортов. Для получения урожая облепихи, так как она двудомное растение, рядом необходимо сажать женские и мужские деревья для перекрёстного опыления. Иначе никакого урожая не будет.

Онтогенез облепихи характеризуется формированием разветвлённого побега. В молодом возрасте годичный побег состоит из системы элементарных побегов, обычно с двумя и реже тремя циклами роста. При вступлении в плодоношение облепиха формирует наряду с простыми вегетативными почками смешанные, вегетативно-генеративные почки, из которых развиваются различные побеги. В первые 3–4 года после посадки замечается быстрый рост, затем рост замедляется. Плодоносить облепиха начинает с 5–6-летнего возраста, как правило, регулярно. Цветочные почки закладываются на побегах текущего года, плодоносят на двухлетней древесине. Типы нарастания в длину годичных побегов линейный или верхушечный, у облепихи зависят от их происхождения, а также от собственного возраста материнских растений. Продолжительность жизни облепихи — до 50 лет.

В плодах облепихи присутствуют, марганец и медь. Плоды облепихи содержат 3–6% сахаров, основными из которых являются глюкоза и фруктоза. Общее содержание органических кислот, достигает 2,5%. При этом типичная кислинка облепихи обусловлена большим количеством в плодах яблочной кислоты, а её терпкость связана с хинной кислотой. Окрас плодов облепихи объясняется наличием в них жёлтого красящего пигмента кверцетина. Содержание жирного масла, в мякоти оно составляет 9%, в косточках — 12%.

#### **Витаминный состав:**

- витамин С — 200 мг (около 222% от суточной нормы) на 100 г продукта;
- витамин Е — 5 мг (около 33% от суточной нормы) на 100 г продукта;

- витамин А — 0,25 мг (около 27% от суточной нормы) на 100 г продукта;
- витамин К — 110 мкг (около 92% от суточной нормы) на 100 г продукта;
- витамины группы В (В1, В2, В6, В9).

Также, в облепихе есть витамины А, Н, D, а также флавоноиды, аминокислоты, бета-каротин, фолиевая и органические кислоты. (см.рис.6)



Рисунок 6 - Состав витаминов и минералов в Облепихе Крушиновидной  
Жирнокислотный состав облепихового масла.

Содержание микро- и макроэлементов на 100 г продукта:

–Макроэлементы: калий (K) — 193 мг, кальций (Ca) — 22 мг, кремний (Si) — 3,3 мг, магний (Mg) — 30 мг, натрий (Na) — 4 мг, сера (S) — 5 мг, фосфор (P) — 9 мг, хлор (Cl) — 1,25 мг. [2](#)

–Микроэлементы: железо (Fe) — 1,4 мг, йод (I) — 1,1 мкг, кобальт (Co) — 0,49 мкг, марганец (Mn) — 0,93 мг, медь (Cu) — 240 мкг, молибден (Mo) — 11 мкг, селен (Se) — 0,97 мкг, хром (Cr) — 4,9 мкг, цинк (Zn) — 0,0037 мг

Флавоноиды в облепихе представлены, главным образом, лейкоантоцианами, катехинами, флавонолами и, в меньшей степени, флавонами.

Среди флавонолов выделены изорамнетин, кверцетин и кемпферол. Антоцианы в плодах облепихи крушиновидной присутствуют, но их содержание не нормируется. При высушивании плодов количество антоцианов значительно снижается и составляет менее 30% от свежего сырья. Катехины приводят в норму сердечно-сосудистую систему. Благодаря содержанию биологически активных веществ плоды облепихи могут быть перспективным источником антиоксидантов и широко использоваться в производстве пищевых и косметических продуктов.

Сортовые особенности: например, высоким содержанием витамина С отличаются группы бурятского, ютландского и саянского, чулышманского экотипов. Сорты с повышенным содержанием сахаров и высоким значением сахарокислотного индекса — например, Елизавета

Условия произрастания: так, в естественных фитоценозах содержание сахара в плодах облепихи ниже, а кислот, наоборот, выше, чем в искусственных. При этом есть тенденция увеличения содержания сахаров в плодах при произрастании облепихи в условиях регулярного полива и на затапливаемых участках.

Зрелость: например, в начале созревания плодов среднее содержание аскорбиновой кислоты выше, чем на стадии полной зрелости. Накопление масла интенсивнее проходит в первые сроки сбора плодов, снижаясь по мере созревания.

Было установлено, что содержание антиоксидантов зависит от видов, подвидов, разновидностей, ботанических сортов, эколого-географического происхождения плодов облепихи. Антиоксидантная активность спиртовых фракций выше, чем водных, в 1,3–1,7 раза в зависимости от ботанического сорта плодов облепихи.

В составе ягоды есть флавоноиды и антиоксиданты, которые помогают бороться с воспалениями и защищают клетки от повреждений. Также противовоспалительным действием обладают тритерпеновые кислоты облепихи — урсоловая и олеаноловая.

Облепиха используется при лечении некоторых заболеваний, например, ОРЗ. Фенольные соединения в составе ягоды обладают вяжущими свойствами и способны останавливать воспаления и кровотечения.

Однако у облепихи есть противопоказания, и перед употреблением стоит проконсультироваться с врачом. Людям с заболеваниями печени, почек, гастритом или язвенной болезнью стоит с осторожностью включать облепиху в рацион.

Облепиховое масло стимулирует репаративные процессы в коже и слизистых оболочках, ускоряет заживление поврежденных тканей, оказывает противовоспалительное действие. Обладает антиоксидантным и цитопротекторным действием (благодаря наличию жирорастворимых биоантиоксидантов уменьшает интенсивность свободнорадикальных процессов и защищает от повреждения клеточные и субклеточные мембраны).

Облепиха обладает иммуномодулирующими свойствами благодаря высокому содержанию витамина С и антиоксидантов. Эти вещества помогают организму бороться с инфекциями, снижают длительность простудных заболеваний и укрепляют иммунную систему. Также в облепихе содержатся флавоноиды, которые обладают противовоспалительными свойствами. Однако важно учитывать, что облепиха может иметь противопоказания, и перед её употреблением стоит проконсультироваться с врачом. Особенно

осторожно следует включать её в рацион людям с заболеваниями печени, почек, гастритом или язвенной болезнью.

В плодах облепихи содержится линоленовая кислота, которая относится к незаменимым жирным кислотам и обеспечивает кардиопротективный эффект.

Биоантиоксиданты облепихи улучшают периферическое кровообращение, нормализуют частоту сердечных сокращений. После курсового приёма облепихи повышается работоспособность и надёжность сердечно-сосудистой системы. Извлечения из листьев облепихи крушиновидной могут рассматриваться в качестве перспективного компонента в составе комплексной терапии сердечно-сосудистых заболеваний. Однако есть и мнение, что при применении облепихи в составе терапии сердечно-сосудистых заболеваний возможно влияние на систему гемостаза, и это может быть нежелательно из-за риска тромбообразования.

Облепиха обладает гепатопротекторным действием благодаря содержанию биологически активных веществ в листьях и побегах растения. Согласно одному из исследований (2005), использование сухого экстракта листьев облепихи крушиновидной в терапевтических дозах приводит к повышению активности ферментов метаболизма токсических агентов, а также к снижению реакций перекисного окисления липидов, что способствует нормализации структуры ткани печени и биохимических показателей крови. Однако у облепихового масла есть противопоказания: индивидуальная непереносимость компонентов, желчнокаменная болезнь, острые воспалительные процессы в желчном пузыре, печени, поджелудочной железе.

В диссертации кандидата биологических наук Ольги Коноваловой говорится о том, что препараты из облепихи крушиновидной обладают выраженной противоопухолевой активностью и высокой эффективностью. Они способны тормозить рост некоторых видов раковых опухолей и подавлять процесс метастазирования. Также в 2014 году в журнале «Бюллетень экспериментальной биологии и медицины» опубликована статья, в которой изучалось действие этанольного экстракта листьев облепихи на рост и дифференцировку клеток острой миелоидной лейкемии человека. Авторы исследования отметили, что экстракт листьев облепихи ингибировал рост клеток в зависимости от их типа и дозы экстракта. Однако стоит помнить, что облепиха – сильное средство с высоким содержанием биологически активных веществ, и эффективным средством профилактики и лечения она может быть только при правильном употреблении. Перед применением облепихи в качестве лечебного средства необходимо проконсультироваться с врачом.

В медицине из листьев облепихи получают гипорамин – лекарственное средство с противовирусной активностью. Гипорамин выпускают в форме таблеток для рассасывания, его применяют как лечебно-профилактическое средство при гриппе (А и В), а также при лечении других острых респираторных вирусных инфекций. Облепиховое масло используют

в качестве ранозаживляющего средства в комплексной терапии при поражениях кожи и слизистых оболочек.

Облепиха широко используется в пищевой промышленности благодаря своим полезным свойствам. Плоды облепихи употребляют в пищу в свежем, сушёном и замороженном виде в качестве пряно-ароматической и пряно-вкусовой добавки. Они служат сырьём для получения продуктов питания – облепихового сока, пюре, варенья, мармелада, повидла, начинки для конфет. Из облепихового сока можно делать вино, прохладительные напитки, наливки, настойки.

#### **Некоторые другие направления использования облепихи в пищевой промышленности:**

–Производство хлебобулочных изделий. Облепиховый шрот, полученный из плодов облепихи, добавляют в пшеничную муку для увеличения содержания незаменимых аминокислот в готовом продукте.

–Производство кондитерских изделий. Внесение мякоти плодов облепихи в карамель (5–10% к массе сахара) улучшает органолептические показатели качества карамели, придаёт ей вкус и аромат, свойственные плодам облепихи.

–Производство плавленых сыров и рубленых мясных изделий. Облепиховая мука может использоваться для частичной замены молочного жира при этих производствах.

Облепиховое масло и экстракт облепихи широко применяются в косметологии.

#### **Некоторые области использования:**

–Уход за кожей. Облепиховое масло входит в состав регенерирующих кремов для кожи рук и лица, средств, восстанавливающих кожу после загара, отбеливающих масок для лица. Экстракт облепихи добавляют в косметику, которая защищает кожные покровы от воздействия ультрафиолета.

–Уход за волосами. Облепиховое масло стимулирует рост волос, укрепляет волосяные луковицы, придаёт волосам блеск и шелковистость.

Некоторые свойства облепихового масла в косметологии:

- удаляет с поверхности кожи слой ороговевших клеток;
- снимает отёки и устраняет повреждения эпидермиса;
- предупреждает чрезмерную потерю влаги кожными покровами;
- защищает кожу и восстанавливает микроповреждения на ней;
- снижает активность сальных желёз.

Важно учитывать, что у облепихового масла есть противопоказание – индивидуальная непереносимость. Перед использованием рекомендуется провести тест на возможную аллергическую реакцию.

Как кормовая база облепиха используется, например, для кормления животных. Из жома облепихи после выжимки сока и масла получают облепиховый жмых, который обладает высокой питательностью. В нём содержится много сырого протеина, клетчатки, золы, углеводов, каротина. Исследования показали, что включение облепихового жмыха в рацион коров-первотелок в период раздоя увеличивает молочную продуктивность животных.

В качестве почвозащитного растения облепиху применяют, в частности, для защиты почв от эрозии. Облепиха используется в лесомелиорации и при рекультивации почв, подвергшихся техногенному разрушению, улучшает их плодородие. Благодаря способности обильно образовывать корневые отпрыски, насаждения облепихи используют в ветрозащитных полосах, для закрепления песков.

Разработка нового способа переработки облепихи в Бурятии. Учёные Восточно-Сибирского государственного университета технологии и управления предложили технологию, которая позволяет сократить затраты энергии, ресурсы и снизить отходы производства. Суть инновации - использование микроволновой энергии и вакуума в процессе переработки ягоды. Это помогает сохранить полезные свойства облепихи, сократить продолжительность процесса и снизить температуру на стадиях обезвоживания и прессования. По этому способу получают широкий ассортимент продукции, в том числе сушёную цельную облепиху, сок любой концентрации, экстракт, ароматическую воду, сушёную мякоть, облепиховое масло, жмых, шрот и другое.

Появление новых производств продуктов из облепихи. Например, компания «Гемник» открыла завод по переработке ягоды в Селенгинском районе Бурятии. В ассортименте выпускаемой продукции – чай, масла, сиропы и другая богатая витаминами продукция.

Планы по созданию новых продуктов на основе облепихи. Так, сообщалось, что в подмосковном индустриальном парке «Есипово» планируют запустить производство косметических средств, эфирных масел и БАДов на основе растительного сырья, в том числе облепихи.

Практическая часть работы заключалась в создании крема для рук.

*Создание крема для рук*

Компоненты:

1. Водная фаза (ВФ):
  - Дистиллированная вода (25гр)
2. Жирная фаза (ЖФ):

- Облепихи масляный экстракт (8гр)
  - Ланолин (3гр)
  - Ши (Карите) масло рафинированное (3гр)
  - Пчелиный воск белый (2.5гр)
  - Эмульсионный воск
3. Активная фаза (АФ):
- Д-Пантенол (4гр)
  - Глицерин (1гр)
  - Цитат серебра (10 капель)
  - Эфирное масло лаванды (0.2гр)
  - Эфирное масло ванили (0.2гр)
  - СО2 экстракт облепихи (ягода) (0.03гр)

Шаг 1: в термостойкую емкость добавить эмульсионный воск и белый пчелиный воск (компоненты ЖФ).

Эти продукты помогут смешаться маслу и воде, создав обычный крем, воск дополнительно уплотняет консистенцию крема, придавая защитные функции.

Шаг 2: добавить ланолин, масло ши и облепихи масляный экстракт.

Ланолин – средство для восстановления поврежденной кожи, устраняет трещины, сухость, шелушения и предохраняет от воздействий внешней среды.

Масло Ши – одно из самых популярных питательных масел, оно ухаживает за сухой кожей рук, придавая гладкость и эластичность.

Облепихи масляный экстракт – действенное средство от воспалений на коже, обладающее богатым составом.

Шаг 3: в другой емкости (большого размера) отмеряем дистиллированную воду, а затем растапливаем компоненты ЖФ до однородного жидкого состояния и нагреваем ВФ до такой же температуры.

Шаг 4: при примерно одинаковой температуре двух фаз смешиваем их, медленно вливаем ЖФ в ВФ, одновременно перемешивая их.

Шаг 5: добавляем СО2 экстракт облепихи.

Он усиливает действие базового масла и придает крему красивый оттенок, который также служит индикатором равномерности перемешивания крема.

Шаг 6: в готовый остывший крем добавляем Д-Пантенол и глицерин (при температуре не выше 30 градусов)

Эти компоненты помогут увлажнить и регенерировать поврежденную кожу.

Шаг 7: добавляем эфирное масло лаванды и эфирное масло ванили.

Они служат как в качестве парфюмерной композиции, как и в качестве дополнительных активных компонентов для ухода за сухой и поврежденной кожей.

Шаг 8: добавляем цитат серебра для того, чтобы крем лучше хранился и не портился.

Результаты: крем для рук с облепихой в составе получился более жирным, чем ожидалось и немного окрашивает кожу, но предметы, с которыми взаимодействуют участки кожи с кремом нет. Использовать его рекомендуется не на регулярной основе, а при необходимости, например: при сильном морозе перед выходом на улицу либо на ночь при сухости, раздражении, покраснении определенных участков кожи рук. Возможно применение для других участков тела, таких как локти, пятки и т.д.

Можно рассмотреть кожу до применения полученного крема (см. рисунок 7) она сухая, видны трещины, есть небольшое раздражение. Далее представлена кожа после нескольких дней применения на ночь, выглядит она все лучше и лучше (см.рисунок 8)



Рисунок 7 - Кожа до использования полученного крема



Рисунок 8 - Кожа после нескольких дней применения на ночь

Благодаря содержанию биологически активных веществ плоды облепихи могут быть перспективным источником антиоксидантов и достаточно широко использоваться в производстве пищевых и косметических продуктов.

#### Список источников

1. Противораковое действие этанольного экстракта листьев облепихи (*Hipporhae Rhamnoides L.*) на клетки острой миелоидной лейкемии человека *in vitro* / Г. Т. Жаманбаева, М. К. Мурзахметова, С. Т. Тулеуханов [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2014. – №8. – С. 221-224.

2. Коновалова, О. Н. Влияние препаратов облепихи крушиновидной на рост и метастазирование перевиваемых опухолей : дис. канд. биол. наук : 14.00.25 / Коновалова Ольга Николаевна. – Томск, 1992. – 153 с.

3. Константинов, Ю. Облепиха от атеросклероза, бесплодия, гастрита, инфаркта, инсульта, онкологии, псориаза / Ю. Константинов. - Москва : Центрполиграф, 2018. – 160 с.

4. Материалы III Международного симпозиума по облепихе / Междунар. н.-и. и учеб. центр по облепихе ; РАСХН. Сиб. отд-ние. НИИСС им. М.А. Лисавенко. Бурят. ПЯОС. – Новосибирск, 1998. – 248 с.

5. Михайлов, Г. Тайные рецепты русских знахарей. Шиповник, облепиха, черноплодная рябина. От 100 болезней / Г. Михайлов. – Москва : АСТ, 2014. – 220 с.

6. Царькова, Т. В. Облепиха / Т. В. Царькова. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 32 с.

## Ресурсное значение местных видов лиственных деревьев пригородов Москвы

*Местные виды лиственных деревьев составляют значительный ресурс в пригородах Москвы. Их ресурсный потенциал в условиях пригорода является экологическим и заключается в улучшении качества воздуха, поддержании растительного разнообразия, формировании комфортной городской среды. Однако эти растения обладают и другими полезными свойствами. Целью исследования было выявление ресурсного потенциала местных видов лиственных деревьев пригородов Москвы. В работе показано, что местные лиственные деревья пригородов г. Москвы представлены 16 видами. Выполняя важные средообразующие функции в пригороде, они имеют важное ресурсное значение: лекарственное, пищевое, кормовое, медоносное, декоративное, материалы для производств и т.п. Часть ресурсного значения не может быть востребована из-за близости загрязняющей городской среды, выполнения защитных функций в виде зеленого пояса Москвы. Например, сбор части этих растений для лекарственных и пищевых целей не предоставляется возможным из-за воздушного загрязнения. Однако большая часть этих растений является кормовым ресурсом для обитающих диких животных и птиц, которые являются частью биологического разнообразия и важнейшим компонентом устойчивости экосистем.*

**Ключевые слова:** *лиственные деревья, пригороды Москвы, ресурсное значение.*

Растения являются важнейшим ресурсом существования человека на Земле от пищевых до рекреационных. Человека на протяжении всей его жизни окружают продукты, изготовленные из растений: деревянные дома, мебель, элементы интерьера в каменных домах, одежда и др. В современном обществе часть растительных ресурсов существенно утратили своё значение, например, красильные растения в настоящее время широко заменены синтетическими красителями, другая часть растений, например, текстильные до сих пор используются, и одежда из них ценится за свою натуральность. Растения вокруг городов в меньшей степени используются как традиционные ресурсы и больше играют средорегулирующие и рекреационные функции.

Местные лиственные деревья составляют значительный ресурс в пригородах Москвы. Их ресурсный потенциал в условиях пригорода является экологическим и заключается в улучшении качества воздуха, поддержании растительного разнообразия, формировании комфортной городской среды. Однако эти растения обладают и другими полезными свойствами, например, являются кормовым ресурсом.

**Цель исследования:** выявить ресурсный потенциал местных видов лиственных деревьев пригородов Москвы.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

1. Выявить разнообразие местных видов лиственных деревьев.
2. Провести анализ научной литературы и выявить ресурсный потенциал видов деревьев.

**Объектом исследования** являются виды лиственных деревьев, произрастающие в пригородах Москвы.

**Предметом исследования** выступает ресурсная ценность этих деревьев, их экосистема, социальность, экономическая и культурная функция.

Экосистема функция: лиственные деревья, способствуют сохранению биоразнообразия, а также улучшают климатические условия и качество воздуха.

Социальная функция: лиственные деревья способствуют улучшению климата, здоровья, также активному участию сообществ.

Экономическая функция: лиственные деревья обеспечивают древесиной, снижение затрат на кондиционирование воздуха.

Культурная функция: лиственные деревья символизируют идентичность, вдохновляют искусство и становятся объектами экологических исследований.

Методом исследования являлся анализ литературы по ресурсному значению растений. В виде материалов использовали специальную научную литературу по ботанике.

Анализ литературы по Флоре Москвы, по данным 2007 г., показал, что местные лиственные деревья представлены следующими видами [1]:

1. Береза пушистая
2. Береза повислая
3. Ольха черная
4. Дуб черешчатый
5. Ива белая
6. Ива козья
7. Ива остролистная
8. Тополь дрожащий, осина
9. Тополь чёрный
10. Вяз гладкий

11. Вяз голый, шершавый
12. Клён остролистный
13. Липа мелколистная
14. Ясень обыкновенный
15. Рябина обыкновенная
16. Черёмуха обыкновенная

Ниже приведена их краткая характеристика [2].

1) Береза повислая, или бородавчатая (*Betula pendula* L.) стройное дерево до 20 м высотой с ажурной кроной и поникающими ветвями. Широко культивируется в Москве. Её используют на скверах и бульварах в аллеиных посадках и группах. Древесина берёз используется в мебельном производстве и ценится за лёгкость обработки и особенно красоту рисунка.

2) Берёза белая, или пушистая (*Betula alba* L.), -дерево до 20 м высотой, с распротёртыми, слабо поникающими в стороны ветвями. В России она обитает в европейской части, на Кавказе и в Сибири. Присутствует во всех Московских парках и на лесных участках.

3) Ольха черная, или клейкая (*Alnus glutinosa* L.), -дерево до 20 (35) м высотой, часто многоствольное, с темно-бурой корой и молодыми красновато или оливково-коричневыми побегами. Распространена в Западной Европе, европейской части России, Предкавказье и Западной Сибири. Образует обширные чистые насаждения на низинных сильно обводненных болотах (ольховые топи), а также вдоль рек и лесных ручьев. В озеленении улиц и бульваров применяется редко, но в парках можно найти крупные экземпляры этого вида: так, вокруг пруда в Кузьминках имеются деревья почти 30-метровой высоты при диаметре ствола в 80 см, крупные экземпляры имеются также на Воробьевых горах и в Измайловском лесопарке.

4) Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), дерево до 40 (50) м высотой, с мощным стволом, достигаю до 1,5 м в диаметре и шаровидной кроной. Кора у старых деревьев серая, с глубокими трещинами. Дуб присутствует и нередко преобладает в лесах, окружающих Москву или находящихся на её территории даже и в настоящее время. Кора, содержащая дубильные вещества, применяется в кожевенном производстве, а также в народной и научной медицине. Желуди используют как суррогат кофе и для откорма свиней. Ценное дерево для степного лесоразведения.

5) Ива белая, или серебристая, ветла (*Salix alba* L.), дерево, достигающее 25-30 м высоты и до 3 м в диаметре. У старых деревьев крона широкая, шатровидная, мощный ствол, нередко разветвлённый почти от земли, с серой корой с глубокими трещинами. Ветви гибкие, молодые опушённые. Ветла распространена в Европе, Сибири, Малой Азии, Китае и

Гималаях. Растёт в поймах рек вместе с другими ивами и тополями, образуя ленточные и фрагментарные насаждения. Быстрорастущая светлюбивая порода, устойчивая в городских условиях. Издавна используется в озеленении, при этом особенно ценятся плакучие формы с ярко окрашенными блестящими побегами. В Москве старые экземпляры ивы белой (в среднем они живут около 100 лет) имеются в каждом лесопарке у прудов и водотоков, в новых районах этот вид также часто сохраняется у водоёмов, в частности в Лианозове и Алтуфьеве.

6) Ива козья, или бредина (*Salix caprea* L.), быстро растущее дерево 6-10 м высотой или невысокий кустарник с зеленовато-серой гладкой корой, раскивающейся внизу ствола. Ива козья распространена на всей территории России. В Москве она легко селится во дворах, на городских газонах и на крышах и балконах заброшенных зданий.

7) Ива остролистная, верба, шелюга, красотал (*Salix acutifolia* L.), дерево до 10-12 м высотой с длинными, тонкими, гибкими прутье видными ветвями красно-бурого или ярко-красного с сизым налётом или яично-жёлтого, без налёта. В России вид встречается в южной половине европейской части, в Предкавказье, на юге Западной Сибири и в западной части Восточной Сибири. Чаще растёт в долинах рек, поселяясь на приречных песках и дюнах. В нашем климате этот вид недостаточно устойчив и потому в городском сочленении встречается нечасто, но всё же её посадки имеются в Нескучном саду и на территории ВВЦ.

8) Тополь дрожащий, или осина (*Populus tremula* L.), -обычный аборигенный вид. Это двудомное дерево до 25-30 м высотой, с зеленовато-серой гладкой корой, тёмно-бурой в основании старых стволов. Евразийский вид, распространённый от Европы. Кавказа, Малой и Средней Азии до Китая и Кореи. Растет как примесь в лесах различного состава и нередко образует чистые насаждения, особенно после сведения дубовых лесов, как пионерная порода осина нередко заселяет места, свободные от растительного покрова. Обычна она и у жилых строений, во дворах, палисадниках, легко поселяясь на нарушенных местах.

9) Тополь чёрный, осокоре (*Populus nigra* L.) дерево до 30 м высотой и до 1 м в диаметре с толстой растрескивающейся тёмно-серой корой и блестящими жёлтыми или жёлто-серыми молодыми ветвями. Распространён в России в южной половине европейской части и в Сибири до Енисея (в южных районах лесной зоны и в степной зоне). Растёт в поймах рек, где образует небольшие рощицы, называемые осокорицами. Тополь чёрный давно введён в культуру, но с 30-х годов стал постепенно вытесняться американскими и гибридными видами тополей. Сейчас в Москве он сохраняется в нескольких парках, известны и некоторые очень старые деревья.

10) Вяз гладкий (*Ulmus laevis* L.) дерево до 35 м высотой при диаметре ствола в 1 м, с широко цилиндрической кроной. Кора у старых деревьев буро-коричневая, отслаивающаяся тонкими ромбическими пластинками. Вид распространён в Европе (кроме севера и крайнего

юга), не переходя на востоке за Урал. Обычно встречается в виде примеси в широколиственных лесах, особенно по оврагам и склонам речных долин. В Москве вяз издавна сажали в парках, на бульварах, улицах и во дворах. Старейшие в городе вязы, которым не менее 200 лет, сохранились в Коломенском, в Кускове, Краснопресненском парке, на Бульварном кольце и в ряде других мест. Растёт он также и в естественных насаждениях по крутому правому берегу реки Москвы от Воробьёвых гор вверх по течению до Филей и Кунцева, где зарегистрированы вязы с диаметром ствола до 120 см, в Лосином острове и других местах.

11) Вяз голый, ильм (*Ulmus glabra* L.), дерево до 30 м высотой, со стволом до 2 м толщиной, с бурой трещиноватой корой. Молодые веточки густо опушены жесткими рыжеватыми волосками. Ильм распространён в европейской части России, кроме северных районов, как и предыдущий вид, не переходя на востоке за Урал, и на Северном Кавказе, за пределами России встречается в Западной Европе, Закавказье и Малой Азии. Обычен как примесь в долинных и водораздельных широколиственных лесах, реже встречается в подлеске хвойно-широколиственных лесов. В естественном состоянии встречается преимущественно в широколиственных лесах, находящихся на территории Москвы, и в парках. Давно высаживается на улицах и бульварах.

12) Клён остролистный, или платановидный (*Acer platanoides* L.), аборигенный вид. В России он встречается в европейской части, доходя на севере до границы тайги, и на Северном Кавказе, а за её пределами в Западной Европе и Закавказье. Растёт как примесь в широколиственных и хвойно-широколиственных лесах, но иногда образует и чистые насаждения. Это дерево до 20-30 м высотой и диаметром ствола до 1 м, с густой шатровидной кроной и тёмно-серой, иногда почти чёрной корой с многочисленными продольными неглубокими трещинами. Цветёт в конце апреля-мае, до распускания листьев, в это время кроны клёна ярко выделяются жёлтыми облаками на сером фоне окружающих его деревьев. Плодоносит в сентябре. Присутствует практически во всех лесопарках, входящих в черту Москвы, а также в парках, скверах и на бульварах, хотя городские условия мало благоприятны для него.

13) Липа мелколистная, или сердцевидная (*Tilia cordata* L.), дерево до 30 м высотой при толщине ствола до 1 м, с тёмной продольно бороздчатой корой. Крона шатровидная, с направленными вверх верхними ветвями, горизонтально распростертыми средними и свисающими почти до земли (при свободном стоянии) нижними. В России этот вид распространён в европейской части и на Северном Кавказе, оторванное местонахождение существует в Западной Сибири. За пределами России вид обитает в Западной Европе, Крыму, Закавказье и Малой Азии. Растёт в широколиственных и хвойно-широколиственных лесах, в таёжной зоне в виде подлеска, южнее входит в состав первого яруса и местами образует

чистые насаждения. С давних пор липа мелколистная широко используется в озеленении Москвы. Старые деревья мы находим в посадках на Бульварном кольце и в старых парках, да и сейчас она чаще, чем другие древесные породы, высаживается на улицах, скверах и во дворах.

14) Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) распространён в России в европейской части и на Северном Кавказе, а за её пределами в Западной Европе, Крыму, Закавказье и Малой Азии. Это дерево до 30 м высотой, с серой трещиноватой корой. Почка чёрная, с 2 парами чешуй. Молодые побеги голые. Растёт в широколиственных и хвойно-широколиственных лесах, иногда образует чистые насаждения. Присутствует на некоторых участках лесных массивов, входящих в черту города, а также нередко высаживается в парках и на бульварах. Старые крупные экземпляры его имеются на Бульварном кольце, в Краснопресненском парке и на склоне правого берегов. Москвы в районе Воробьёвых гор и Фили-Кунцева.

15) Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) – дерево 4-15 (20) м высотой, с серой гладкой корой. В России встречается в европейской части и на Северном Кавказе. Растёт в подлеске лесов разнообразного состава, часто еловых, разрастаясь на опушках, прогалинах и лесосеках. Издавна использовалась как плодовое, лекарственное и декоративное растение, имеет пирамидальные и плакучие формы. Она широко разводится и почти всегда присутствует в парках, на бульварах, улицах и во внутриквартальном озеленении. В России рябина обыкновенная нередко считается символом семейного счастья и оберегом и часто высаживается у домов.

16) Черёмуха обыкновенная, или птичья (*Prunus padus* L.), аборигенный вид московской флоры, широко распространённый в России в европейской части, на Северном Кавказе и в Западной Сибири. Дерево до 10 м высотой, не редко многоствольное, с матовой чёрно-серой корой с характерным «черёмуховым» запахом, благодаря присутствию амигдонитрил гликозида и масла горького миндаля. Особенно эффектна весной в цвету и осенью красочной листвой. К недостаткам следует отнести недолговечность и образование корневых отпрысков. В Москве изредка встречается в парках и в уличном озеленении.

Анализ литературы показал, что лиственные древесные растения имеют большой ресурсный потенциал - многие из них имеют следующее ресурсное значение [3]:

- лекарственное,
- пищевое,
- пищевые добавки,
- кормовое,
- медоносное,

- материалы,
- экологическая значимость.

В таблице 1 приведено ресурсное значение местных видов лиственных деревьев пригородов Москвы.

Таблица 1 - Ресурсного значения местных видов деревьев пригородов Москвы

№	Вид	лек.	пищ.	пищ. доб.	корм.	мед.	матер.	экознач.
1	Береза повислая	+	+	+	+	+	+	+
2	Береза пушистая	+	+	+	+	+	+	+
3	Ольха черная	+	-	-	+	+	+	+
4	Дуб черешчатый	+	+	-	+	+	+	+
5	Ива белая	+	-	-	+	-	+	+
6	Ива козья	+	+	-	+	+	+	+
7	Ива остролистная	+	-	-	-	+	+	+
8	Тополь дрожащий	+	-	-	+	+	+	-
9	Тополь чёрный	+	-	-	+	+	+	+
10	Вяз гладкий	+	+	-	+	+	+	+
11	Вяз голый	+	-	-	+	+	+	+
12	Клён остролистный	+	+	-	+	+	+	+
13	Липа мелколистная	+	+	+	+	+	+	+
14	Ясень обыкновенный	+	+	-	+	+	+	+
15	Рябина обыкновенная	+	+	-	+	+	+	-
16	Черёмуха обыкновенная	+	+	-	+	+	+	+

Сокращение: лек — лекарственное; пищ. — пищевое; пищ. доб. — пищевые добавки; корм. — кормовое; мед — медоносное; матер. — материалы; экознач. — экологическая значимость

Из таблицы 1 видно, что все местные виды лиственных деревьев относятся к лекарственным и имеют значение как материалы. Как материалы могут использоваться в виде древесины для изготовления. Большая часть рассмотренных лиственных имеет кормовое значение и медоносное — 94% (15 из 16 видов). Часть лиственных деревьев имеет

экологическую значимость - 92% (14 из 16). Меньшая часть рассмотренных лиственных имеет значение как пищевые добавки - 6% (3 из 16).

Например, рябина обыкновенная используется для изготовления токарных и столярных изделий, музыкальных инструментов и даже может использоваться как красильное для тканей. Рябина обыкновенная является медоносным деревом. Она съедобно в свежем и переработанном виде: плоды; суррогат чай, кофе. Проявляют инсектицидную и ратицидную активность: почки. А также она является кормом.

Местные лиственные деревья пригородов г. Москвы представлены 16 видами. Выполняя важные средообразующие функции в пригороде, они имеют важное ресурсное значение. Часть ресурсного значения не может быть востребована из-за близости загрязняющей городской среды, выполнения защитных функций как зеленого пояса Москвы. Рассмотрев ресурсную ценность лиственных деревьев, их экосистему, а также социальные, экономические и культурные функции, были сделаны следующие выводы: лиственные деревья представляют собой важный элемент природной среды и человеческой культуры, что подчеркивает важность их охраны и устойчивого использования.

Например, сбор части этих растений для лекарственных и пищевых целей не предоставляется возможным из-за воздушного загрязнения. Однако большая часть этих растений является кормовым ресурсом для обитающих животных и птиц, которые являются частью биологического разнообразия и важнейшим компонентом устойчивости экосистем.

#### **Список источников**

1. Флора Москвы. М.: Голден-Би, 2007. – 511 с.
2. Дикорастущие полезные растения России / Отв. ред. А.Л. Буданцев, Е.Е. Лесиовская. СПб. 2001. – 662 с.
3. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С. Дикорастущие полезные растения. М.: Изд-во МГУ, 1987. – 160 с.

## Усовершенствование барьерной ловушки для отлова насекомых – вредителей лесного хозяйства

*Проведен анализ эффективности барьерных ловушек для сбора энтомологического материала в лесных экосистемах. Предложены способы усовершенствования барьерной ловушки Петрова связанные с уменьшением парусности барьерной ловушки, защищенности ловушки от попадания мусора и применения приманивающей и консервирующей жидкости для сбора насекомых.*

**Ключевые слова:** *насекомые-вредители, лесные экосистемы, барьерные ловушки.*

Насекомые – неотъемлемая часть лесных экосистем. Пользу опылителей и разрушителей мертвых растений трудно переоценить. Но некоторые виды насекомых могут наносить существенный вред лесу.

Отлов насекомых-вредителей – трудоёмкая и кропотливая работа, связанная с длительными временными затратами. Для повышения эффективности отлова насекомых без присутствия сборщика применяют барьерные ловушки. Принцип их работы основан на создании невидимой для насекомого преграды, при ударе о которую насекомое падает вниз и оказывается в фиксирующей и консервирующей жидкости.

Наряду с положительными качествами барьерно-вороночной ловушки имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. Существенными недостатками являются: размеры и вес конструкции, затрудняющие транспортировку ловушек; площадь рабочей поверхности ловушки увеличивает ветровую нагрузку, которая не позволяет использовать конструкцию в местах с сильными ветрами, также затрудняет её применение сложность изготовления.

Обычно, при ударе о вертикальную пластину насекомое не падает отвесно вниз, а пикирует по спирали. При использовании узких ловушек (конструкция Плетнева – Вендило, применяемые Рослосозащитой) при таком падении насекомые часто оказываются за пределами ловчей воронки и не попадают в стакан с фиксирующей жидкостью.

Актуальность работы продиктована важностью проведения анализа особенностей барьерно-вороночной ловушки Петрова с дальнейшим решением о необходимости ее усовершенствования.

Целью работы стала разработка усовершенствованного варианта лёгкой барьерно-вороночной ловушки, с большой рабочей поверхностью, способной эффективно работать на продуваемых ветрами участках. И мы разработали способ защиты ловушки от дождя, попадания мусора, бегства насекомых и для сохранности энтомологического материала.

Основные задачи для реализации проекта состоят в усовершенствовании существующей барьерно-вороночной ловушки Петрова и разработке эффективных способов применения её на практике и методов защиты ее от ветра, дождя и мусора.

Для мониторинга численности насекомых-вредителей в лесных экосистемах эффективно применяются барьерные ловушки, укомплектованные химическими веществами (аттрактантами), привлекающими насекомых. Нашими объектами являлись жуки короеды и барьерные ловушки, сокращающие численность короедов в насаждениях.

Для производства оконных ловушек необходимы оборудование и расходные материалы, приведенные в таблице (таблица 1).

Таблица 1 - Необходимое оборудование и расходные материалы для изготовления одной барьерно-вороночной ловушки Петрова

<b>Наименование</b>	<b>Кол-во на одну ловушку</b>
<i><b>Вспомогательное оборудование</b></i>	
Брошюратор на пластиковую пружину (Rayson SD-2000)	-
Дырокол с одним отверстием, 3/6 мм	-
Степлер канцелярский	-
<i><b>Расходные материалы</b></i>	
Пластиковая пружина 8 мм	1
Обложки для переплета пластиковые, прозрачные, А3 или А4, 150 / 200 мкм.	4
Тонкие деревянные рейки / пластиковые пруты (L= 40 см)	2
Проволока металлическая, сечение 2 мм (L≈ 50–60 см)	1

Наименование	Кол-во на одну ловушку
Стяжки кабельные (хомуты), 100 мм	8
Клейкая лента (скотч) широкая (L≈20см)	1
Шпагат или леска (L≈30–50 см)	1
Пластиковый стакан (V≈0,5 л)	1
Банковская резинка	1
Полиэтиленовый мешок (V≈120 л)	1
Скобы к канцелярскому степлеру	10-15

В лабораторных условиях пластиковые мешки  $V \approx 120$  л. в сложенном состоянии разрезаются по гипотенузе. От разрезанного мешка используется только половина, представляющая воронку. Рекомендуется заранее нарезать проволоку на фрагменты длиной 0,6 м (для ловушек формата А3) и 0,5 м (для ловушек формата А4). Нарезанные фрагменты скручиваются кольцом для удобства транспортировки.

Общий вес подготовленной барьерной ловушки формата А3 не превышает 80 г (толщина пластины 100 микрон, сечение проволоки 2 мм).

Предмет. Ловушка Петрова, использовалась в период с 2000 по 2024 гг в варианте лишенном крыши и без прорезей в пластиковых рабочих пластинах. Для фиксации материала использовалась вода (рис. 1).

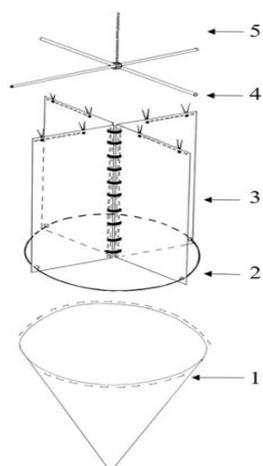


Рисунок 1 - Схема барьерно-вороночной ловушки Петрова А.В.:

- 1– ловчий конус;
- 2– проволочное кольцо;
- 3– прозрачные пластины-барьеры;
- 4 – крестовидный каркас;
- 5 – подвес.

Изучив конструкции ловушек Плетнева-Вендило и ловушку Петрова, мы предположили, что количество насекомых, собираемых в ловушку увеличится при применении крыши и ветровая нагрузка на ловушку уменьшится при продельвании прорезей в рабочих пластинах. Кроме этого мы решили опробовать раствор привлекающий и фиксирующий насекомых-вредителей.

Опыт применения ранее существующих барьерных ловушек в условиях с сильными ветрами доказал их неустойчивость в период ураганов и разрыв рабочих пластин под действием ветра. Ловушка Петрова часто применялась в условиях леса, где с крон деревьев падали листья или хвоя, забивавшие ловчий конус. Насекомые, попадающие в ловушку, часто быстро загнивали и распадались на части, из-за чего идентифицировать их было невозможно.

Мы разработали методы устранения этих проблем, в результате чего эффективность ловушек повысилась.

Ловушка Петрова успешно применяется в течение 20 лет в условиях европейской части России, Северном Кавказе, Южном Приморье, на Украине, в Бразилии, Перу и Эквадоре [1-3]. Ловушка Рослесозащиты (Плетнева-Вендило) применяется в условиях лесных насаждений РФ с 2000 года [4-6].

В рамках реализации проекта были получены следующие результаты:

1. Для уменьшения парусности рабочих пластин мы проделали в них прорези V-образной формы. При этом парусность ловушки уменьшилась в два раза. Прорезанные участки в рабочих пластинах при уменьшении ветра возвращались в исходное положение, не мешая отлову насекомых.

2. Для защиты ловчего конуса ловушки от дождя, мусора мы разработали два варианта крыши – плоский и в виде конуса (рис.2). В центре крыши продельвается дырка и ложится на деревянный каркас. Такая конструкция позволяет защитить ловушку от мусора и излишней влаги

3. Для привлечения насекомых-вредителей мы использовали пересыщенный раствор поваренной соли с добавлением 10% этанола. Насекомые, заселяющие стволы деревьев положительно реагировали на запах раствора и хорошо в нем сохранялись.

В результате нашей работы была усовершенствована ранее существующая ловушка Петрова, что позволит использовать её в подветренных местах, защищать от мусора и привлекать большое количество насекомых.

Цель и задачи выполнены. Гипотеза подтверждена.

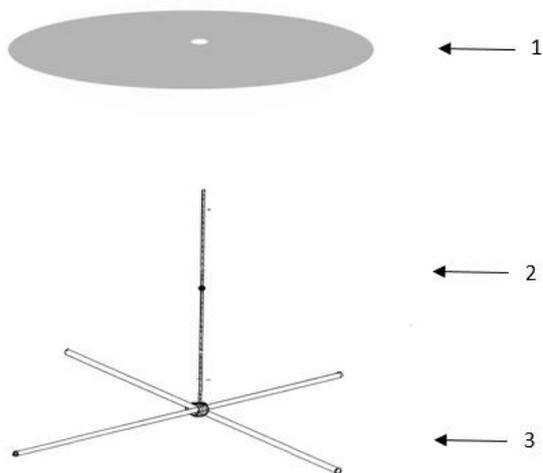


Рисунок 2-Крыша на деревянном каркасе:

1 – крыша;

2 – подвес;

3 – крестовидный каркас.

Практическая значимость работы заключается в предложенной, усовершенствованной конструкции барьерной ловушки, которая может применяться для:

- для сбора энтомологического материала при проведении экологических, таксономических и генетических исследований насекомых;
- для проведения мониторинга численности насекомых в лесных насаждениях, парках, лесопитомниках, сельскохозяйственных угодьях, складах продукции лесного и сельского хозяйства;
- для отлова насекомых-вредителей в очагах массового размножения.

#### Список источников

1. A survey of the weevils of Ukraine. Bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae and Scolytinae) : monograph / T. V. Nikulina, M. Yu. Mandelshtam, A. V. Petrov [et al.] // Zootaxa. – 2015. – № 3912. – С. 1–67. – DOI 10.11646/zootaxa.3912.1.1.
2. Петров, А. В. Южное Приморье Дальнего Востока России: результаты исследования короедов (Coleoptera: Scolytinae) и других насекомых-ксилофагов в 2022 году / А. В. Петров, А. В. Шамаев // Фитосанитария. Карантин растений. – 2023. – № 1. – С. 47-58.
3. Jordal, B. H. Scolytodes Ferrari (Coleoptera, Scolytinae) from Ecuador: 40 new species, and a molecular phylogenetic guide to infer species differences / B. H. Jordal, S. M. Smith // Zootaxa. - 2020. - № 4813 (1). – С. 1–67. – DOI 10.11646/zootaxa.4813.1.1.
4. Клишина, Л. И. Применение феромонных ловушек для мониторинга численности короеда-типографа в условиях Нижегородской области / Л. И. Клишина, А. В. Скоков, Е. Н. Круглов // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014.– Т. 4. – С. 162-167.

5. Защита ели от короеда-типографа: массовый отлов и применение антиферомонов / А. Д. Маслов, И. А. Комарова, В. А. Плетнев [и др]. – Пушкино : Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2014. – 12 с.

6. Петров, А. В. Южное Приморье Дальнего Востока России: результаты исследования короедов (Coleoptera: Scolytinae) и других насекомых-ксилофагов в 2022 году / А. В. Петров, А. В. Шамаев // Фитосанитария. Карантин растений. – 2023. – № 1. – С. 47-58.

### Исследование кумулятивной струи в опыте Покровского

*Рассмотрен и проведен опыт Покровского по образованию кумулятивной струи. Проведены экспериментальные исследования, результаты которых подтверждают теорию образования кумулятивной струи в опыте Покровского. В ходе проведенных исследований был количественно измерен коэффициент кумуляции в эксперименте Покровского.*

**Ключевые слова:** *опыт Покровского, кумулятивная струя, неравномерное распределение энергии, схлопывание конической полости, коэффициент кумуляции, закон сохранения энергии.*

Термин кумуляция происходит от латинского *simulation* («скопление»). Обычно в физике используется при большой концентрации энергии в объеме или «направлении». Например, можно рассмотреть взрыв. Изначально у взрывчатого вещества есть большая энергия в малом объеме. При дальнейшем взрыве рабочее тело совершает работу и воздействует на окружающую среду из-за быстрого расширения. Таким образом энергия стремительно распределяется в среде и занимает уже гораздо больший объем.

В опыте Покровского рассматривается кумулятивная струя, образованная после вертикального падения пробирки с водой с высоты около 10 см. При этом её длина в несколько раз превосходит изначальную высоту. Это наглядно демонстрирует неравномерное распределение энергии в жидкости после столкновения. Из-за смачивания водой пробирки поверхность воды образует вогнутый мениск. Как известно, если теперь сделать условие для быстрого схлопывания полости, мы сможем получить высокую плотность энергии в окрестности. Для этого хорошо подходит падение пробирки на жесткую поверхность. При ударе пробирки о стол она почти сразу останавливается, однако слои жидкости как бы набегают друг на друга. Из-за слабого межмолекулярного взаимодействия по сравнению с твердыми телами, существует «задержка». Когда нижние слои уже остановились, а на верхние только начинается противодействие. Поэтому при торможении жидкости верхняя искривленная поверхность выравнивается. При этом крайние слои передают энергию слоям по центру и останавливаются. Средняя часть, приобретая такую большую скорость, пролетает положение равновесия и вылетает струей из пробирки. Именно это называется кумулятивной струей. Теоретический вывод:  $\frac{u}{v} = ctg\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ .

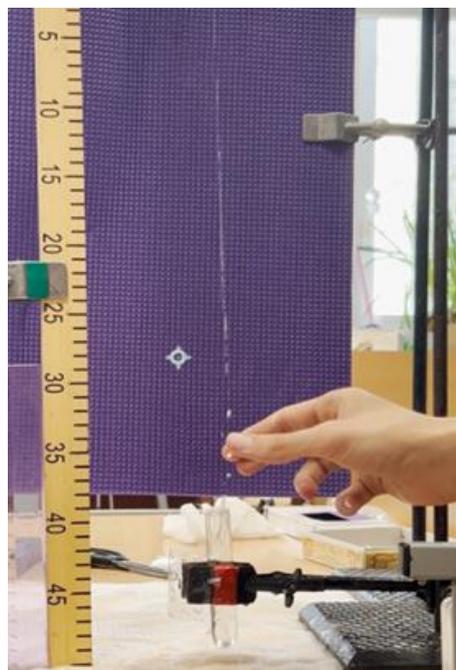
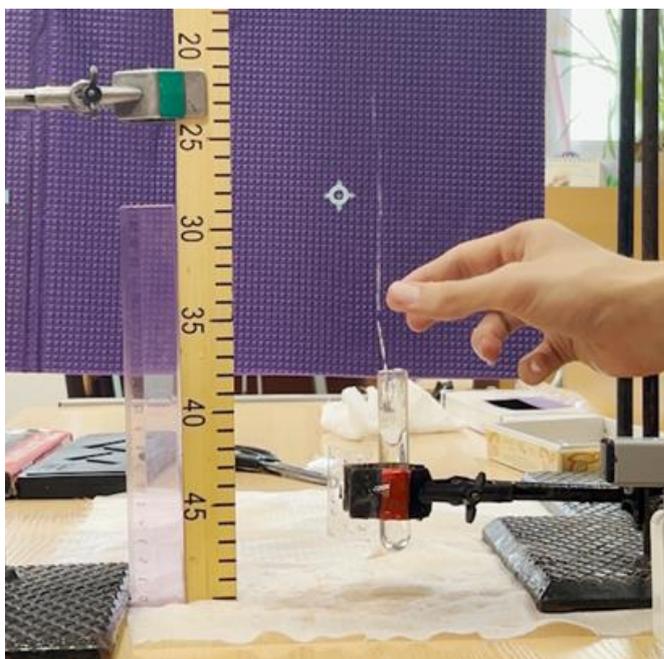


Рисунок 1 - Экспериментальная установка для опыта Покровского

Рассмотрим схлопывание конической полости. Обозначим угол раствора конуса за  $\alpha$ . В результате быстрого пропадания объекта, сдерживающего форму полости, каждая точка А жидкости приобретает скорость, перпендикулярную поверхности (рис. 24а). Для удобства разложим вектор скорости  $\mathbf{v}$  на  $\mathbf{v}' + \mathbf{v}''$  (рис. 24б). Тогда проекция на ось X каждой точки равна  $v''$ . Подумаем, за счёт чего образуется струя. Очевидно, что есть какая-то разница давлений внутри жидкости, которая позволяет скорости в вершине конуса поменять свою величину. Тогда получаем, что  $v'$  не меняется по модулю, ведь как только меняется вектор скорости поверхности вблизи конуса, меняется и направление равнодействующей силы (на перпендикулярное к скорости), т.е. и ускорения. Отсюда  $u = v' + v''$ . Подставляя проекции получаем  $u = \frac{v}{\sin(\alpha)} + \frac{v}{\operatorname{ctg}(\alpha)} = v \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)$

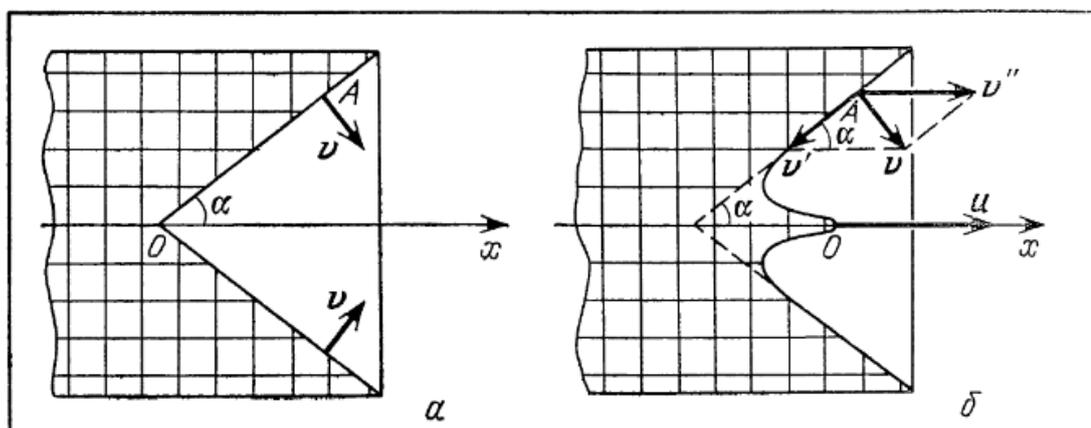


Рисунок 2 - Схема направления векторов скорости для расчета скорости кумулятивной струи

С первого взгляда явление полностью объяснено и нет ничего примечательного. Однако проведём опыты, уточняющие теорию. Возьмём пробирку и нанесём на её внутреннюю поверхность парафин. Теперь сделаем тот же опыт. Кумулятивная струя не образуется, что логично, ведь изначально мы допускаем существование мениска в пробирке. Теперь наполним пробирку до краёв так, чтобы мениск был той же формы, что и при наполовину заполненной. Кумулятивной струи не наблюдается. При следующем сбрасывании, когда часть воды выплеснулась, струя вновь образуется. Что же так кардинально меняется? Всё дело в том, что во время падения пробирки поверхность мениска располагается под углом смачивания  $\alpha$ . Для сферической полости (рис. 3) можно использовать эквивалентную полость, которую легче обчислить. Очевидно, что раз полость создаёт вертикальную струю, она симметрична относительно вертикальной оси. Значит форма эквивалентного преобразования должна являться телом вращения. Таким образом, наиболее удобная форма – конус.

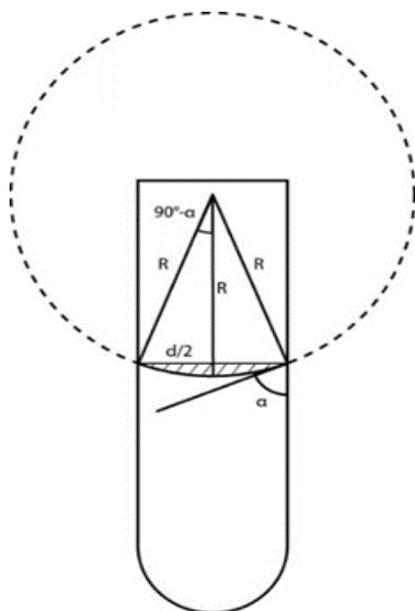


Рисунок 2 - Сферическая полость

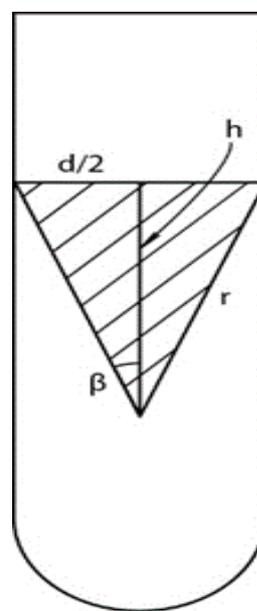


Рисунок 3 - Эквивалентная полость

Тогда можно вывести коэффициент кумуляции, равный отношению квадратов скоростей  $K = \frac{u^2}{v^2}$  для эквивалентного конуса с углом раствора  $\beta$  (рис. 2). Понятно, что для равносильного преобразования объёмы полостей должны быть равны  $V_{\text{шар}} = V_{\text{кон}}$ .

$$I \times R = \frac{d}{2 \cos(\alpha)}; \quad (1)$$

$$H = (1 - \sin(\alpha))R; \quad (2)$$

Откуда,

$$H = \frac{1 - \sin(\alpha)}{2 \cos(\alpha)} d. \quad (3)$$

Объём шарового сегмента вычисляется по формуле:

$$V_{\text{шар}} = \pi H^2 \left( R - \frac{H}{3} \right); \quad (4)$$

$$r = \frac{d}{2}; \quad (5)$$

$$h = \frac{d}{2 \operatorname{tg}(\beta)}; \quad (6)$$

Объём конуса:

$$V_{\text{кон}} = \frac{\pi r^2 h}{3} \quad (7)$$

Тогда подставляя в формулы (4) выражения на R и H (1), (2), (3) и в (7) выражения r и h (5), (6), получаем:

$$V_{\text{шар}} = \frac{\pi d^2 (1 - \sin(\alpha))^2 \left( R - \frac{R(1 - \sin(\alpha))}{3} \right)}{4 \cos(\alpha)^2} = \frac{\pi d^3 (1 - \sin(\alpha))^2 (2 + \sin(\alpha))}{24 \cos(\alpha)^3}. \quad (8)$$

$$V_{\text{кон}} = \frac{\pi d^2 H}{12} = \frac{\pi d^3}{24 * \operatorname{tg}(\beta)}. \quad (9)$$

$$V_{\text{шар}} = V_{\text{кон}} \Rightarrow \frac{\pi d^3}{24 * \operatorname{tg}(\beta)} = \frac{\pi d^3 (1 - \sin(\alpha))^2 (2 + \sin(\alpha))}{24 \cos(\alpha)^3}. \quad (10)$$

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{\cos(\alpha)^3}{(1 - \sin(\alpha))^2 (2 + \sin(\alpha))}; \frac{u}{v} = \operatorname{ctg}(\beta); K = \frac{u^2}{v^2} = \operatorname{ctg}^2 \left( \frac{\beta}{2} \right).$$

Получаем кумулятивный коэффициент:

$$K = \operatorname{ctg}^2 \left( \frac{\operatorname{arctg} \left( \frac{\cos(\alpha)^3}{(1 - \sin(\alpha))^2 (2 + \sin(\alpha))} \right)}{2} \right). \quad (11)$$

Как видно из полученной формулы, кумулятивный коэффициент не зависит от диаметра пробирки.

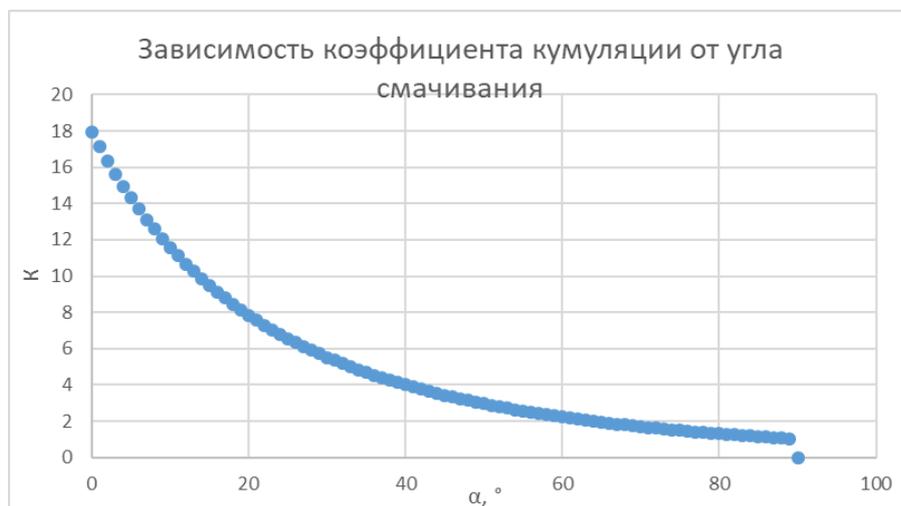


Рисунок 4 - Зависимость коэффициента кумуляции от угла смачивания

Проанализируем, что мы получили. Из закона сохранения энергии до падения и после (стоит отметить, что механическая энергия превращается в тепло во время неупругого удара пробирки о поверхность стола, следовательно, она уменьшается). Однако можно записать уравнения для падения пробирки и поднятия струи отдельно.  $v^2 = 2gh$ ;  $u^2 = 2gH$  (В первом случае ЗСЭ записано для пробирки, во втором – для маленького участка жидкости, вылетевшего из полости со скоростью  $u$ . Тогда более удобную формулу:  $H = Kh$ . Таким образом можно померить количественно коэффициент кумуляции в эксперименте Покровского, что и было сделано.

В качестве оборудования использовалось: парта (как поверхность для удара пробирки); контрастный фон, закреплённый с помощью штатива; 6 пробирок; метр, закреплённый вертикально в штативе; телефон, снимающий эксперимент; вода; пипетка; парафин для контрольного опыта

Сначала были проведены измерения углов смачивания водой пробирок, которые планировалось использовать для эксперимента. Для этого на поверхность пробирки наносилась маленькая капля воды с помощью пипетки. Далее поставим контрастный фон и настроим освещение, чтобы границу жидкости было максимально хорошо видно. Для достаточной точности сфотографируем каплю в увеличенной съёмке, а затем измерим угол по фотографии. Основной эксперимент, в общем, аналогичен опыту Покровского и не требует особого оборудования, однако из-за очень большого влияния запуска пробирки, смачивания водой пробирки получается большая статистическая погрешность, которая исправляется только количеством повторений, а затем просмотром в замедленной съёмке качества запусков. Кадр выставлялся максимально аккуратно, для того чтобы при снятии показаний не играла роль перспектива. Высоты измерялись благодаря масштабной сетке, с помощью которой можно было легко посмотреть пересечение, например, горизонтали от конца струи с делением

линейки (метра). К был найден по аппроксимации экспериментальных точек до прямой, проходящей через (0;0) – графика в координатах (H, h).



Рисунок 5 - Результаты эксперимента

Таблица 1 - Результаты эксперимента для пробирки №1

№1	h, см	H, см
Alpha	3,0	3,0
60	3,0	3,0
	5,5	7,0
D, мм	5,5	6,5
21,36	5,5	6,0
	6,5	18,5
K (teor)	7,5	25,0
2,22879718	7,5	20,0
	6,5	13,5
<b>K = 3,11</b>	6,5	18,5
	7,5	23,0
	8,0	35,0
	8,0	34,0
	8,0	28,5
	8,0	31,5
	8,0	32,0
	8,0	30,0
	6,5	16,5
	8,0	29,0
	7,0	18,0
	8,0	22,0

Таблица 2- Результаты эксперимента для пробирки №2

№2	h, см	H, см
Alpha	9,0	31,0
23	8,0	30,0
	7,5	23,0
D, мм	7,5	25,0
13,22	8,5	24,5
	7,5	20,5
K (teor)	8,0	36,5
7,036344	7,5	24,5
	5,5	14,5
<b>K = 3,29</b>	5,5	13,5
	7,0	19,0
	7,0	22,0
	8,0	29,0
	7,0	24,0

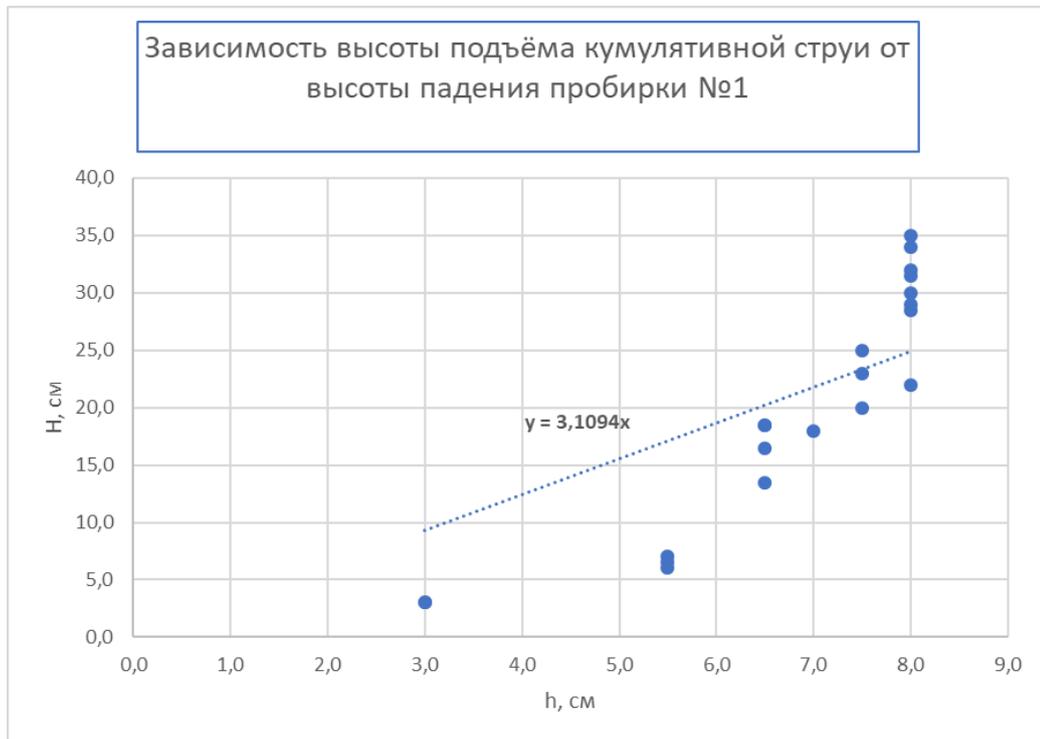


Рисунок 6 - Зависимость высоты подъема кумулятивной струи от высоты падения пробирки №1

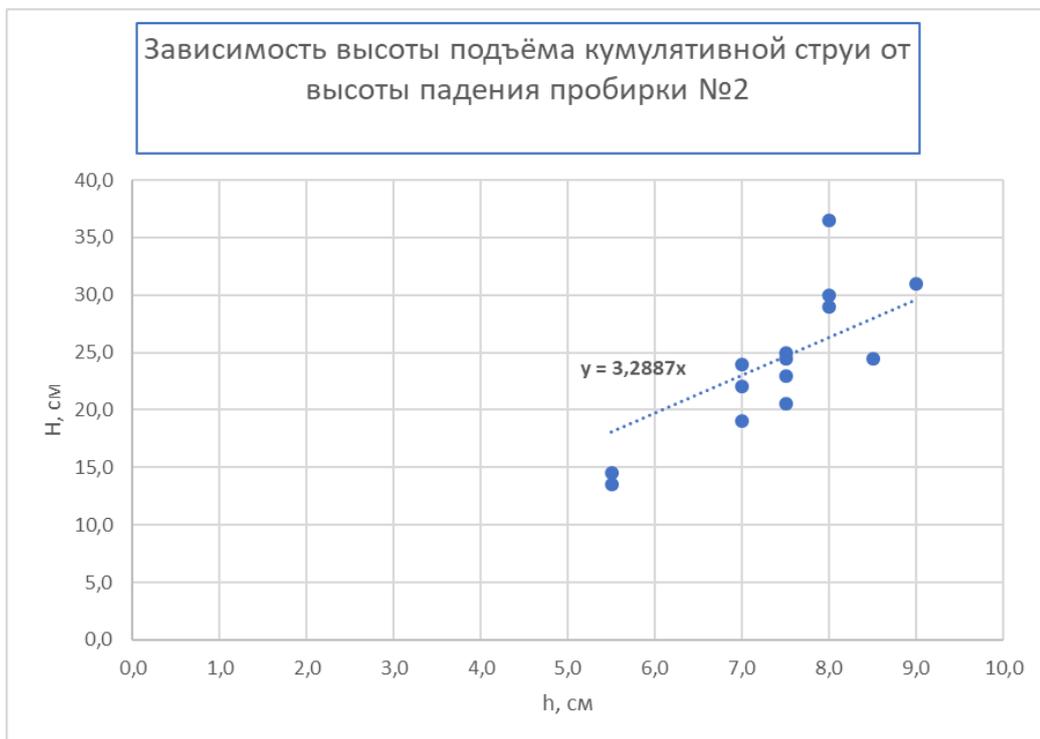


Рисунок 7 - Зависимость высоты подъема кумулятивной струи от высоты падения пробирки №2

Таблица 3- Результаты эксперимента для пробирки №3

№3	h, см	H, см
Alpha	5,5	10,5
37	6,5	20,5
	7,0	26,0
D, мм	6,0	20,0
9,56	6,0	18,5
	6,0	18,0
K (teor)	6,5	21,5
4,3958913	6,0	22,5
	6,0	16,5
<b>K = 3,87</b>	7,0	23,5
	8,5	34,0
	9,0	39,5
	9,0	38,0
	11,0	48,5
	9,5	41,5
	8,5	36,5
	7,0	29,0
	7,0	31,5

Таблица 4- Результаты эксперимента для пробирки №4

№4	h, см	H, см
Alpha	2,5	4,0
58	3,0	4,5
	3,5	5,5
D, мм	3,5	8,0
10,72	4,0	4,0
	6,0	17,0
K (teor)	7,5	13,0
2,356826	5,0	8,0
	7,5	12,5
<b>K = 2,05</b>	7,5	12,0
	7,0	16,5
	7,0	16,5
	8,0	18,0
	8,0	16,5
	8,5	20,0
	9,0	19,0
	9,0	16,5
	8,5	20,0

Таблица 5- Результаты эксперимента для пробирки №5

№5	h, см	H, см
Alpha	4,0	12,5
42	6,5	11,5
	5,5	13,5
D, мм	5,0	19,5
6,66	6,5	15,0
	6,5	19,0
K (teor)	6,5	14,5
3,761783	7,5	25,5
	8,0	26,0
<b>K = 3,61</b>	8,5	36,5
	8,5	35,5
	8,5	37,0
	9,0	38,5
	10,0	40,5
	10,0	40,5
	9,0	36,0
	8,5	33,0
	8,0	22,5

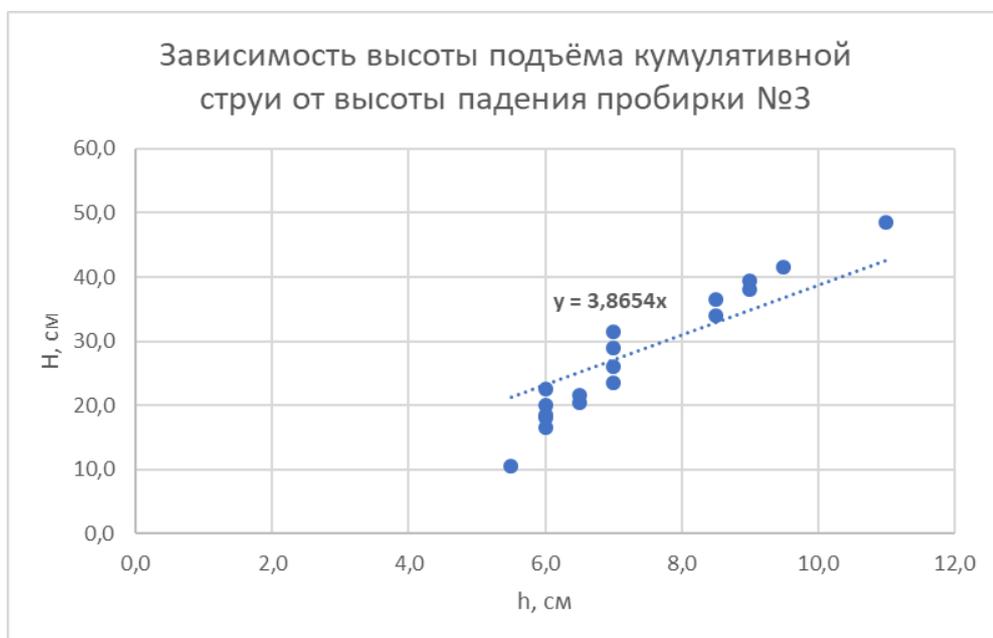


Рисунок 8 - Зависимость высоты подъема кумулятивной струи от высоты падения пробирки №3

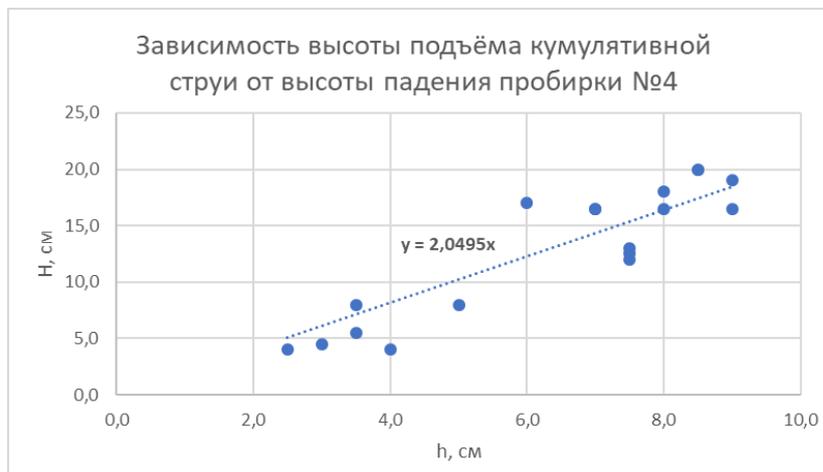
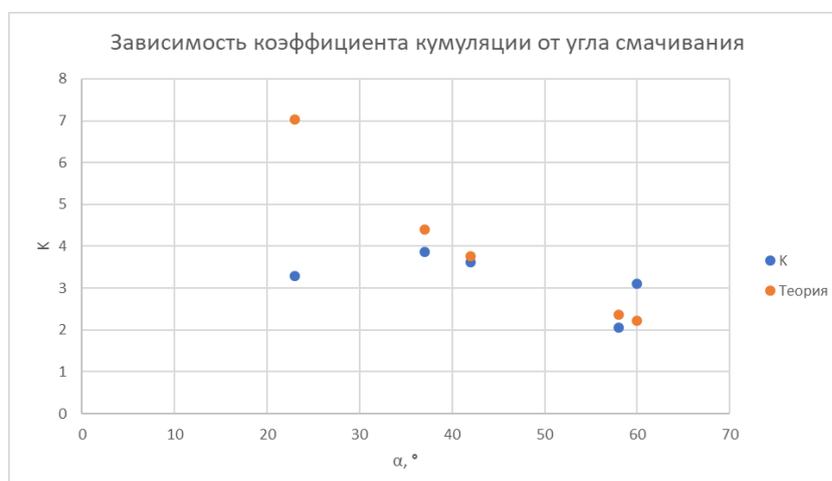


Рисунок 9 - Зависимость высоты подъема кумулятивной струи от высоты падения пробирки №4

В результате проведения эксперимента для трёх пробирок коэффициент кумуляции получился близким к теоретическому расчёту, для второй пробирки экспериментальные данные не совпали с теорией и оказались заниженные, для первой близкий порядок, но значения чуть завышены.

Учитывая сложность в точности, можно считать, что значения эксперимента совпадают с теоретическими. Основную погрешность даёт измерение угла смачивания, и как мы видим на графике, чем меньше угол, тем больше погрешность  $\Delta K$  теоретическое при погрешности угла  $\Delta \alpha$ . Что объясняет кардинальное расхождение для пробирки №2. Также стоит отметить, что значения эксперимента не совпадают с теорией при двух самых больших диаметрах пробирки (см. D в таблицах). Это позволяет предположить, что при больших диаметрах возникают большие разницы давлений, что даёт более широкую струю, однако менее точные значения. Судя по всему, при более толстой струе энергия распределяется менее однородно. Мы доказали, что с достаточной точностью можем использовать для теоретического расчёта эквивалентную коническую полость, описанную ранее.



### Рисунок 10 -Зависимость коэффициента кумуляции от угла смачивания

В ходе выполнения исследований был проведен контрольный опыт.

Возьмём пробирку и покроем её верхнюю внутреннюю поверхность парафином. Тогда угол смачивания  $\sim 90^\circ$ . Мениск не образуется, следовательно, и кумулятивной струи быть не должно. На практике мы это и получаем (с учётом не совсем однородного покрытия).

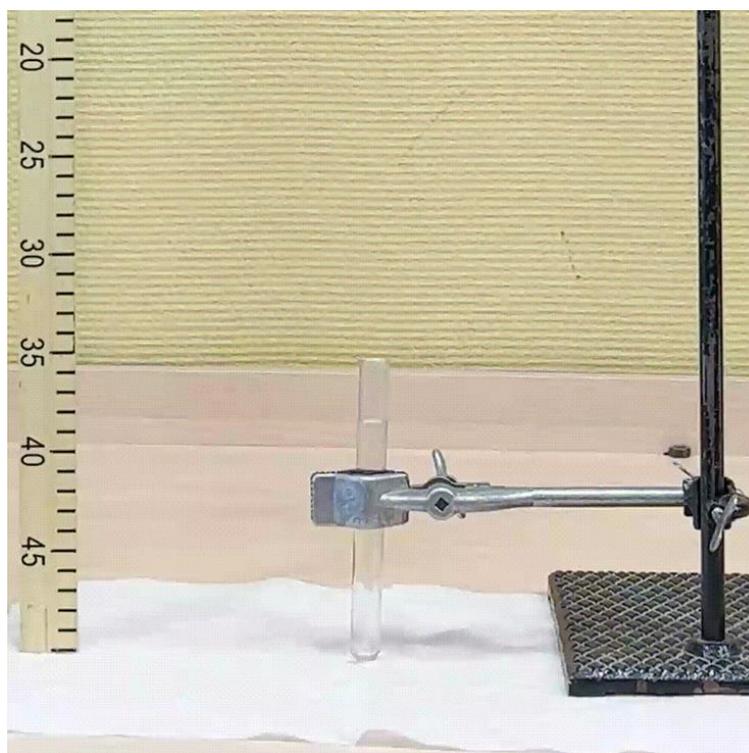


Рисунок 11 - Результаты контрольного опыта

### Список источников

Майер, В. В. Кумулятивный эффект в простых опытах / В. В. Майер. – Москва: Наука, 1989. – 192 с.

### Эмиссионная спектроскопия нагретых газов

*В данной обзорной статье анализируется информация различных практических исследований об излучающих свойствах ударной волны при скоростях фронта до 10 км/с, а также объясняется распределение излучения ударной волны в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, включая видимый спектр, а также описываются условия, способствующие этому процессу.*

**Ключевые слова:** ударная труба, ударная волна, спектроскопия, излучение, ударно нагретый газ.

Спектроскопия — наука, одна из главных задач которой является прогнозирование спектра вещества, опираясь на данные о его строении, составе, физических свойствах и т. Д. Спектроскопия занимается изучением спектров электромагнитного излучения. Глобально методы спектроскопического исследования можно разделить на оптические и зондовые: оптические методы подразумевают под собой изучение исследуемого газа непосредственно по свойствам излучения этого газа и изучение электромагнитного излучения ударной волны, потому основные сведения о природе его возникновения будут немаловажны. Электромагнитные силы имеют множество проявлений в природе: объединение атомов в молекулы и их дальнейшее взаимодействие, все разновидности сил трения и упругости возникают именно из-за электромагнитных взаимодействий, которые возможны лишь между заряженными частицами. Атом может находиться в основном состоянии, при котором электроны вокруг ядра движутся лишь по определенным соответствующим орбиталям, а у самого атома есть определенная энергия. Но, поглотив энергию, электрон может перейти на более высокий энергетический уровень, тогда происходит переход атома из основного состояния в возбужденное. В отличие от нахождения в основном состоянии в возбужденном атом может пробыть лишь некоторое время, то есть, он спустится вниз на предыдущий энергетический уровень, выделив при этом энергию. Переход атома из одного стационарного состояния в другое может быть постепенным, через промежуточные состояния, каждый из таких промежуточных переходов сопровождается электромагнитным излучением, с некоторой частотой. Такие частоты вместе образуют линейчатый спектр излучения и поглощения атома, соответственно. Линейчатый спектр характерен для высокотемпературных газов и паров

жидкости. Можно сказать, что эмиссионная спектроскопия, основывающаяся на оптических методах исследования, включает в себя методы анализа именно линейчатого спектра атома.

В этой статье в первую очередь рассматриваются исследования двух спектральных областей: ультрафиолет и инфракрасный диапазон с частичным либо полным захватом видимого спектра. Каждый из этих диапазонов подразделяется на подтипы, о них и их классификации стоило бы упомянуть.

#### Ультрафиолет (УФ):

- Ближний ультрафиолет (УФ-А) (315–400 нм).
- Средний ультрафиолет (УФ-В) (280–315 нм).
- Дальний(глубокий) ультрафиолет (УФ-С) (180–280 нм).
- Вакуумный ультрафиолет (ВУФ) (10–180 нм).

#### Инфракрасный спектр (ИК):

- Дальний инфракрасный спектр (50 мкм – 100 мкм).
- Средний инфракрасный спектр (3 мкм – 50 мкм).
- Ближний инфракрасный спектр (780 нм – 3 мкм).

Ударная труба – инструмент для экспериментального изучения физико-химических процессов в газах при высоких температурах. Такие установки используются при проведении исследований не только в области спектроскопии, ударные трубы также имеют широкое применение в аэродинамике, физической газодинамике, химической газокинетике и т.д.

#### Характеристики ударной трубы (умеренных размеров):

- **Общая длина:** более 10 м.
- **Камера высокого давления:** около 10% от общей длины.
- **Давление рабочего газа:** 500 атм ( $50,6 \times 10^6$  Па).
- **Давление исследуемого газа:** 0,013 атм ( $1,3 \times 10^3$  Па).

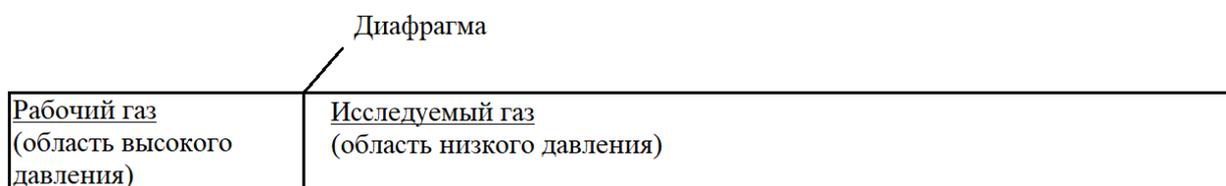


Рисунок 1 - Схематическое изображение ударной трубы

При разрыве диафрагмы рабочий газ с высокой скоростью устремляется в область низкого давления. В этой области образуется ударная волна (УВ), под действием которой происходит резкий скачок давления и температуры исследуемого газа. До удара о другой конец трубы постоянство давления и температуры сохраняется (рисунок 2).

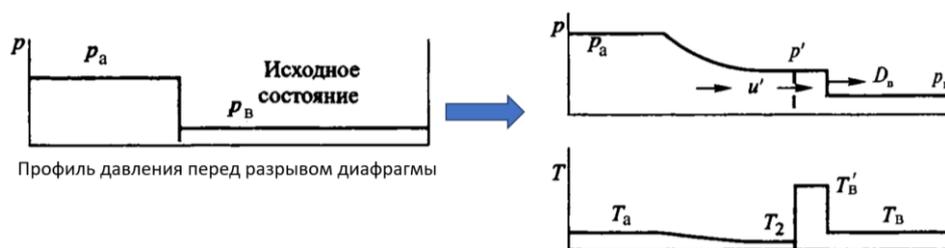


Рисунок 2 - Профили температуры и давления в ударной волне до её отражения.

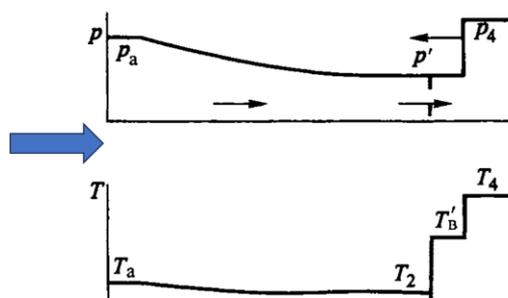


Рисунок 3- Профили температуры и давления в ударной волне до ее отражения

Ударная волна, отражается о конец трубы в обратном направлении, значения температуры и давления снова растут и достигают гораздо больших значений, чем до отражения (в падающей волне) (рисунок 3).

В настоящее время методы спектроскопии имеют широкое применение в большом количестве довольно разнообразных жизненных областей. В числе прочих можно выделить наиболее часто использующие спектроскопию отрасли:

- Астрофизика и проектирование летательных космических аппаратов.
- Микробиология.
- Медицина и фармацевтика.
- Экология.
- Пищевая промышленность.
- Химическая промышленность.

Одним из основных направлений, использующих спектроскопические методы исследования, является астрофизика: данные методы помогают исследователям моделировать оптимальную форму летательных аппаратов, а также материалы для их изготовления, на основе физических свойств атмосферных газов различных планет. Работы [2-5] подтверждают

актуальность выбранной тематики и многообразие областей её применения. Ударные трубы, принцип работы которых рассматривается в этой статье, предназначены для воспроизведения условий, возникающих при вхождении тела в плотный слой газа, что позволяет исследовать аэродинамические характеристики объектов в условиях, близких к реальным. Это делает их особенно полезными для изучения поведения космических аппаратов и других летательных аппаратов при входе в атмосферу. Именно поэтому эти приборы играют важную роль в аэродинамических исследованиях и тестировании новых технологий, необходимых для дальнейших космических исследований и различных областей авиации и разработке соответствующего оборудования. Работы, направленные на решение задач производства соответствующего оборудования, оценку и анализ методов спектроскопии для выполнения конкретных задач или исследований, могут оказать значительное влияние на ее применение и расширение сфер использования в ближайшем будущем.

Целью настоящей работы был анализ экспериментальных данных по излучению воздуха в различных диапазонах спектра и данных по излучению элементарных компонентов воздуха за фронтом сильных ударных волн.

В работе [6] рассматривается излучение атмосферного воздуха и нагретой смеси  $N_2O_2$ , имитирующей состав атмосферы Земли.

#### *Ультрафиолетовый диапазон*

Таблица 1 - Характеристики нагретых смесей и условия проведения экспериментов

№ Эксп.	Состав	$P_1$ , Торр	$V_{sw}^{7-8}$ , км/с	$\lambda$ , нм	$V_{sw}^{9-10}$ , км/с
670	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,41	$235,3 \pm 4,4$	7,47
671	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,46	$313,33 \pm 4,4$	7,40
672	$N_2:O_2=4:1$	0,26	7,46	$425,33 \pm 4,4$	7,55
673	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,58	$387,33 \pm 4,4$	7,65
674	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,46	$235,33 \pm 4,4$	7,38
675	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,46	$313,33 \pm 4,4$	7,47
676	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,30	$313,33 \pm 4,4$	7,19
677	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,52	$313,33 \pm 4,4$	7,74
678	$N_2:O_2=4:1$	0,25	7,58	$213,33 \pm 4,4$	7,51
679	$N_2:O_2=4:1$	0,26	7,46	$353,33 \pm 4,4$	7,51
691	Воздух	0,26	7,46	$200 \div 850$	7,45

Характеристики нагретых смесей и условия проведения экспериментов представлены в табл. 1, подробнее ознакомиться с ними можно непосредственно в самой статье. Атмосферный воздух отличается составом от моделируемой смеси, помимо  $N_2$  и  $O_2$  в нем содержится малый процент  $CO_2$ , водяных паров и др. примесей. Схема экспериментальной установки детально описана в работе [7]. По рисунку 4 можно сделать вывод о какой-либо зависимости объемной мощности излучения от величины скорости ударной волны и состава смеси.

В смесях № (687-690) в глубоком и среднем УФ диапазонах наблюдается относительно равномерный рост излучения, в области ближнего ультрафиолета интенсивность излучения изменяется волнообразно. Плотность излучения так же зависит и от температуры смеси: чем выше  $T$ , тем интенсивнее излучения нагретого газа.

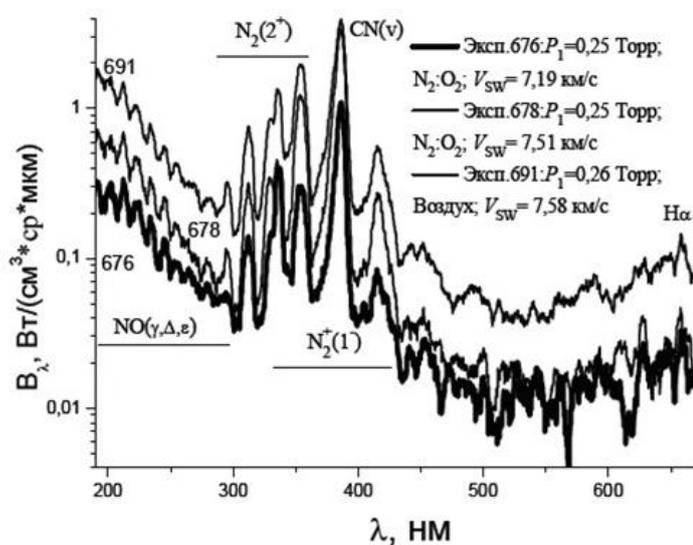


Рисунок 4 - Объемная мощность излучения, ударно нагретого модельного и атмосферного воздуха в УФ и видимом диапазоне

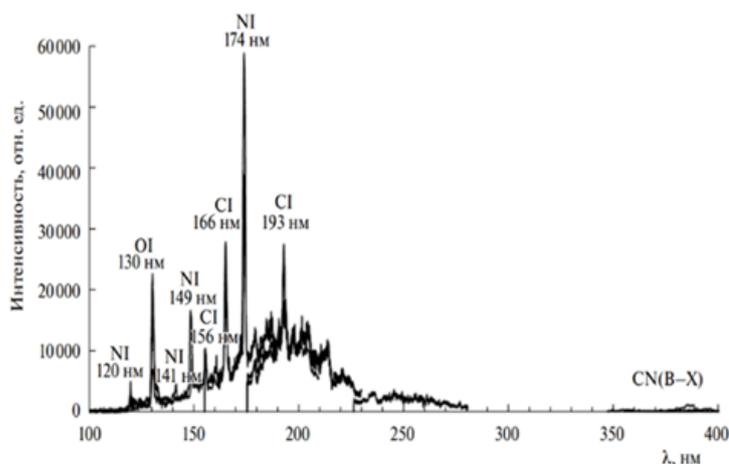


Рисунок 5-Интенсивность излучения модельной воздушной смеси при  $p=0,25$  Торр и скорости УВ  $V=7,0 - 8,4$  км/с

В статье [8] рассматривается излучение в глубокой и вакуумной УФ области спектра, состав модельной смеси такой же, как и в предыдущей работе. По данным из рисунка 5 заметна интенсивность излучения конкретных спектральных линий атомов азота, кислорода и углерода. Также рисунок 6 демонстрирует явную зависимость интенсивности излучения атомов  $O_2$  от скорости УВ. В области вакуумного ультрафиолета (ВУФ) мощность излучения при приблизительно равных скоростях ударной волны оказалась значительно выше, чем в ближней УФ и видимой области спектра, что видно по рисунку 7.

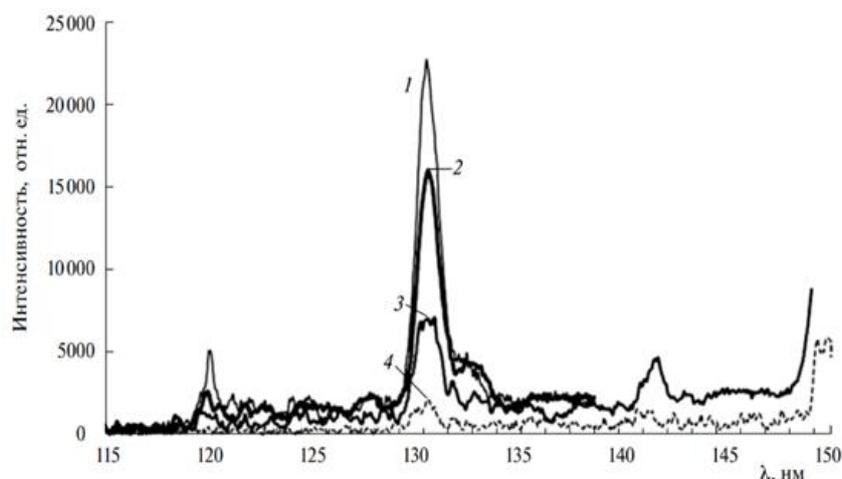


Рисунок 6 - Интенсивность излучения линии атома кислорода на длине волны 130 нм при различных скоростях  $V$  (км/с) ударной волны в воздухе при  $p_1 = 0,25$  Торр (1 – 8,2 км/с, 2 – 7,8 км/с, 3 – 7,2 км/с, 4 – 6,5 км/с)

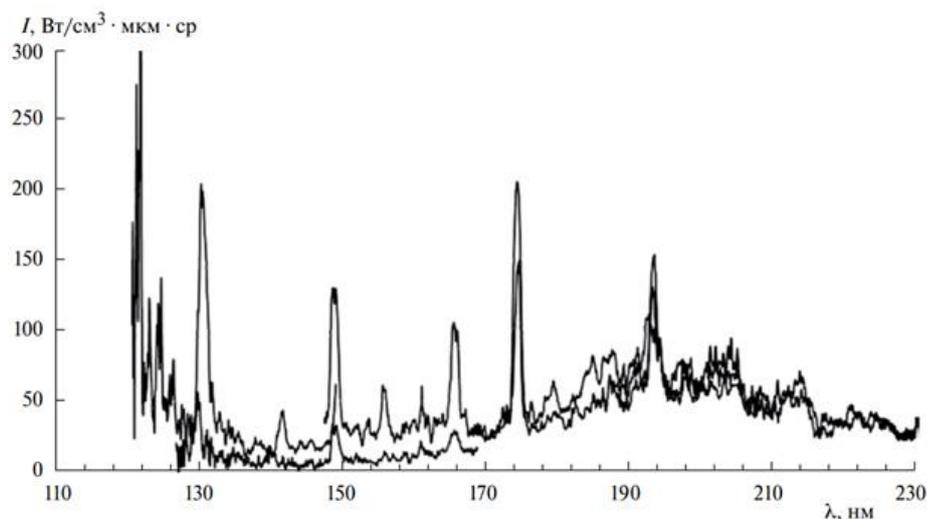


Рисунок 7 - Объемная мощность излучения ударной волны в воздушной смеси в диапазоне спектра 115–230 нм,  $p_1 = 0,25$  Торр, скорость УВ  $V=6,5-8,4$  км/с.

### Инфракрасный спектр

В работе [9] проведены экспериментальные исследования с ударной волной, обладающей данными характеристиками: в качестве исследуемого газа взят атмосферный воздух, начальное давление  $p_0 = 0,25$  Торр, скорость фронта ударной волны  $V_{SW} = 9,8$  км/с.

Далее представленные графики отражают распределение объемной мощности излучения внутри видимого и инфракрасного диапазонов излучения согласно проведенным экспериментальным исследованиям.

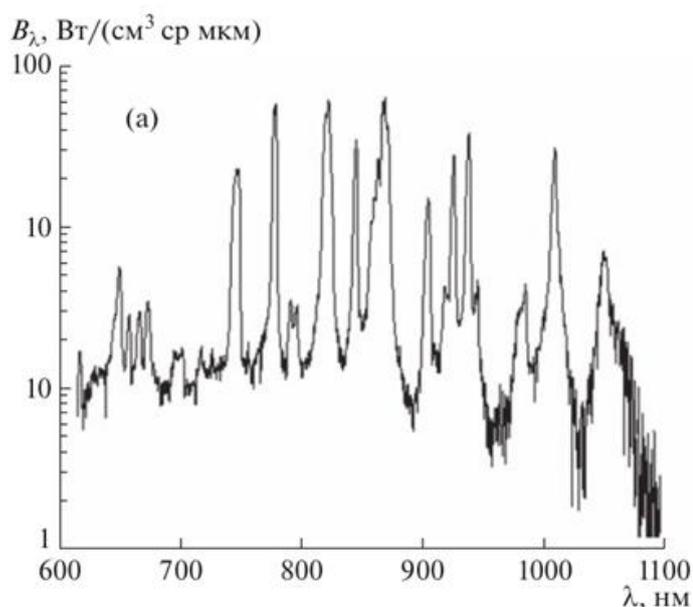


Рисунок 8 - Объемная мощность излучения ударно нагретого воздуха во всем видимом/ИК спектральных диапазонах

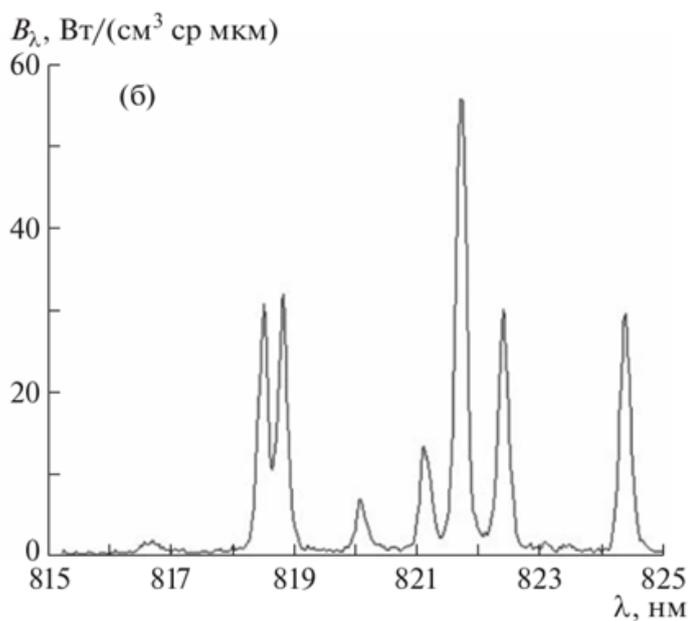


Рисунок 9 - Объемная мощность излучения ударно нагретого воздуха в спектральном диапазоне  $\lambda = 815\text{--}825$  нм

На рисунке 9 показан участок панорамного спектра, изображенного на рисунке 8, который соответствует мультиплету атома азота с максимумом интенсивности на длине волны  $\lambda = 821.6$  нм. Видно, что в более высоком разрешении мультиплет, представленный на рис.8 одним пиком, распадается на серию полос разной интенсивности» - цитата из статьи, указывающая и поясняющая взаимосвязь этих графиков. Исходя из физических свойств излучающего тела, нетрудно определить, что один и тот же газ испускает тем более высокочастотное излучение, чем выше его температура. В статье [10] приведена зависимость температуры участка ударной волны от его расстояния до фронта

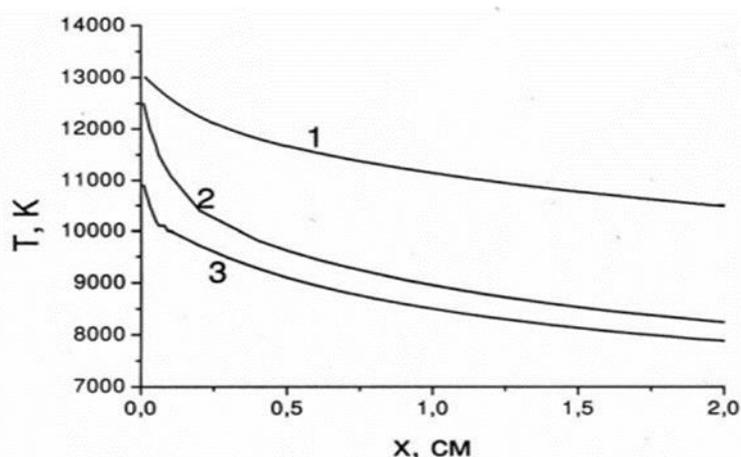


Рисунок 10 - Температура газа  $T$  за фронтом ударной волны в азоте в зависимости от расстояния от фронта волны в различных приближениях. Температура газа перед ударной волной  $T = 293$  К, давление  $p_0 = 0,75$  Торр, число Маха  $M = 15$

Согласно зависимости на рисунке 10, можем сделать вывод о том, что по мере удаления от фронта ударной волны будет уменьшаться частота излучения нагретого газа, что означает увеличение длины волны излучения и его смещение в сторону инфракрасного спектра.

Это может означать, что УФ излучение испускает непосредственно фронт ударной волны, а ИК и видимый спектр приходится на шлейф за этой волной. Для того, чтобы убедиться в достоверности данного вывода, воспользуемся результатами экспериментов, проведенных в работе [11]. График, изображенный на рисунке 11, приводит сравнение результатов экспериментов, проведенных на установке NASA EAST [12].

Серой линией отмечен спектр, рассчитанный в разработанной авторами программе. Красной сплошной линией отмечен тот же спектр с учетом его размытия из-за щели спектрометра. Зеленая сплошная линия обозначает результаты, полученные в [12], черная сплошная линия – измеренная в эксперименте интенсивность излучения. Пунктирными

красной, зеленой и черной линиями отмечен вклад интенсивности излучения в диапазоне длин волн  $700 \div 880$  нм, полученных в данной работе, в работе [12] и измеренных в эксперименте, соответственно.

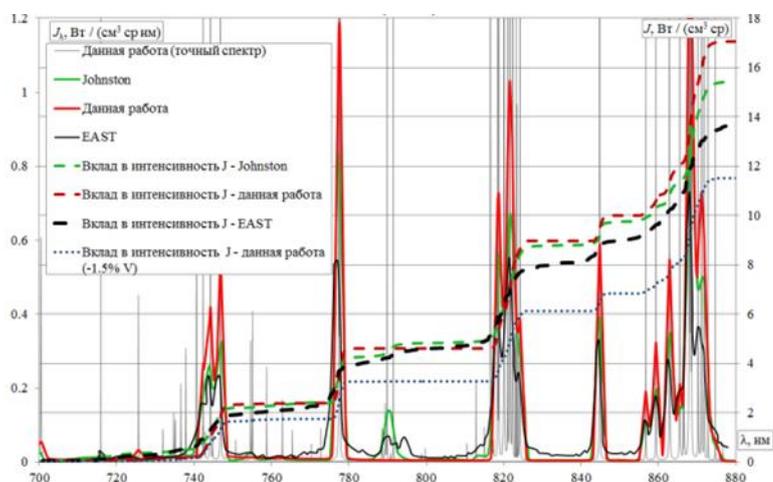


Рисунок 11- Интенсивность излучения и вклад в интенсивность  $J$  на расстоянии  $x = 3.2$  см от фронта УВ для первого эксперимента

Но все ещё остаются не объясненными вопросы, как именно излучает шлейф ударной волны, присутствует ли какая-то зависимость интенсивности излучения и длины волны от расстояния до фронта УВ. В этой же исследовательской работе [11] приведены графики, изображенные на рисунках 12, 13 и 14, которые отображают зависимость интенсивности излучения определенных диапазонов длин волн от расстояния до фронта УВ.

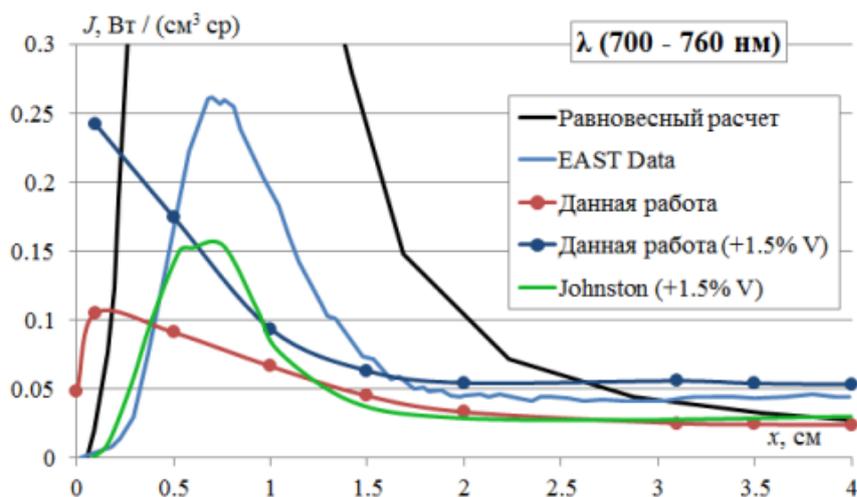


Рисунок 12 - Интенсивность излучения шлейфа УВ для второго эксперимента для диапазона длин волн  $\lambda = 700-760$  нм

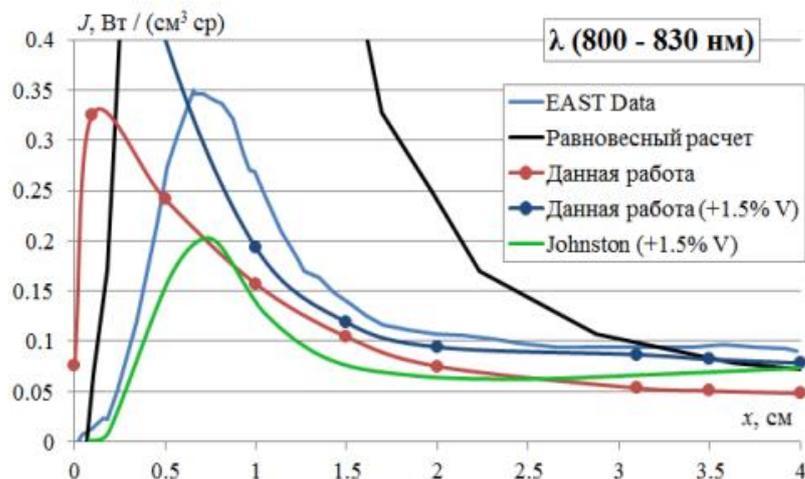


Рисунок 13- Интенсивность излучения шлейфа УВ для второго эксперимента для диапазона длин волн  $\lambda = 800-830$  нм

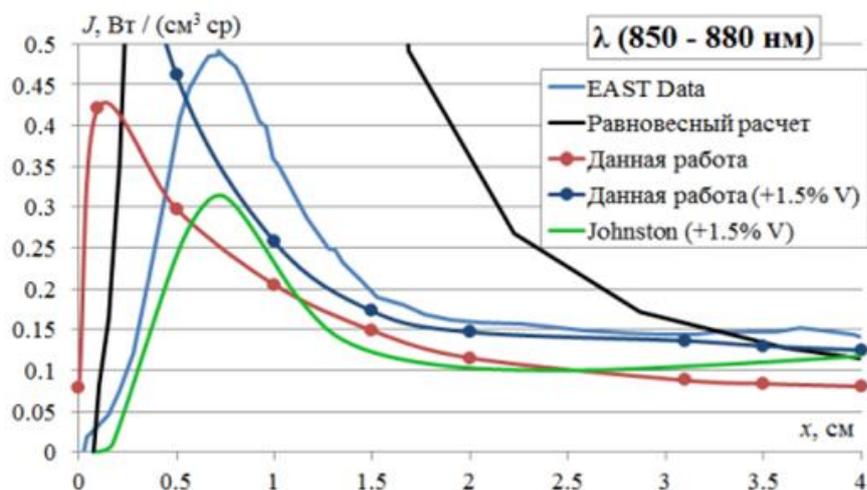


Рисунок 14 - Интенсивность излучения шлейфа УВ для второго эксперимента для диапазона длин волн  $\lambda = 850-880$  нм

Анализ этих графиков дает понять сразу несколько вещей: во-первых, чётко видно затухание интенсивности излучения по мере отдаления от фронта ударной волны; во-вторых, можно заметить, что на расстоянии до 1 см до фронта интенсивность излучения тем больше, чем больше длина его волны. Есть несколько вариантов возможных причин этого явления, например, на малых расстояниях от фронта ударной волны распределение энергии может быть неравномерным, и длинноволновое ИК излучение может концентрироваться в определенных областях, что также приводит к увеличению его интенсивности. Либо же это объясняется тем, что разные длины волн ИК излучения имеют различные коэффициенты поглощения в материалах. Более длинные волны могут менее эффективно поглощаться и рассеиваться в

исследуемой среде, что приводит к большей интенсивности на малом расстоянии от фронта ударной волны.

Подобные полученные результаты измерения излучения газов в указанных областях спектра, использованы для расчета характеристик летательных аппаратов, участвовавших в планетарных миссиях NASA, детально изложенные в статье [13]. Космические аппараты, участвовавшие в таких известных миссиях, как: Apollo AS-201, Mars Pathfinder, Apollo AS-502 (Apollo-6), при входе в атмосферу сталкивались с условиями, близкими к созданным в ранее описанных работах.

Таким образом, из проведенного анализа информации можем сделать следующий общий вывод:

- Интенсивность излучения фронта УВ напрямую зависит от её температуры и скорости.
- Мощность ВУФ излучения ударной волны оказалась выше чем мощность ее УФ излучения.
- Излучение по всему объему УВ в УФ и в ИК диапазонах это взаимосвязанные процессы и явления.
- Спектральное распределение излучения в ударной волне в основном соответствует высказанной ранее идее о прямой зависимости энергии излучения от температуры участка волны и скорости УВ.
- Интенсивность излучения вблизи фронта ударной волны для различных участков ИК спектра требует внимательного рассмотрения, для формирования четкого объяснения ее зависимости от условий эксперимента.

#### **Список источников**

1. Райзер, Ю. П. Введение в гидрогазодинамику и теорию ударных волн для физиков: Учебное пособие / Ю.П. Райзер. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 432 с
2. Rapid Prediction of Nutrient Concentration in Citrus Leaves Using Vis-NIR Spectroscopy  
by Maylin Acosta, Ana Quiñones, Sandra Munera, José Miguel de Paz and José Blasco  
Link: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/14/6530>
3. Electrochemical Organophosphorus Pesticide Detection Using Nanostructured Gold-Modified Electrodes by Han-Wei Chang, Chien-Lin Chen, Yan-Hua Chen, Yu-Ming Chang, Feng-Jiin Liu and Yu-Chen Tsai

Link: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/24/9938>

4. Li, L.; Pan, X.; Feng, Y.; Yin, L.; Hu, C.; Yang, H. Deep convolution network application in identification of multi-variety and multi-manufacturer pharmaceutical. *Spectrosc. Spectr. Anal.* 2019, 39, 3606–3613. [Google Scholar]

5. Real-Time Monitoring of SO<sub>2</sub> Emissions Using a UV Camera with Built-in NO<sub>2</sub> and Aerosol Corrections by Yuanhui Xiong, Kuijun Wu, Guangbao Yu, Zhenwei Chen, Linmei Liu and Faquan Li

Link: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/10/3900>

6. Козлов П. В., Романенко Ю. В. Исследование временных характеристик излучения ударно нагретого воздуха // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2014. Т.15, вып. 2.

7. Козлов П.В., Романенко Ю.В. // Ударная труба института механики мгу для исследования радиационных процессов в высокотемпературных газовых потоках / Сборник трудов школы-семинара “Аэрофизика и физическая механика классических и квантовых систем”. М.: Школасеминар «Аэрофизика и физическая механика классических и квантовых систем» 2012, с. 60–64

8. Быкова Н.Г., Забелинский И.Е., Ибрагимова Л.Б., Козлов П.В., Стовбун С.В., Тереза А.М., Шаталов О.П. Радиационные характеристики воздуха в ультрафиолетовой и вакуумной ультрафиолетовой областях спектра за фронтом сильных ударных волн // Химическая физика. 2018. Т. 37. № 2. С. 35–

9. Козлов П. В., Забелинский И. Е., Быкова Н. Г., Герасимов Г. Я., Левашов В. Ю. Излучательные характеристики ударно нагретого воздуха в видимой и инфракрасной областях спектра // Известия РАН. МЖГ. 2023. № 5. С. 138–146.

10. Лосев С. А., Ковач Э. А., Погосбемян М. Ю., Сергиевская А. Л. Моделирование физико-химических процессов в сильных ударных волнах // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2003. Т. 1.

11. Прутько К. А. Излучение газа за сильными ударными волнами с учетом неравновесных процессов ионизации // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2016. Т.17, вып. 3.

12. Johnston C.O. A Comparison of EAST Shock-Tube Radiation Measurements with a New Radiation Model. 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit 7–10 January 2008, Reno, Nevada. AIAA 2008-1245.

13. PLANETARY MISSION ENTRY VEHICLES Quick Reference Guide Version 4.0//NASA/SP-20220010761

## **Исследование плазмы зондовым методом диагностики**

*Изучили плазму (её свойства) зондовым методом диагностики. Провели два исследования с участием разных газов, изучили различия и свойства плазмы в состав которой входят определённые газы. Описаны характеристики плазмы, которые можно зарегистрировать зондовым методом диагностики. Особое внимание было уделено отечественным исследованиям и научным произведениям, а также научным образовательным учреждениям.*

**Ключевые слова:** *Плазма, зонд, Зондовый метод диагностики, ударная труба, нейтрон, электрон*

Особенно актуальна и перспективна эта тема была во времена «космической гонки», когда СССР и США соревновались в господстве космического пространства. Для этого требовалось понимание того, что происходит с космическим кораблём в плотных слоях атмосферы. Именно тогда и зародилось использование ударных труб в целях изучения плазмы. Плазма, то вещество которое создаёт ряд трудностей для космического корабля, его персонала и центра управления на земле, в этом проекте мы делаем небольшой шаг к решению больших и сложных задач современной космонавтики.

**Актуальность.** Изучение свойств плазмы зондовым методом диагностики позволяет получить важные данные о её физических свойствах, таких как температура, плотность, состав и тд. Именно эти показатели помогут в будущем другим специалистам в разработке новых технологий, например, в космической сфере, именно это сейчас актуально и пользуется спросом у большинства специализированных компаний. Важно понимать, что некоторые физические свойства плазмы возможно зарегистрировать только зондовым методом диагностики.

**Целью** нашего проекта является: научиться производить исследование плазмы зондовым методом диагностики и производить анализ полученной информации с приборов (Осциллограф, аналого-цифровой преобразователь (АЦП))

### **Задачи:**

1. Изучить научную литературу в которых описывается методика исследования плазмы зондовым методом диагностики.

2. Провести исследование плазмы зондовым методом диагностики самостоятельно, и зарегистрировать физические показатели.

3. Провести анализ полученной информации с проведения эксперимента и сделать выводы по полученным результатам.

Многие люди думают, что плазма это исключительное четвёртое агрегатное состояние, но это не совсем так.

Плазма – частично или полностью ионизованный газ, образованный из нейтральных атомов и заряженных частиц. Заряженные частицы, которые находятся в области плазмы, это и есть её особенность. Другими словами, газ, при воздействии высоких температур или других источников энергии, теряет в своём молекулярном составе электроны.

#### 1. Ударные трубы.

Плазму можно получить, после чего исследовать. Впервые исследование плазмы зондовым методом диагностики в ударной трубе, совершил Ирвинг Ленгмюр в 1923 году. [1] Гиперзвуковая ударная аэродинамическая труба была сконструирована для экспериментальных исследований структуры аэродинамического поля течения около геометрических моделей при сверхзвуковых и гиперзвуковых скоростях (рисунок 1). Установка имеет общую длину 14,5-22 м, которая варьируется в зависимости от желаемых характеристик потока. [2-3] Она состоит из трёх-пяти секций. Камера высокого давления (КВД) сделана из нержавеющей стали X18H10T, [4] имеет длину 1,97 м и круглое поперечное сечение с внутренним диаметром 8 см. Секция работает с газами комнатной температуры при давлениях до 200 бар. Камера низкого давления (КНД) имеет длину 7,35 м и такой же внутренний диаметр. Материал КНД – нержавеющая сталь X18H10T, секция отделяется от КВД посредством мембранного блока. Эти секции могут быть удлинены на 7,5 м с помощью дополнительных отсеков. [2]

#### 2. Зонд.

Зонд (рисунок 2) - проводник, почти до конца покрытый изоляцией, выполняет функцию небольшого электрода, на который подаются разные потенциалы. [1] Как мы сказали ранее, при образовании плазмы образуются свободные электроны, которые в следствии перетекают на зонд. Изготавливают зонд преимущественно из тугоплавких металлов, таких как: вольфрам, молибдена, тантала.



Рисунок 1 - Установка ударной трубы

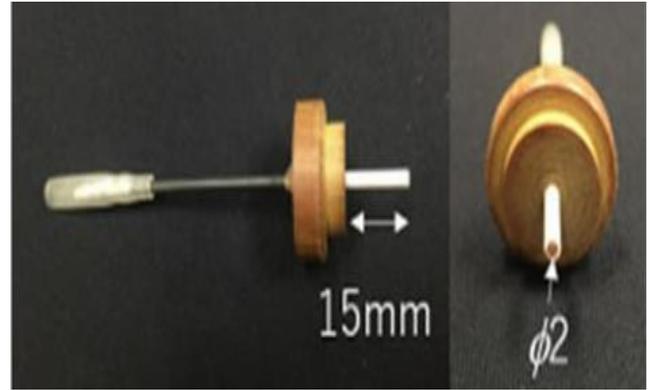


Рисунок 2 - Зонд

Как мы говорили ранее, наше исследование проводилось зондовым методом диагностики. Определение параметров плазмы, таких как: плотность электронов, её температура и состав. Способен определить зондовый метод при благоприятных условиях. Этот метод позволяет находить локальные характеристики плазмы, и в этом заключается его главная особенность и ценность. [1]

При зондовом исследовании в определённое место плазмы вводится зонд, на который подают разные потенциалы. Оголённой поверхности зонда придают разные формы: плоскую, шарообразную, цилиндрическую. (рисунок 3) Также есть определённые правила формирования наконечника зонда, которые необходимо соблюдать для получения максимально достоверных результатов измерения. [1]

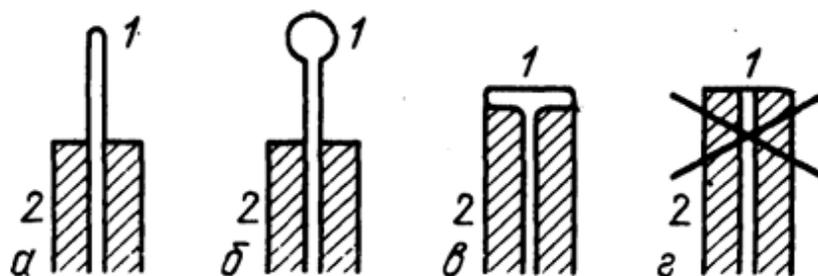


Рисунок 3 - Формы зондов

Полученный сигнал с зонда обрабатывают специальные приборы: Осциллограф и аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Осциллограф – прибор, предназначенный для исследования электрических сигналов во временной области путём визуального наблюдения графика сигнала на экране, а также для измерения амплитудных и временных параметров сигнала по форме графика.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – это устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал). Он представляет собой модуль, который считывает напряжение с определённого источника (зонда) и преобразует его в эквивалентный код для использования на компьютере или другом цифровом устройстве.

Вернувшись к пункту 1. в Теоретической части, к описанию трубы важно добавить ещё её схематичное строение (Рисунок 4). Зонды располагаются в месте образования плазмы, а именно в камере низкого давления (КНД). В результате раскрытия диафрагмы образуется УВ [5](ударная волна), за ней нагревается газ до высоких температур в следствии чего образуется плазма, а перед ударной волной образуются электроны из-за излучения плазмы за ударной волной, более того, зондовым методом исследования изучается не только пик ударной волны, то есть плазму, но и область до плазмы (до ударной волны).[1] В области до ударной волны концентрация электронов резко падает, а затем снова резко возрастает в момент прохождения самой ударной волны.[8]

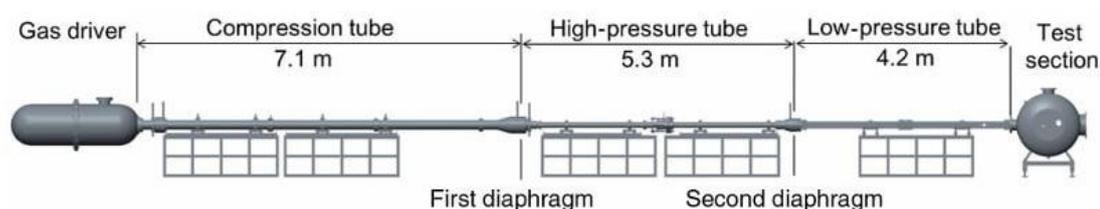


Рисунок 4 - Ударная труба (схематичный рисунок)

В нашей работе мы провели два эксперимента с участие двух разных газов: азота ( $N_2$ ) и комнатного воздуха. Результаты получились отличны друг от друга, исходя из которых можно сделать определённые выводы.

В первом случае мы провели эксперимент с участие газа  $N_2$ . и получили такие показатели с приборов (Осциллограф, аналого-цифровой преобразователь (АЦП)). Скорость ударной волны составила 10 км/с, а начальное давление в КНД 0,25 Торр (около 0,00133 Бар).

Во втором случае мы провели эксперимент с участием комнатного воздуха. Важно понимать, что комнатный воздух - это смесь газов, таких как Азот (около 78%), Кислород (около 20%), однако в комнатном воздухе присутствует определённая концентрация углекислого газа и других примесей. Комнатный воздух — это не чистый воздух и результаты могут быть по-своему уникальны. Значение скорости ударной волны составила 10 км/с, а

начальное давление в КНД 0,25 Торр (около 0,00133 Бар), то есть условия проведения двух экспериментов аналогичны.

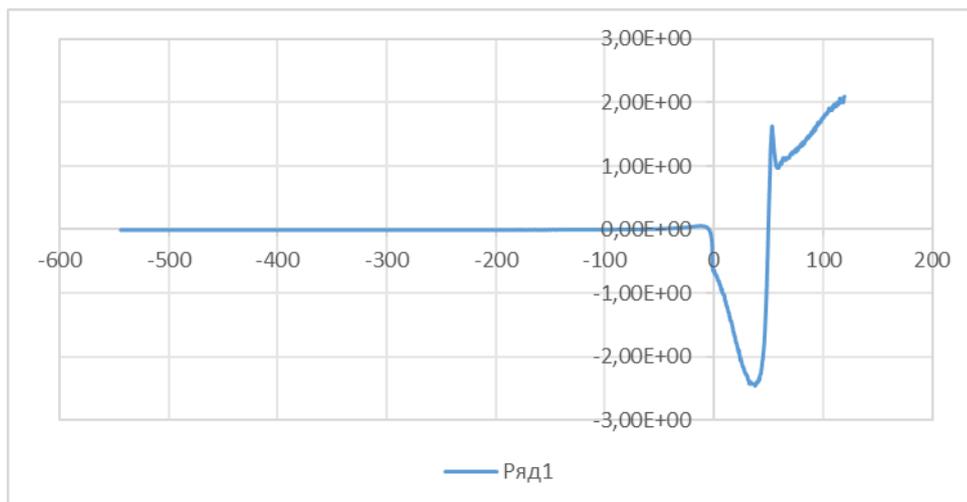


Рисунок 5 - Первый эксперимент с участие газа N2

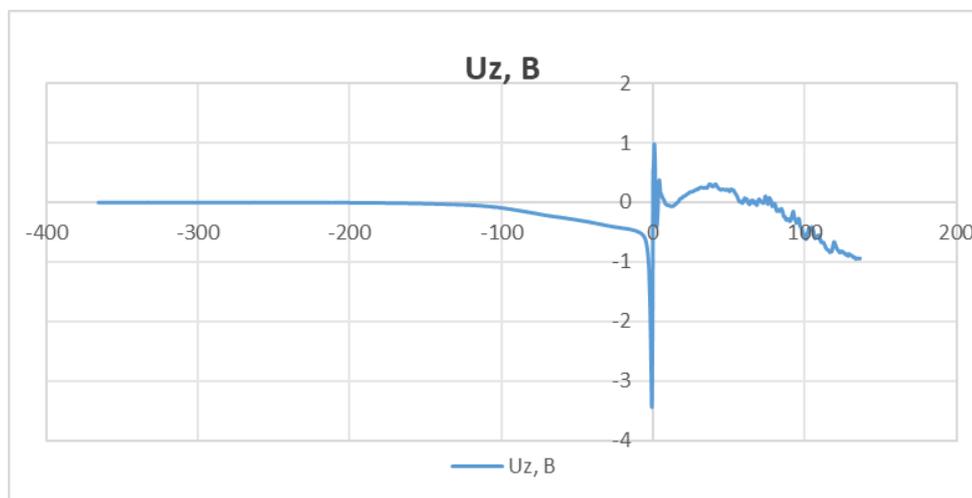


Рисунок 6 - Второй эксперимент с участие комнатного воздуха

Проанализировав результаты экспериментов можно увидеть, что. На графике первого эксперимента с участием газа Азота ( $N_2$ ) мы видим, что график стремительно «падает» вниз, это означает, что концентрация электронов резко упала. Такое происходит перед ударной волной, когда концентрация электронов резко падает. [1]. В нашем случае значение упало до  $-2.42E+00$ . Затем резкий рост графика - увеличение концентрации свободных электронов, именно в этот момент на графике проходит ударная волна и значение концентрации электронов в пике может нам говорить о том, насколько концентрированная и плотная электронами плазма образовалась. В нашем случае концентрация плазмы поднялась до отметки  $1.64E+00$ . затем на графике виден повторяющийся, но в меньших масштабах рисунок

графика. Это объясняется отражением ударной волны от стенок установки ударной трубы [1-4].

На графике второго эксперимента минимальная концентрация электронов стремительно «упала» вниз до значения -3,45. Сравнивая с первым графиком можно заметить, что во втором случае область до ударной волны перед образованием плазмы меньше. Наивысшее значение концентрации электронов составило 1,00.

Учитывая то, что первоначальные условия проведения двух опытов были идентичны, можно сказать, что в первом эксперименте, с участием газа Азота (N<sub>2</sub>), получилась менее концентрированная плазма чем во втором эксперименте, с участие комнатного воздуха. Область до ударной волны (падение концентрации электронов) в первом эксперименте получилась дольше, чем во втором эксперименте.

Подходя к концу, мы с уверенностью можем сказать, что после большой работы, которая заключалась в изучении немалого количества научной литературы, мы подробно рассмотрели метод зондовой диагностики плазмы в ударных трубах, а также с помощью этого метода смогли провести два эксперимента с участием разных газов, в ходе которых, благодаря зонду, изучили характеристики и свойства образовавшейся плазмы в азоте и комнатном воздухе.

#### **Список источников**

1. Райзер, Ю. П. Введение в гидрогазодинамику и теорию ударных волн для физиков / Ю. П. Райзер. – Долгопрудный : Интеллект, 2011. – 432 с.
2. Котов, М. А. Расчетно-экспериментальные исследования ударно-волновых процессов в гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе : автореферат дис. ... канд. физико-математических наук : 01.02.05 / Котов Михаил Алтаевич. – Москва, 2014. – 31 с.
3. Рулева, Л. Б. Схемы экспериментальных установок для исследования ударно-волновых течений. Обзор по патентным материалам / Л. Б. Рулева // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. - 2012. – Т. 13, вып. 4, – С. 12.
3. Котов, М. А. Основные тенденции в проведении исследований гиперзвуковых течений в аэродинамических ударных трубах / М. А. Котов, В. В. Кузенов // Изобретательство. - 2013. – Т. 13, № 9. С. 11-25.
4. Аронович, М. С. Металловедение / М. С. Аронович, Р. М. Голубчик, А. В. Зайцева. – Москва : МЭИ, 1970. – 265 с.
5. Chen, Francis F. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion / Francis F. Chen. - Springer Cham, 2016. – 490 с.

6. Зельдович, Я. Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. – Москва : Наука, 1966. - 688 с.

7. Актуальные проблемы механики: механика жидкости, газа и плазмы : сб. трудов / отв. ред. С. Т. Суржиков. – Москва : Наука, 2008. – 285 с.

.

А.А. Черных  
Ю.С. Мельников  
В.М. Шашура  
А.Д. Сухов

### **Исследование подъёмной силы крыла**

*В данной работе проведено исследование подъёмной силы крыла, основанное на сравнении теоретических и экспериментальных данных. Рассмотрены различные теории, объясняющие возникновение подъёмной силы, включая уравнение Бернулли, закон синуса Ньютона, формулу Рэлея и теорию тонких крыльев. Экспериментальная часть работы включала создание установки, имитирующей аэротрубу, для измерения подъёмной силы крыла в зависимости от его геометрических характеристик, скорости воздушного потока и угла атаки. Полученные результаты показали, что теоретические значения подъёмной силы, рассчитанные с учётом толщины пограничного слоя и числа Рейнольдса, не совпадают с экспериментальными данными. Также установлено, что подъёмная сила возрастает с увеличением угла атаки и скорости воздушного потока, однако после срыва потока наблюдается её резкое снижение. Работа подчеркивает важность учёта реальных условий при моделировании аэродинамических процессов.*

**Ключевые слова:** *Подъёмная сила, крыло, угол атаки, срыв потока, аэродинамика, эксперимент.*

Данная тема проекта является важной на сегодняшний день. Можно выделить несколько причин её актуальности. Во-первых, мы живём в эпоху полётов на различных летательных средствах и с течением времени данный тип транспорта будет лишь прогрессировать и развиваться, поэтому очень важно понимать, от чего зависит подъёмная сила того или иного аппарата. Во-вторых, в открытом доступе в интернете мы не нашли большого количества экспериментальных подтверждений соответствия данной теории практике. В связи с этим мы и решили провести наше исследование.

На данный момент существует несколько различных теорий, связанных с образованием и расчётом подъёмной силы крыла. Например, объяснение подъёмной силы уравнением Бернулли, законом «Синуса Ньютона», формулой Рэлея, теорией тонких крыльев. Подробнее это рассматривается в статье [1, 2].

Самым распространённым, но, к сожалению, ошибочным является объяснение подъёмной силы на основе уравнения Бернулли (Рисунок 1). Его не получится применить в данной ситуации, т.к. при “встрече” с крылом поток воздуха разделяется на два. Многие считают, что за крылом поток вновь соединится в один, а раз крыло изогнуто и время прохождения одинаково, то скорости воздуха сверху и снизу будут разными, из-за чего будет создана разница в давлениях, создающая подъёмную силу. Однако это не так. Было доказано экспериментально, что воздух сверху и снизу огибает крыло за разные промежутки времени (Рисунок 2), что делает данную теорию нежизнеспособной. Несмотря на это, уравнение Бернулли широко применяется в корректном виде с учётом реальных граничных условий и кривизны профиля крыла. Детальнее в [3].

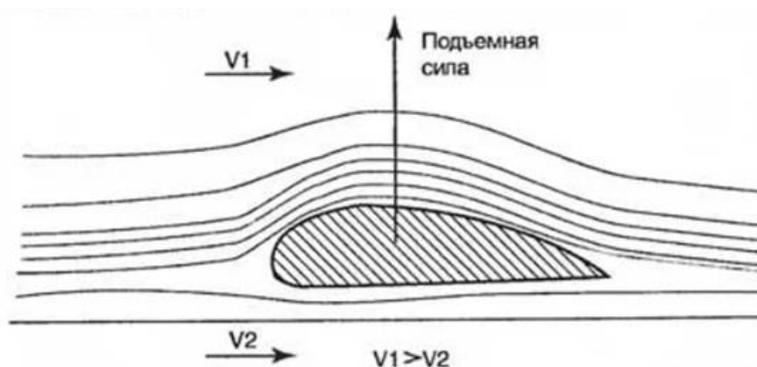


Рисунок 1 - Теория Бернулли

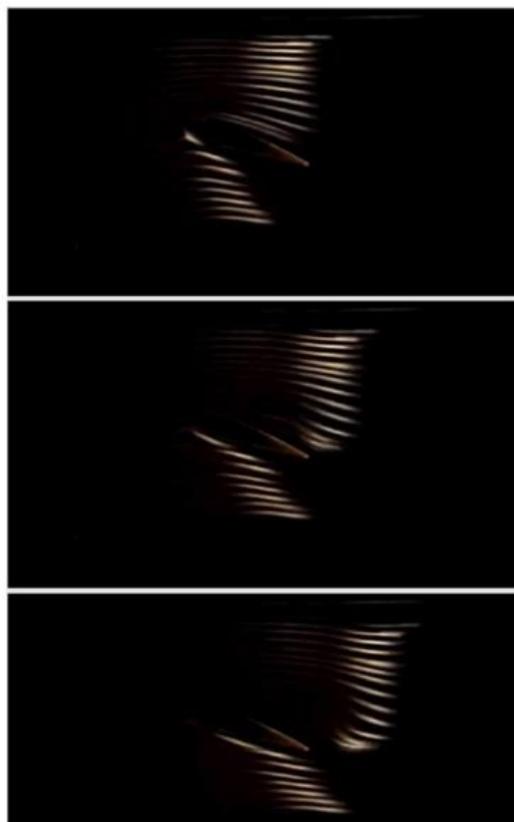


Рисунок 2 - Воздушный поток (из атласа Ван-Дайка)

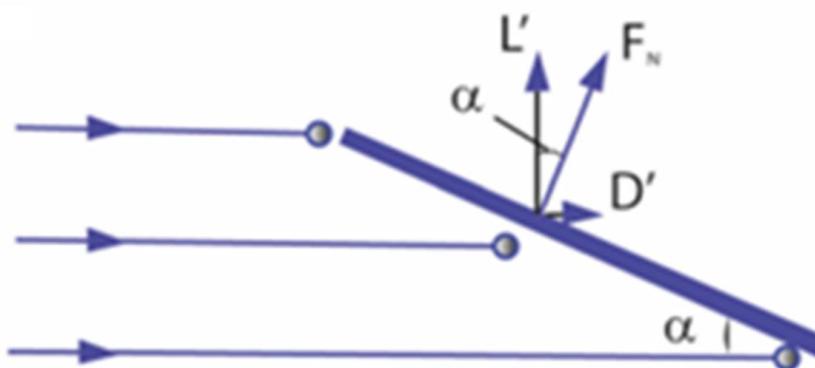


Рисунок 3 - Теория «Синуса Ньютона»

«Закон синуса Ньютона» основан на законе сохранения импульса. По этой теории получается, что при движении крыла частички воздуха ударяются о крыло и передают ему импульс (Рисунок 3). Исходя из этой теории для достижения максимальной подъёмной силы крыло нужно направлять под углом  $45^\circ$  (это получается из-за того, что мы рассматриваем идеальный воздушный поток). Если рассчитывать подъёмную силу, исходя из данной теории, то получается, что практические полёты почти невозможны из-за огромных сопротивлений при нужных углах атаки. Однако это заявление тоже ошибочно, т.к. на практике самолёты существуют и весьма успешно летают.

Для описания следующей теории, нужно ввести понятие циркуляции. Термин «циркуляция» был первоначально введен в гидродинамике для расчета движения жидкости по замкнутому каналу. Рассмотрим течение идеальной несжимаемой жидкости. Выберем произвольный контур и мысленно представим, что мы (мгновенно) заморозили всю жидкость в объеме, за исключением тонкого канала постоянного сечения, включающего в себя этот контур. Тогда, в зависимости от первоначального характера течения жидкости, она будет либо неподвижной в канале, либо двигаться вдоль контура (циркулировать) [4].

Рэлей, в своей теории, рассматривает воздух как вязкий и потенциальный поток [5]. Он находит формулу для вычисления подъёмной силы крыла, а также для сопротивления воздуха. Значения «его» подъёмной силы уже ближе к экспериментальным, но всё ещё довольно сильно отличаются от них. Это связано с тем, что он не учитывает циркуляцию воздуха после срыва потока в своих расчётах.

В теории же тонких крыльев она учитывается, так что данная теория позволяет получать результаты подъёмной силы, которые практически совпадают с экспериментальными. Данная теория была разработана Мунком на основе теории Кутты-Жуковского, в которой вихри и их подъёмная сила занимали самые важные позиции.

В данной работе мы хотим экспериментально проверить соответствие теоретических значений подъёмной силы крыла экспериментальным, узнать зависимость подъёмной силы крыла от его геометрических характеристик (далее следуют указания 5:1 и т.п. характеризующие соотношение длин осей эллиптического крыла), от скорости потока воздуха, а также от угла атаки. Стоит отметить, что мы использовали лишь эллиптические профили крыльев и считали поток воздуха, выходящего из трубы максимально приближенным к ламинарному. Если говорить более конкретно, то мы будем сравнивать не только подъёмные силы, но и подъёмные коэффициенты  $C_y$  этих сил, полученные теоретически и экспериментально.

Для получения теоретического значения  $C_y$  было решено воспользоваться следующей формулой:  $C_y = 2\pi \left(1 + \frac{b}{a}\right) \sin \theta$  [6].

Так у нас нет прибора для прямого измерения  $C_y$ , то мы создали установку, работающую по тому же принципу, что и аэротруба.



Рисунок 4 - Установка, вид сбоку

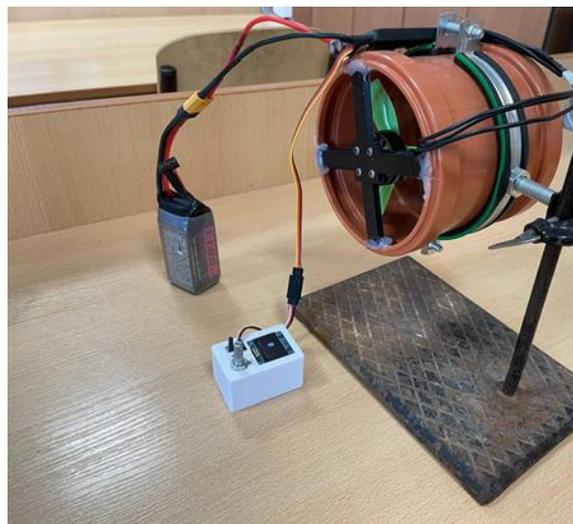


Рисунок 5 - Установка, вид сзади

В качестве корпуса была использована водопроводная труба, она была обтянута хомутом, в который вкручен стержень. Этот стержень крепился в муфте штатива. Спереди в турбину был вставлен ламинаризатор (для выпрямления потока воздуха). В задней части турбины термоклеем была закреплена крестовина, напечатанная на 3D-принтере. К ней привинчен мотор от коптера. Мотор запитывался от аккумулятора, присоединённого через контроллер. Запускался этот мотор при помощи небольшого компьютера (ранее использовался обыкновенный пульт от коптера).

**Принцип работы.** Крыло на подставке устанавливается на весы, включается турбина, масса, которую показывают весы изменяется. Разница начальной и конечной (при включенной аэротрубе) и есть подъёмная сила (в граммах).

**Отладка.** Конструкция трубы в ходе эксплуатации претерпела одно довольно важное изменение – изначально (в первых трёх сериях измерений, где использовался самый длинный профиль) она включалась при помощи пульта от коптера. Это оказалось довольно неудобно, поэтому было решено с помощью Arduino запрограммировать выключатель аэротрубы (на нём уже сразу можно было бы выставлять нужную нам скорость потока воздуха, ранее мы проводили измерения скорости воздушного потока анемометром непосредственно).

Была проведена отдельная серия экспериментов для установления зависимости скорости потока от напряжения, подаваемого на двигатель. Напряжение измерялось в условных единицах этим же устройством. Проанализировав полученные данные, была выведена зависимость скорости от напряжения. Мы перепрограммировали выключатель – теперь он выводил не условные значения напряжения, а скорость воздушного потока (в км/ч) на расстоянии 10см от края трубы.

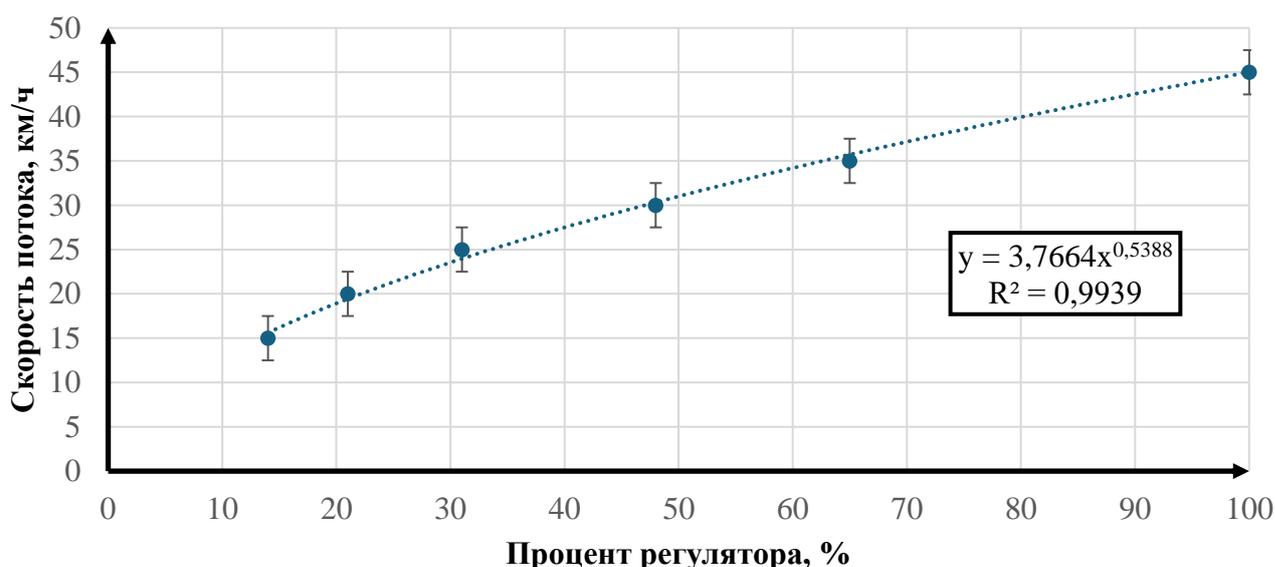


График 1-Отладка системы Arduino

### Опыты и измерения.

Было проведено по три серии опытов на разных скоростях с тремя разными профилями (изменялась длинная полуось, а малая – оставалась неизменной).

Как уже было написано выше, то не существует прибора для прямого измерения  $C_y$ , поэтому для его получения мы воспользовались формулой:  $C_y = \frac{Y}{\rho v_{\infty}^2 a}$  [6].

При анализе данных, полученных в ходе испытаний, была замечена одна очень странная деталь – при угле, равном  $0^\circ$ , подъёмная сила оказалась неравной нулю, что противоречило здравому смыслу и теории. Нам удалось найти два разумных объяснения этого феномена:

1. Наше крыло не является идеально симметричным и ровным, что могло повлиять на результат.

2. При обдувании крыла из-за трения между весами и подставкой, мог немного сдвигаться центр масс, что повлияло на показания весов. Так или иначе, данная составляющая являлась лишней и была вычтена из каждого значения подъёмной силы (стоит отметить, что она зависела от скорости потока воздуха и геометрических размеров крыла).

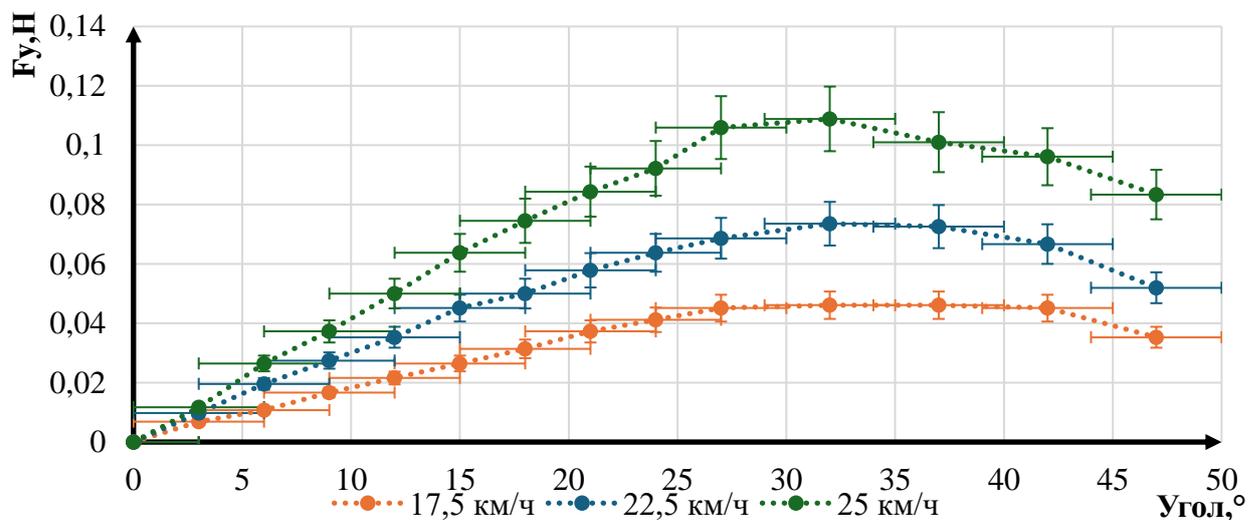


График 2-Результат профиля 6:1

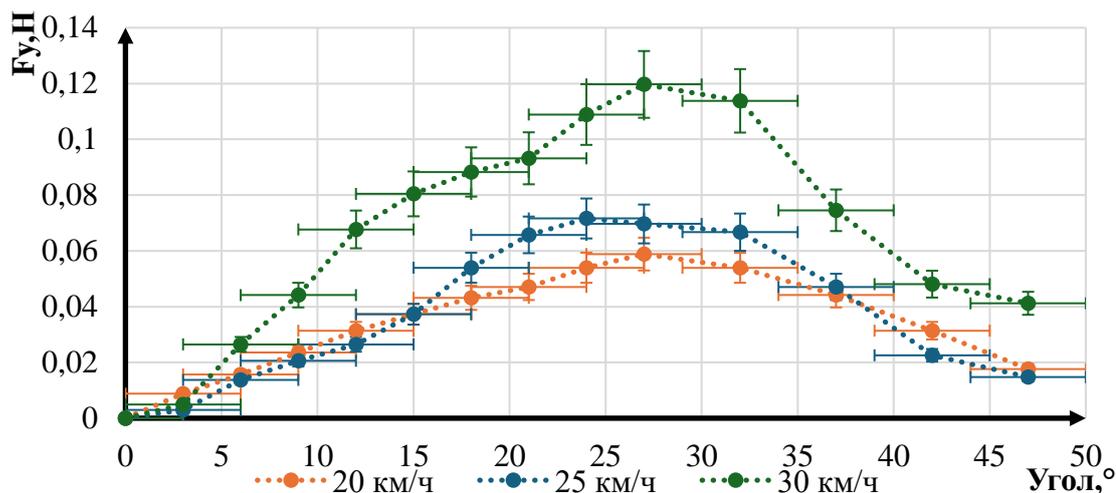


График 3-Результат профиля 5:1

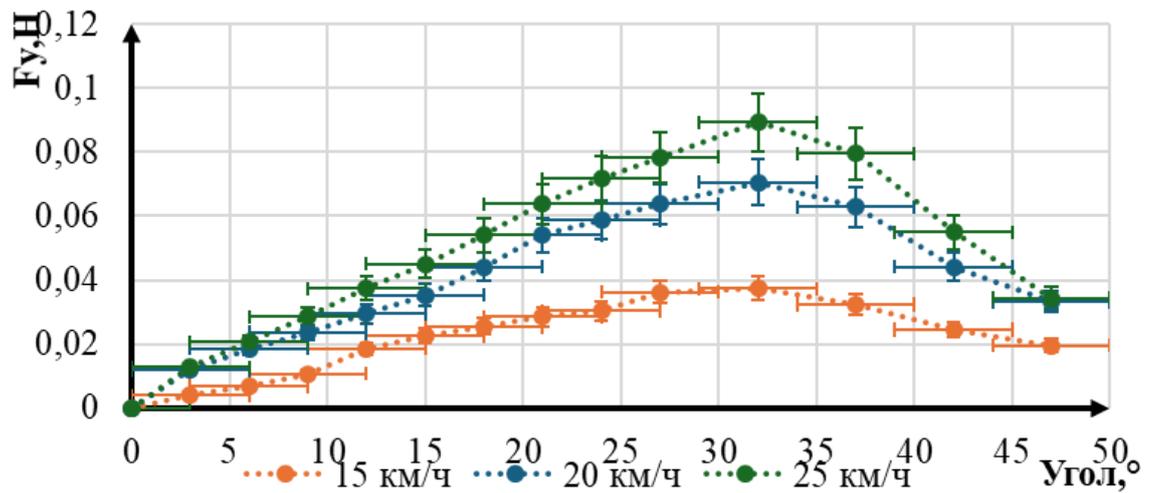


График 4-Результат профиля 4:1

Во время анализа  $C_y$  мы пересмотрели способы получения данных формул и внесли следующие изменения: добавили поправку на плотность воздуха, а также на ширину профиля (в работе [6] была допущена неточность: формула применима к 2D профилю). После внесения изменений получились следующие формулы:

$$C_y = \frac{Y}{\rho v_{\infty}^2 a h} \text{ (для экспериментального) и } C_y = 2\pi\rho \left(1 + \frac{b}{a}\right) \sin\theta \text{ (для теоретического).}$$

На графиках ниже показано сопоставление теоретических и экспериментальных значений  $C_y$ . Для наглядности графики были немного обрезаны, поэтому значения теоретического  $C_y$  в некоторых местах выходят за их границы.

Профиль 6:1

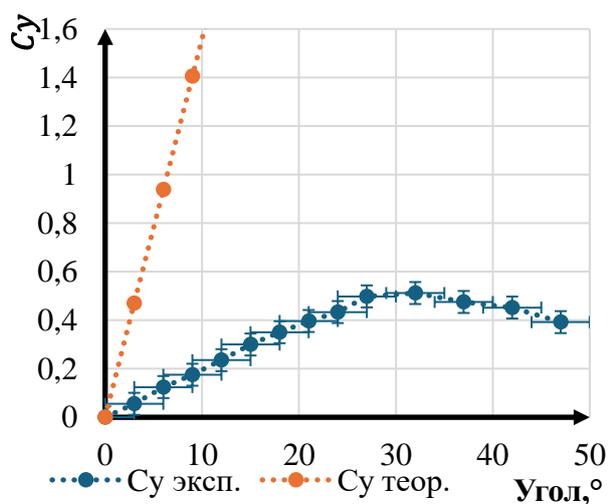


График 5-25 км/ч

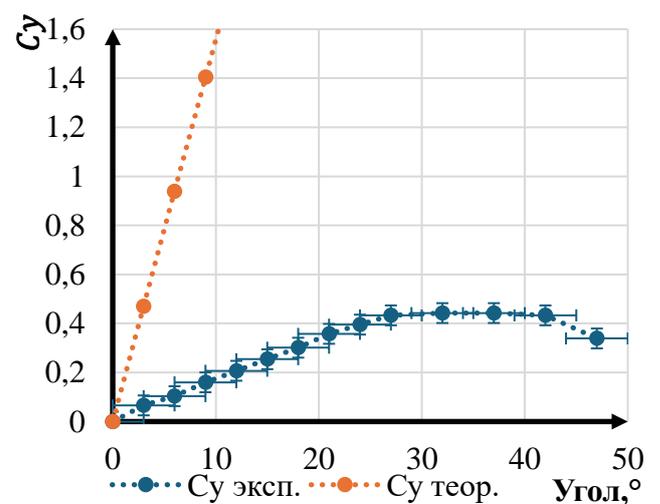


График 6-17,5 км/ч

Профиль 5:1

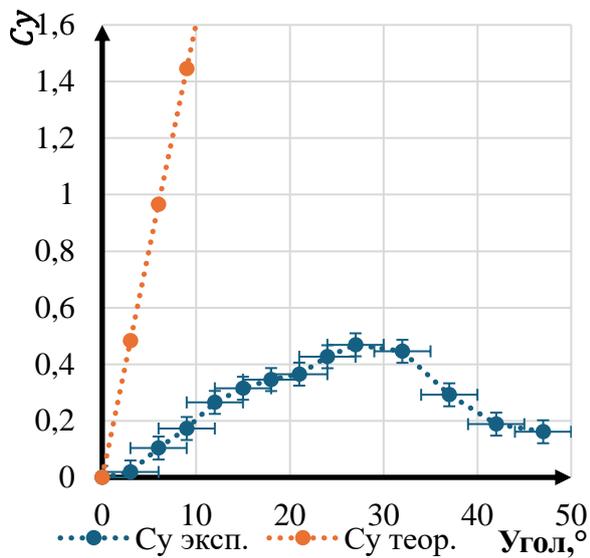


График 7-30 км/ч

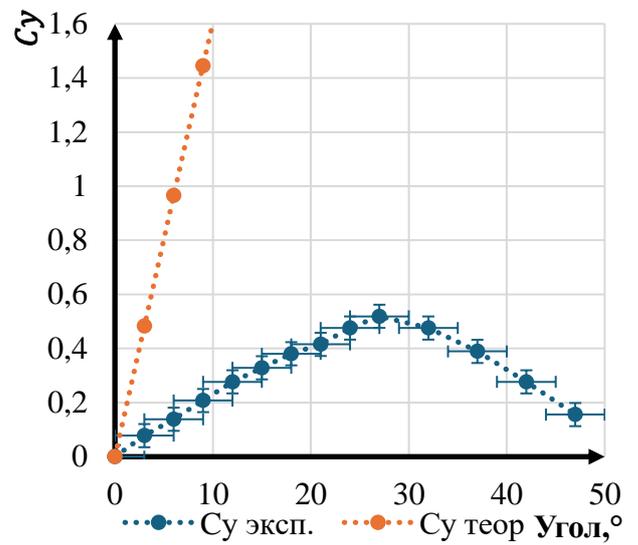


График 8-20 км/ч

Профиль 4:1

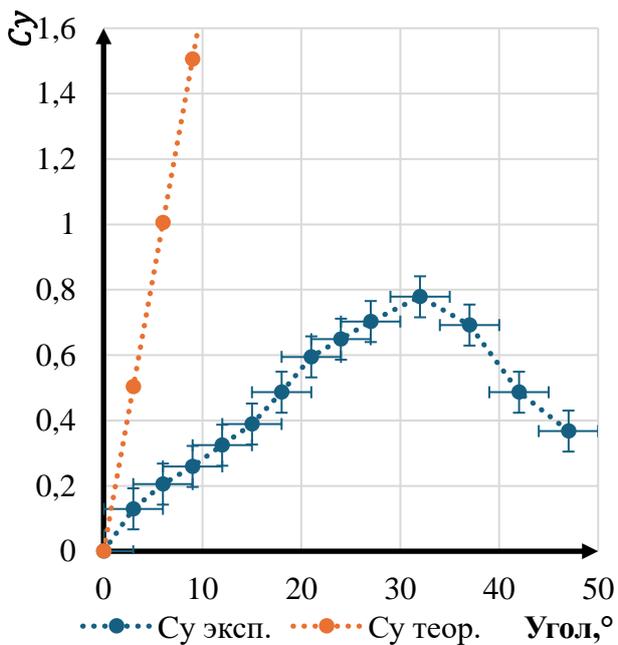


График 9-20 км/ч

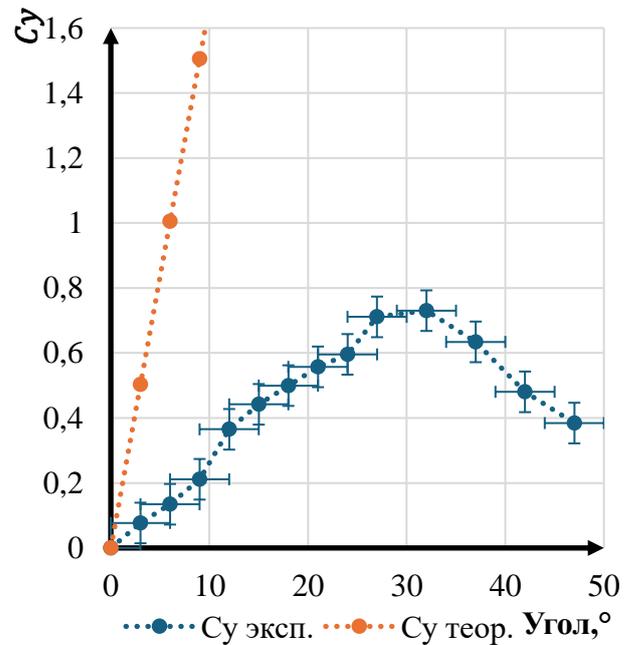


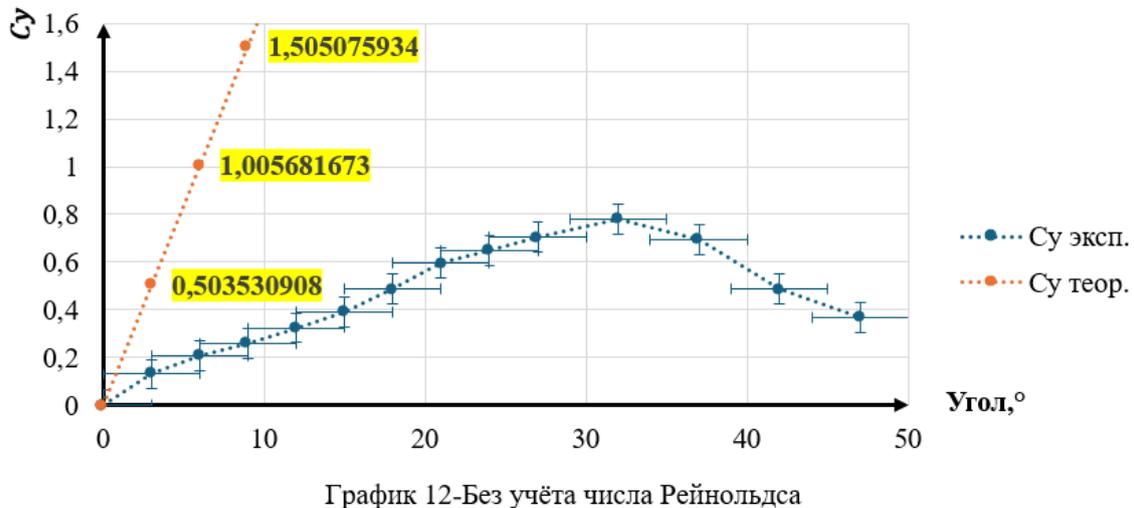
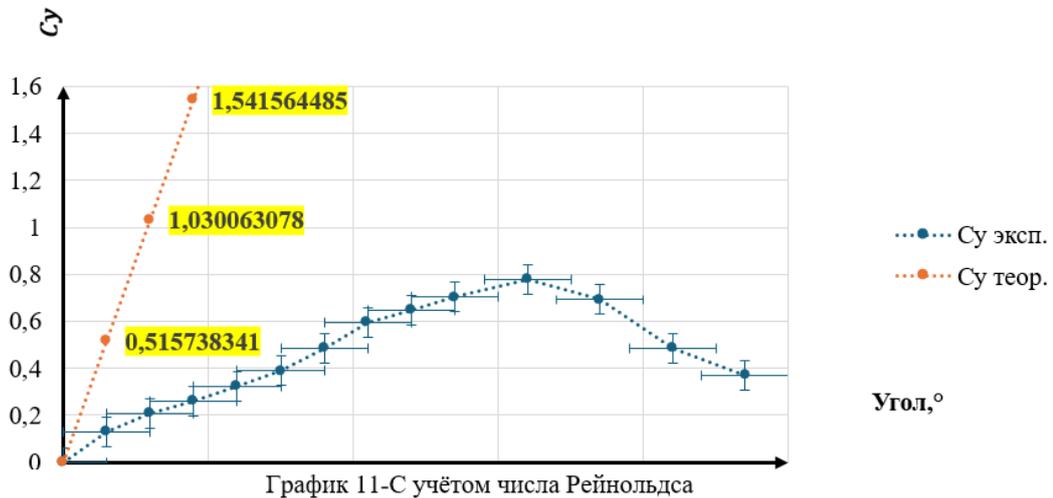
График 10-15 км/ч

**Сопоставление теории и практики.**

При данном раскладе практика и теория не сошлись, поэтому мы отправились бороздить просторы интернета в поисках возможной причины несостыковки значений. В результате поисков оказалось, что в формуле для  $C_{\gamma}$  теоретического нужно также учитывать толщину пограничного слоя, зависящего от числа Рейнольдса [7]. В результате очередных поправок была получена следующая формула:

$$C_y = 2\pi\rho \left(1 + \frac{b}{a} + \sigma\right) \sin\theta = 2\pi\rho \left(1 + \frac{b}{a} + \frac{5}{\sqrt{Re}}\right) \sin\theta, \text{ где } Re = \frac{\rho v_\infty 2a}{\eta}$$

Введение данной поправки незначительно повлияло на результаты (оно немного отдалило практические значения от теоретических). Рассмотрим изменения на примере профиля 4:1 при скорости потока 20км/ч:



Большие расхождения теории и практика возникают, потому что формула может быть использована лишь для идеального случая, в котором не учитывается то, что поток может отделиться от крыла до его окончания (безотрывное обтекание). Но существуют формулы, которые описывают отрывное обтекание, существенно приближающие полученные нами значения практики к теории. [7].

$$C_y = F(b_{el}, Re)\theta^\circ,$$

$$\text{где } F(b_{el}, Re) = -3.81 \left(\frac{b_{el}}{a_{el}}\right)^2 + 0.9945 \frac{b_{el}}{a_{el}} + 0.02165 + \left(472.44 \left(\frac{b_{el}}{a_{el}}\right)^2 - 142.5 \frac{b_{el}}{a_{el}} + 9.112\right) \times \sqrt{\frac{1}{Re}} + (-10080 \left(\frac{b_{el}}{a_{el}}\right)^2 + 3081 b_{el} - 213.3) \times \frac{1}{Re}$$

С ней теория всё еще не сходилась с экспериментом, но разница была ощутима:

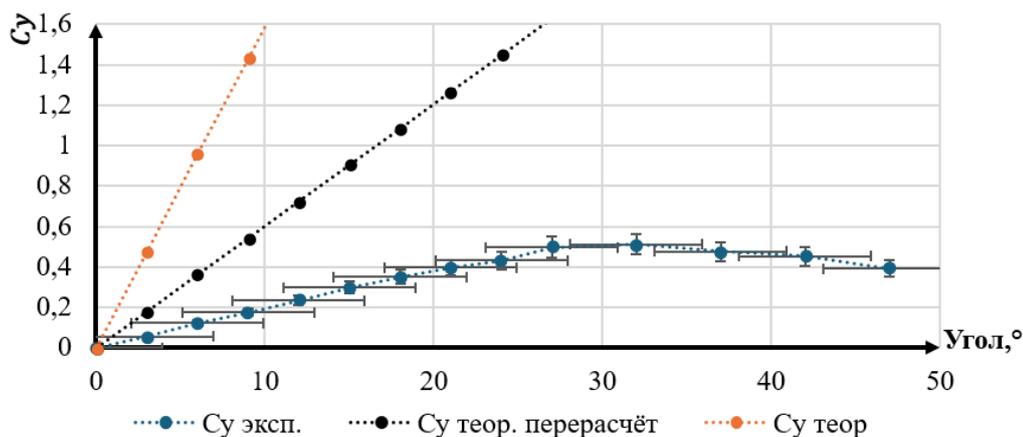


График 13-Приближение теории к практике

Зависимость подъемной силы от угла атаки.

Как уже было написано выше, подъемная сила тем больше, чем круче угол атаки. Такая зависимость продолжается до тех пор, пока не происходит так называемый срыв потока (тоже упоминался ранее). Срыв потока – момент, когда пограничный слой воздуха отрывается от поверхности крыла до её окончания. В момент срыва и после него подъемная сила начинает резко убывать.

Срыв потока.

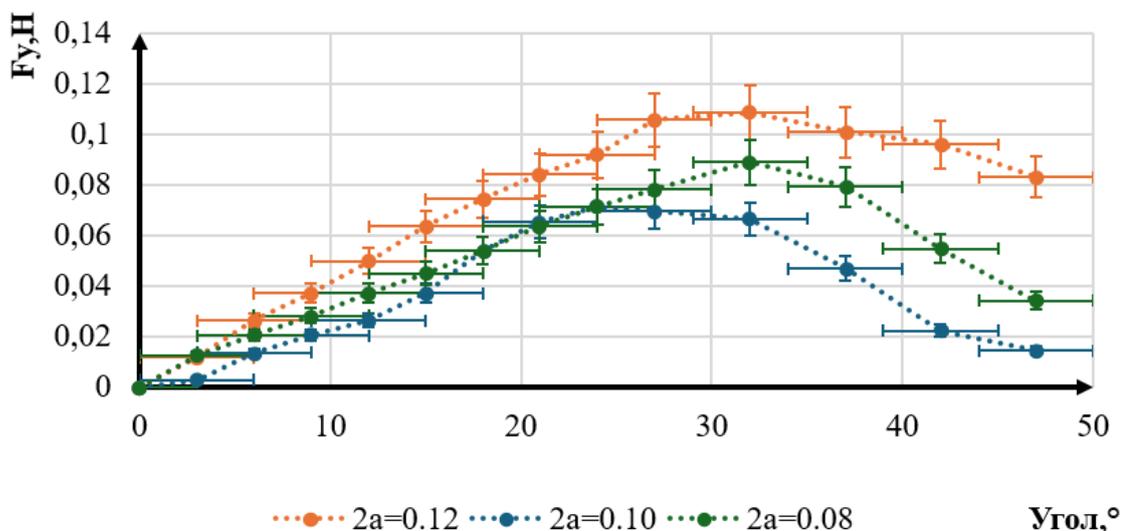


График 14-Сравнение графиков зависимости подъемной силы от угла атаки по длине большей оси крыла при одинаковой скорости

Угол атаки, при котором произойдёт срыв потока – зависит как от скорости потока воздуха (График 2), так и от геометрических параметров крыла (График 14).

Из полученных нами данных не получается вывести чёткой зависимости угла, при котором происходит срыв, от длины полуоси, однако с уверенностью можно утверждать, что чем выше скорость потока воздуха, тем раньше произойдёт срыв.

Зависимость подъёмной силы от скорости потока воздуха.

При повышении скорости потока – подъёмная сила крыла возрастает. Такой результат дали все три группы серий испытаний. При увеличении скорости в 1,4 раза подъёмная сила даёт прирост в пике в 2,4 раза. Это даёт понять, что подъёмная сила нелинейно зависит от скорости потока (из графика ниже).

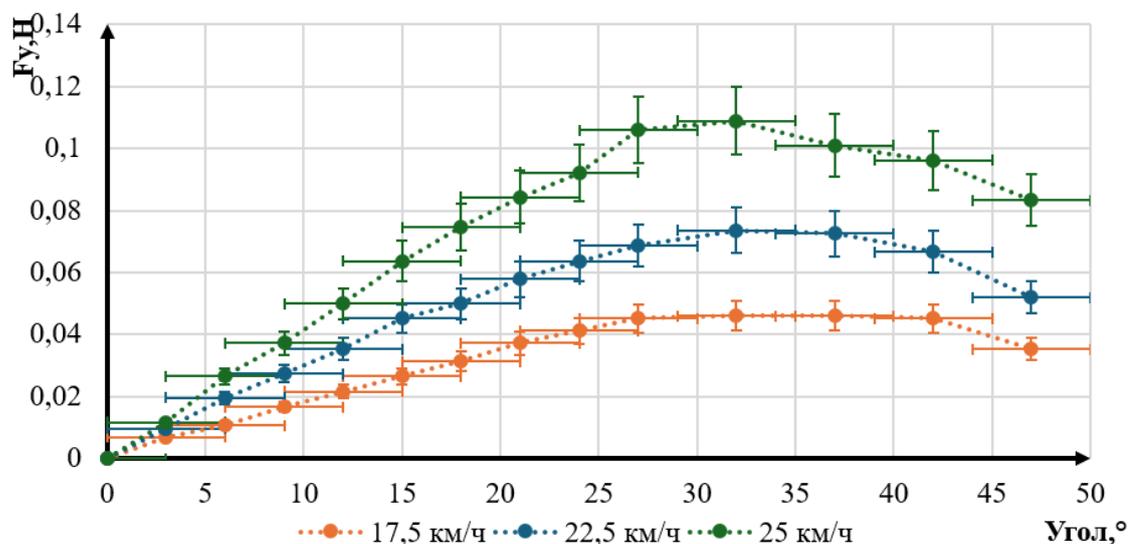


График 15 – Результат профиля 6:1

Зависимость подъёмной силы от длины полуосей.

Вывести зависимость силы от длины полуоси не удалось, так как при средней длине полуоси подъёмная силы получилась наименьшей. При углублении в тему проекта нахождение зависимости может быть одним из направлений.

Заключение и выводы.

Значения, полученные по формуле  $C_y = 2\pi\rho \left( 1 + \frac{b}{a} + \frac{5}{\sqrt{\frac{\rho v_{\infty}^2 a}{\eta}}} \right) \sin \theta$ , не совпадают с экспериментальными данными, а довольно сильно превышают их. Это может быть связано с тем, что данная формула применима в тех случаях, когда поток не отделяется от профиля до его конца (места, где сходятся верхняя и нижняя его поверхности), т.е. в идеальных условиях. Мы же не могли обеспечить отделение потока воздуха от крыла лишь на кончике – в наших опытах срыв происходил ранее, из-за чего возникают расхождения в теории и в эксперименте.

Формула  $C_y = F(b_{el}, Re)\theta^\circ$ , где  $F(b_{el}, Re) = -3.81 \left(\frac{b_{el}}{a_{el}}\right)^2 + 0.9945 \frac{b_{el}}{a_{el}} + 0.02165 + \left(472.44 \left(\frac{b_{el}}{a_{el}}\right)^2 - 142.5 \frac{b_{el}}{a_{el}} + 9.112\right) \times \sqrt{\frac{1}{Re}} + (-10080 \left(\frac{b_{el}}{a_{el}}\right)^2 + 3081 b_{el} - 213.3) \times \frac{1}{Re}$  даёт

намного более правдивые результаты, однако в пределах погрешности всё равно не все значения совпадают. Это может быть связано с тем, что в нашей установке могут быть какие-то небольшие неровности и ассиметричные элементы.

При повышении угла атаки подъёмная сила крыла будет увеличиваться до момента срыва потока – тогда она начнёт резко убывать. Момент этого срыва также зависит от угла атаки, однако эту зависимость вывести не удалось.

При увеличении скорости потока воздуха менее чем в 1,5 раза подъёмная сила (в пиковых значениях) возрастает более, чем в 2 раза. Также стоит отметить, что момент срыва также зависит и от скорости: чем выше скорость, тем раньше произойдёт срыв потока.

### Список источников

1. Liu, Tianshu. Evolutionary understanding of airfoil lift / Tianshu Liu // *Advances in Aerodynamics*. – 2021. – № 3 (37). – P.1-24. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42774-021-00089-4>.
2. McLean, Doug. *Understanding Aerodynamics: Arguing from the Real Physics* / Doug McLean. – John Wiley & Sons, 2012. – 576 p.
3. Anderson, D. *Understanding Flight* / D. Anderson, S. Eberhardt. – McGraw-Hill Professional, 2000. – 320 p.
4. Лэмб, Г. *Гидродинамика. Т. 1* / Г. Ламб ; ред. Н. А. Слезкин ; пер. с 6-го английского издания А. В. Гермогенов. - Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2019. – 482 с.
5. Rayleigh, L. On the resistance of fluids / L. Rayleigh // *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*. – 1876. – № 2 (13).
6. Сухов А. Д. Зависимость аэродинамических коэффициентов эллиптического профиля от угла атаки и числа Рейнольдса : лабораторная работа / А. Д. Сухов, А. М. Черкасов, Г. А. Карнуп. – 2022.
7. Petrov, A. G. Laminar Flow of Viscous Fluid Around Elliptical Contours at an Angle of Attack / A. G. Petrov, A. D. Sukhov, I. N. Sibgatullin // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. – 2022. – № 43 (5). – P. 1184-1194. DOI: [10.1134/S1995080222080261](https://doi.org/10.1134/S1995080222080261).

## Исследование сообщества грибов и бактерий, способных к росту в экстремальных галофильных условиях

*Исследование посвящено изучению взаимодействий между грибами и бактериями, способными расти в экстремальных условиях — при высокой солёности, низких температурах и кислой среде. Данные организмы представляют интерес для изучения механизмов адаптации и выживания в неблагоприятных условиях, что может иметь практическое значение для экологии, биотехнологии и медицины.*

**Ключевые слова:** грибы, бактерии, симбиоз, метагеномика, экстремальные условия, адаптация.

Впервые за живыми микроорганизмами наблюдал под микроскопом А. Левенгук еще в далеком 1776 г., а их роль в превращениях химических веществ и возникновении болезней была доказана в работах Л. Пастера и Р. Коха. А ведь весь масштаб микробиологического сообщества включая некультивируемые формы (по предварительным данным 99.9% от всех микроорганизмов (А.И. Нетрусов)) открылся довольно недавно, с открытием метода секвенирования (от лат. sequentum — «последовательность») - анализ генетической последовательности.

Микроорганизмы в том числе выступают в роли фундамента экологии в самых разных уголках планеты, производя многие необходимые для развития других существ вещества. Но такое большое разнообразие ведет за собой конкуренцию и как следствие расширение ареала обитания, в том числе и до экстремальных условий. Для разделения условий обитания введены такие понятия:

- Нормальные (повсеместно распространенные условия).
- Экстремальные (крайние значения факторов, отличающихся от повсеместных условий).

Толерантность (от лат. tolerantia — «терпение, терпеливость, способность переносить»).

Фильность (от др.-греч. φίλος «люблю»).

По области толерантности выделяют:

### 1. Температурные условия:

1.1 Термофилы ( $t > 50^{\circ}\text{C}$ );

1.2 Мезофилы ( $20 < t < 50^{\circ}\text{C}$ );

1.3 Психроактивные ( $0 < t < 30^{\circ}\text{C}$ );

1.4 Психрофилы ( $t < 20^{\circ}\text{C}$ ).

2. Кислотность среды:

2.1 Алкалифлы ( $\text{pH} > 8.5$ );

2.2 Нейтрофилы ( $\text{pH} 6-8$ );

2.3 Ацидофилы ( $\text{pH} < 6$ ).

3. Концентрация солей:

3.1 Галофилы (5-15% NaCl);

3.2 Умеренные галофилы (морские) (2,5-5% NaCl);

3.3 Галоталерантные (колеблющаяся соленость);

3.4 Пресноводные ( $\text{NaCl} \leq 0,01\%$ ).

Для выживания в таких условиях, нужно особое строение или метаболизм. Например, адаптация к солености у экстремально галофильных архей (порядок Halobacteriales) основана на аккумуляции ионов К. Они активно выводят  $\text{Na}^+$  накапливая  $\text{K}^+$ . Высокая внутриклеточная концентрация ионов  $\text{K}^+$  компенсирует осмотическое давление среды и поддерживает тургор клетки. Причем содержание КСl (которое может превышать ее содержание во внешней среде в десятки, а то и более раз) не мешает работе внутренних органелл, однако при снижении концентрации их работа может нарушиться. Подобная же стратегия обнаружена у некоторых эубактерий - *Salinibacter ruber* и представителей порядка Haloanaerobiales.

Еще одной из возможных защит от повышенного содержания ионов служит особое строение мембраны, так у большинства галофильных бактерий увеличено количество кислых фосфолипидов.

Однако повышенная концентрация солей влияет не только на мембрану, основной проблемой является снижение активности воды (ее доступность для участия в химических процессах). Предотвратить дегидратацию и снижение скорости реакций помогает накопление осмопротекторов (лат. osmoprotector от греч. ὄσμος — давление, толчок и лат. protector — защитник) - низкомолекулярные, осмотически активные, равнозаряженные, чаще всего конечные метаболиты (четвертичные ионы, сахароспирты, аминокислоты, углеводы).

Например, в ризосфере с доминированием представителей рода Halomonas (галофилы запасющие осмопротектор - эктоин), рост корней проростков рапса в условиях повышенной солености увеличивал рост в среднем в 35 раз, что свидетельствует о пользе тесного взаимодействия высших растений и прокариот в условиях засоления почв. (Механизмы выживания микроорганизмов в гиперосмотических условиях)

Так же есть предположения о влиянии белков AscA на снижение проницаемости мембран для ионов, поступающих извне.

Исследование посвящено изучению взаимодействий между грибами и бактериями, способными расти в экстремальных условиях — при высокой солёности, низких температурах и кислой среде. Данные организмы представляют интерес для изучения механизмов адаптации и выживания в неблагоприятных условиях, что может иметь практическое значение для экологии, биотехнологии и медицины.

В ходе работы был исследован гриб, обнаруженный на солёных лимонах в холодильнике. Грибы и бактерии, обнаруженные в экстремальных условиях высокой солёности (~3,6%) и низкого уровня pH (~1), могут образовывать устойчивое симбиотическое сообщество.

Актуальность проводимого исследования обусловлена тем, что в условиях интенсивного изменения климата и экологических проблем, таких как засоление и закисление почв, изучение сообществ микроорганизмов, живущих в экстремальных условиях, может помочь понять механизмы адаптации, которые потом можно будет успешно применять для адаптации культурных растений на территориях с неблагоприятной почвой. К тому же сообщества на основе грибов и бактерий могут применяться для биоремедиации почв и в медицине. Такие знания расширяют наши представления о механизмах жизни в экстремальных экосистемах и могут быть полезны для фундаментальной науки и прикладных разработок.

Цель исследования: определить состав грибного и микробного сообщества, обитающего на солёных лимонах, и сопоставить с основными свойствами жидкой среды обитания.

Задачи:

1. Выделить метагеномную ДНК из образца и среды его обитания.
2. Амплифицировать переменные участки ITS грибов и 16S рРНК бактерий для анализа сообщества.
3. Отчистить ампликоны с помощью магнитных шариков.
4. Оценить состав среды обитания гриба с помощью, лакмуса, спиртового аэрметра, автоматического биохимического анализатора.
5. С помощью секвенирования ампликонов определить видовой состав микробного сообщества.
6. Изучить метаболические особенности и связи между симбионтами.

Объект исследования: симбиотические отношения, помогающие в адаптации экстремофилов.

Предмет исследований: грибы и бактерии, живущие в галофильных, ацидозных, психроактивных условиях. Влияние среды на состав микробиологического сообщества.

Было использовано следующее оборудование и материалы:

Технические устройства и инструменты:

- ДТ-прайм (ДНК-Технология) (ПЦР в реальном времени).
- Флуориметр Qubit 4 (Измерение концентрации ДНК).
- Ламинарные боксы, дозаторы, вортекс, центрифуга и прочее.
- Автоматический биохимический анализатор AU480.
- Секвенатор Illumina MiSeq и 3500xL Applied Biosystems.

Реагенты, буферы и другие вещества:

- DNeasy® PowerSoil® Pro Kit (Германия), (выделение ДНК из образца).
- Праймеры 515F и 806R; ITS3-4.
- ПЦР-смесь «Евроген» qPCR-HS Sybr.
- Лакмус.
- Тест «НИЛПА Ph».
- Показатели электролитного баланса (электроды натриевые, хлорные и др.).
- Агароза (Хеликон, Россия).
- Буфер TAE1x.
- Qubit™ 1X dsDNA HS Working Solution.

## **1. Выделение ДНК.**

Для исследования ДНК была выделена сразу из 4-х образцов.

T1 - образец с пробой наиболее распространенной структуры. Продолговатая пластинка 20мм,15мм с загнутыми концами. Изначально имел молочно-розовый цвет сверху при контакте с воздухом быстро побелел. При механическом воздействии и пребывании на воздухе приобретал отчетливые сине-зеленые участки.

T2 – образец пробы самого крупного тела. Размер порядка 45мм на 17мм края так же загнуты образуя продолговатую чашу с извилинами. Структура немного плотнее, в остальном схожа с образцом T1

T3 – образец, содержащий пробу, имеющую признаки начального этапа развития. Имела вид острова из сгустка беловато-желтого цвета с уплотнением в центре, имеющим структуру похожую на образец T1 и T2.

WL - проба жидкого субстрата, состоящего изначально из лимонного сока, соли. Не фильтрованная, но содержала минимальное количество возможных структур.

Экстракция производилась набором DNeasy® PowerSoil® Pro Kit. Примерно 250 мг каждого образца помещали в пробирки PowerBead Pro Tubes. Далее в них добавляли по 800 мкл буфера CD1. Пробирки помещались в гомогенизатор TissueLyser LT (Qiagen, Германия) на 10 минут и подвергали гомогенизации на максимальной скорости. После этого пробы центрифугировали в центрифуге Eppendorf Minispin (Германия) на 14 000 об/мин 1 минуту.

600 мкл супернатанта перемещали в чистые пробирки объемом 2 мл (Microcentrifuge Tubes). В них добавляли по 200 мкл буфера CD2 и вортиксовали 5 секунд на приборе BioSan Microspin fv-2400 (Латвия). Затем центрифугировали на 14 000 об/мин 1 минуту. 600 мкл супернатанта перемещали в чистые 2 мл пробирки Microcentrifuge Tubes, не захватывая гранулы осадка. В них добавляли 600 мкл буфера CD3 и вортиксовали 5 секунд. 650 мкл лизата помещали в пробирки MB Spin Column и центрифугировали на 14 000 об/мин 1 минуту. Затем удаляли фильтрат и повторяли процедуру, чтобы убедиться, что весь лизат прошёл через фильтр.

Пробирки MB Spin Column аккуратно переносили в чистые 2 мл пробирки Collection Tubes. Добавляли 500 мкл буфера EA в MB Spin Column и центрифугировали на 14 000 об/мин 1 минуту. Фильтрат удаляли, MB Spin Column помещали в те же пробирки. После этого добавляли 500 мкл буфера C5 в MB Spin Column и центрифугировали на 14 000 об/мин 1 минуту.

Фильтрат удалялся и фильтр устанавливался в чистые пробирки Collection Tubes. Центрифугировали на 14 000 об/мин 2 минуты и перемещали MB Spin Column в чистые 1,5 мл пробирки Elution Tubes. Добавляли 50-100 мкл нагретого до X градусов буфера C6 на центр фильтрационной мембраны. Центрифугировали на 14 000 об/мин 1 минуту и удаляли MB Spin Column. Далее днк помещалось в холодильник при X градусов и временно хранилась.

## 2. Real time ПЦР (ПЦР с наблюдением в реальном времени).

ПЦР (полимеразная цепная реакция) — это метод многократного копирования (амплификации) определённого участка ДНК *in vitro* с помощью фермента ДНК-полимеразы. Пример приведен на рисунке 1.

Праймер (primer) — это короткий фрагмент нуклеиновой кислоты, длиной порядка двадцати оснований, который служит стартовой точкой при репликации ДНК.

Для амплификации области кодирующей v4 16 рРНК бактерий был использован буфер MIX 5x и два праймера:

Прямой(F);

515F - 5'-GTGYCAGCMGCCGCGGТАА -3'

Обратный(R)

806R - 5'-GGACTACHVGGGTWTСТААТ-3'

Для амплификации внутренних транскрибируемых спейсеров (Internal Transcribed Spacers, ITS) рибосомной ДНК грибов использовались:

Прямой.

ITS3 - 5'- GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGTCCTCCGCTТАТ -3'

Обратный.

ITS4 - 5'- TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGGATGAAGAACGYA -3'

В обоих случаях к праймерам были добавлены адапторы Illumina 1 и 2 (выделены желтым цветом), чтобы избежать стадии лигирования

Конечный раствор состоял из: 16  $\mu\text{L}$  воды глубокой очистки, 5  $\mu\text{L}$  mix 5x, 2  $\mu\text{L}$  ДНК, 1  $\mu\text{L}$  праймера F, 1  $\mu\text{L}$  праймера R.

Всего было сделано 40 циклов, включающих:

- Денатурация - разделение двухцепочечных молекул ДНК (25 секунд) При 95 °С;
- Отжиг - создание между одноцепочечной нитью ДНК и праймером комплиментарных связей при температуре 54°С (30 секунд);
- Элонгация - синтез второй цепи от 3'-конца праймера при температуре 72°С (30 секунд);
- Фотография промежуточного результата 10 секунд температура по-прежнему 72°С;

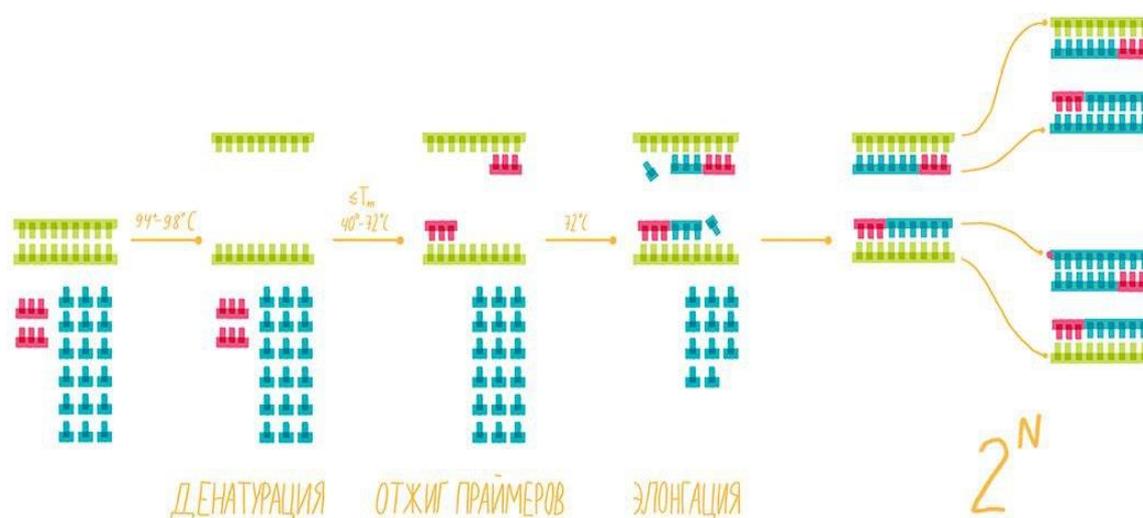


Рисунок 1 - Полимеразная цепная реакция (ПЦР)

\*В конце была проведена “достройка” всех связей при 72°С 3 минуты.

### 3. Электрофорез.

Электрофорез (гр. ἤλεκτρον — янтарь, электричество; φόρος — перенос, движение) — это метод разделения. Скорость миграции зависит от: размера (или молекулярная масса), пространственная конфигурация, структура и электрический заряд, причем эти параметры могут выступать как порознь, так и в совокупности.

В нашем случае мы разделяем молекул ДНК. Дезоксирибонуклеиновая кислота, имеющая отрицательный заряд благодаря фосфатным группам, движется к положительному электроду через гель.

Для приготовления 2% геля использовали агарозу (Хеликон, Россия). Взвесили 1.5 г агарозы, растворили её в 75 мл буфера 1×TAE (буфер, содержащий Трис, уксусную кислоту и ЭДТА). Смесь нагревали до полного растворения агарозы, доводя её до кипения. После полного растворения раствор охлаждали до 50–60°C. Полученный раствор аккуратно заливали в форму, предварительно установив гребёнку для формирования лунок. Давали гелю застыть в течение 30–60 минут. После застывания геля ДНК образцы смешивали с красителем бромистый этидий в глицерине. Для анализа фрагментов ДНК использовали маркер молекулярной массы 2-log (New England Biolabs, США)

#### **4. Очистка ампликонов.**

Для начала магнитные шарики инкубировались до комнатной температуры и были перемешаны на вортексе. Далее они помещались с соотношением 0.9:1 к продукту ПЦР реакции и были смешаны пипетированием и установлены в подставку с неодимовыми магнитами, после их полного осаждения на стенку вблизи магнитов. После аккуратного удаления супернатанта шарики вместе с амплифицированным V4 участком рРНК промывались свежим 80% этиловым спиртом 2 раза. После отбора спирта и частичного высыхания шариков они были промыты 20мл воды для отделения отчищенных продуктов ПЦР.

#### **5. Измерение концентрации ДНК.**

Концентрация ДНК измерялась на флуориметре Qubit 4. Для этого очищенные ампликоны смешивались с 190 мл буфера Qubit™ 1X dsDNA HS Working и помещались в прибор.

#### **Полученные результаты.**

– Была успешно выделена ДНК как бактерий, так и грибов.

Корректность и качество проведённой ампликации подтверждает результат электрофореза, приведенный на рисунке 2, на котором отчетливо видно размер ДНК.

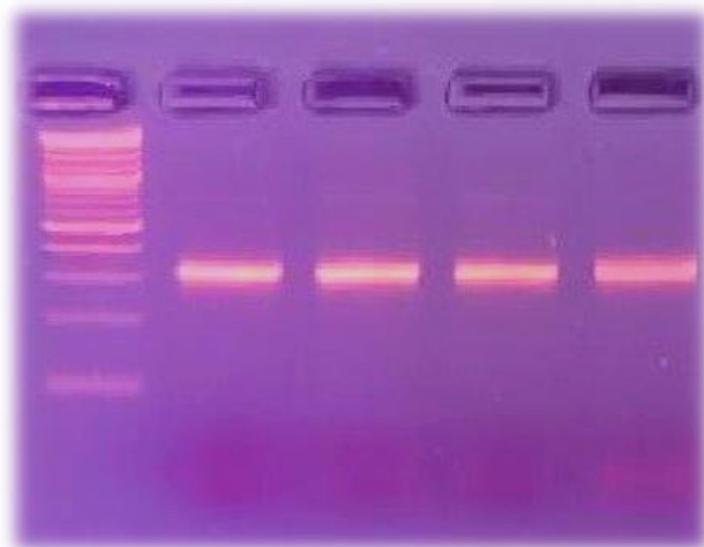


Рисунок 2 2 Электрофорез ампликонов v4 16s рРНК

– Получен результат анализа среды.

Результаты анализа среды на автоматическом биохимическом анализаторе AU480 приведены в таблице 1:

Таблица 1 - Результаты анализа среды

Вещество/Ион	mmol/l
Mg	6.97
GLUC	0.14
K	43.15
Na	633.62
PHOS	4.51
Ca	12.99
Cl	610.1

Можно предположить, что концентрация соли NaCl 610mmol/l (если взять недостаток Cl<sup>-</sup>), в таком случае количество соли 0.61mol/l. Молярная масса хлорида натрия 58.5 g/mol. Значит концентрация соли 35,67 g/l, что равно примерно 3.6%. Из этого можно сделать вывод, что исследуемый образец действительно относиться к галофилам.

– Определена кислота, находящаяся в растворе.

Измеряли кислотности среды с помощью лакмусовой бумаги.

Лакмусовую бумагу опускали в отобранную среду и держали 30секунд. Результат измерения приведен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Результат измерения Ph

\*Ph приблизительно равен 1.

Основная кислота, находящаяся в растворе — это лимонная, дополнительное снижение рН, вероятно, дают метаболиты брожения.

– Определена бактериальная нагрузка среды.

Выполнена оценка бактериальной нагрузки с помощью ПЦР в реальном времени.

Циклы экспоненциальной фазы (точка порогового цикла для экспоненциального роста флуоресценции) приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Циклы экспоненциальной фазы

Образец	Ct v4 16s рНК	Ct ITS
T1	20,3	11,9
T2	19,1	9,7
T3	18,9	8,9
WL	27,3	26,2

\*Ct – номер цикла, на котором флуоресценция ампликонов превысила порог.

Сравнение будет производиться по соотношению, рассчитанному по формуле.

Обозначим начальное количество ДНК в двух образцах как  $N_{01}$  (будет всегда образец WL) и  $N_{02}$  (сравниваемый образец), а пороговые циклы –  $Ct_1$  и  $Ct_2$  соответственно, то отношение начальных количеств можно вычислить по формуле:

$$N_{01} / N_{02} = (1 + E)^{(Ct_2 - Ct_1)}, \quad (1)$$

где E – эффективность амплификации (при 100 % эффективности E = 1, тогда отношение равно  $2^{(Ct_2 - Ct_1)}$ ).

То есть, если один образец достигает порогового уровня на 3 цикла раньше другого, то при идеальной эффективности исходное количество ДНК в этом образце примерно в  $2^3 = 8$  раз выше.

Сравнение результатов ПЦР приведено в таблице 3 и в виде диаграммы на рисунке 4.

Таблица 3 - Сравнение результатов ПЦР

Образец	Бактериальная ДНК	Грибная ДНК
WL	1	1
T1	128	20171
T2	261	92681
T3	274	161369

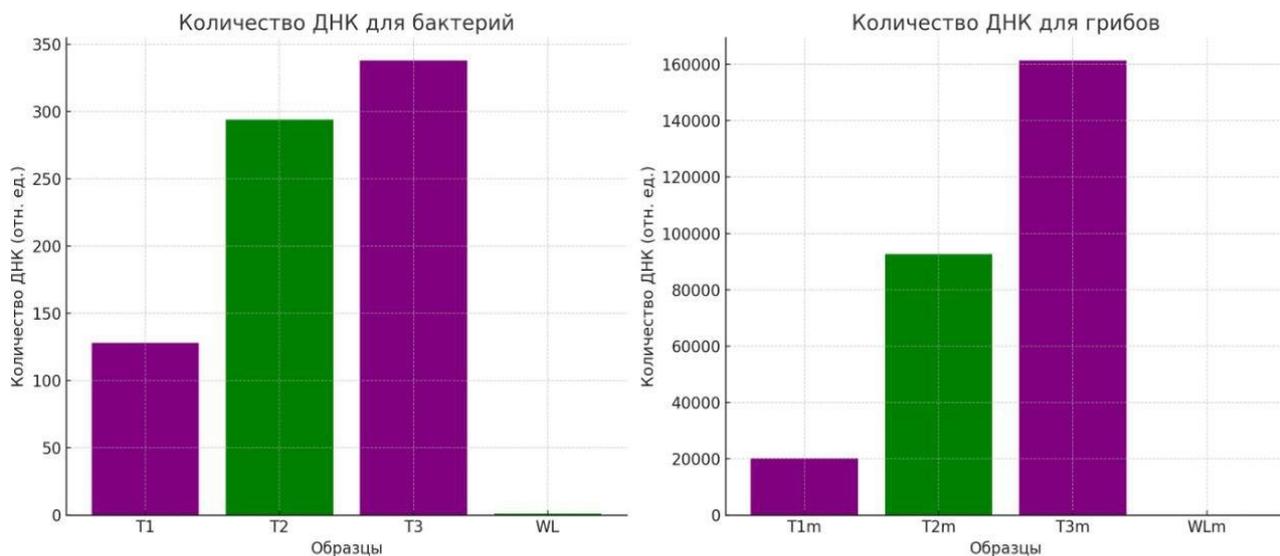


Рисунок 4 - Диаграммы результатов ПЦР

По результатам сразу видно, что симбиоз является важным механизмом для выживания в экстремальных условиях. Возможно, это связано с обменом осмопротекторов.

Особенно удивительна достаточно высокая бактериальная нагрузка с учетом того, что по результатам капиллярного секвенирования по Сэнгеру гриб относится к роду *Penicillium*

– Определение рода гриба с помощью секвенирования по Сэнгеру.

Поскольку мы пока ожидаем результатов метагеномного секвенирования на Illumina, было принято решение параллельно отсеквенировать продукт с праймерами ITS3 и ITS4 (с двух сторон) на капиллярном секвенаторе в компании «Евроген»

На рисунке 5 показана хроматограмма в программе U-gene.

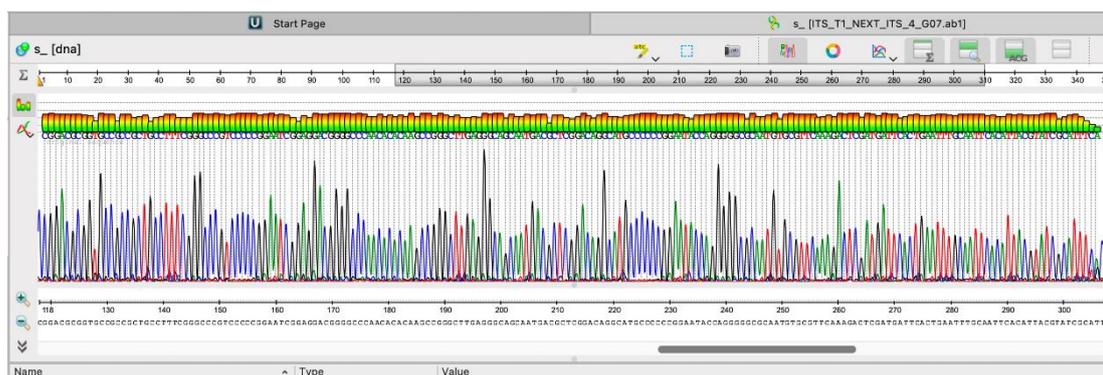


Рисунок 5 - Хроматограмма в программе U-gene

Из рисунка видно, что сиквенс достаточно чистый, что говорит о том, что мажорный гриб точно один. С помощью BLAST (NCBI) было показано, что продукт соответствует ITS гриба *Penicillium italicum*.

Результаты секвенирования приведены на рисунке 6.

**Penicillium italicum strain MA internal transcribed spacer 1, partial sequence; 5.8S ribosomal RNA gene and internal transcribed spacer 2, complete sequence; and 28S ribosomal RNA gene, partial sequence**

Sequence ID: [KU714642.1](#) Length: 530 Number of Matches: 2

Range 1: 203 to 529 [GenBank](#) [Graphics](#) [▼ Next Match](#) [▲ Previous Match](#)

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
599 bits(324)	2e-166	327/328(99%)	1/328(0%)	Plus/Plus
Query 1	TCGTGATACGTAATGTGAATTGCAAATTCAGTGAATCATCGAGTCTTTGAACGCACATTG			60
Sbjct 203	TGC-GATACGTAATGTGAATTGCAAATTCAGTGAATCATCGAGTCTTTGAACGCACATTG			261
Query 61	CGCCCCCTGGTATTCGGGGGGGCATGCCTGTCCGAGCGTCATTGCTGCCCTCAAGCCCGG			120
Sbjct 262	CGCCCCCTGGTATTCGGGGGGGCATGCCTGTCCGAGCGTCATTGCTGCCCTCAAGCCCGG			321
Query 121	CTTGTGTGTTGGGCCCCCTCCGATTCGGGGGACGGGCCCGAAAGGCAGCGCGGCA			180
Sbjct 322	CTTGTGTGTTGGGCCCCCTCCGATTCGGGGGACGGGCCCGAAAGGCAGCGCGGCA			381
Query 181	CCGCGTCCGGTCCCGAGCGTATGGGGCTTTGTACCCCGTCTGTAGGCCCGGCCGGCGC			240
Sbjct 382	CCGCGTCCGGTCCCGAGCGTATGGGGCTTTGTACCCCGTCTGTAGGCCCGGCCGGCGC			441
Query 241	TTGCCGATCAACCCAAATTTTTATCCAGGTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCT			300
Sbjct 442	TTGCCGATCAACCCAAATTTTTATCCAGGTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCT			501
Query 301	GAACCTAAGCATATCAATAAGCGGAGGA		328	
Sbjct 502	GAACCTAAGCATATCAATAAGCGGAGGA		529	

Рисунок 6 - Результаты секвенирования

В ходе работы была успешно выделена метагеномная ДНК из всех исследуемых образцов. Проведённая амплификация ITS участков грибов и 16S рРНК бактерий показала высокую точность и корректность, что было подтверждено результатами электрофореза. Анализ видового состава выявил важность симбиотических взаимоотношений для адаптации в экстремальных условиях, а также преобладание в сообществе грибной ДНК по сравнению с бактериальной. Химический анализ среды показал, что исследуемый объект (обитающий в условиях холодильника), живет в условиях высокой солёности (концентрация NaCl ~3,6%) и крайне низкого уровня pH (~1), что характерно для галофильных и ацидофильных микроорганизмов. Вероятно, симбиотическое взаимодействие между грибами и бактериями связано с обменом осмопротекторов и адаптацией клеточной мембраны, что помогает поддерживать стабильность клеточных структур и функционирование метаболизма.

Полученные данные могут позволить глубже понять механизмы адаптации микроорганизмов к неблагоприятным условиям окружающей среды. Так же полученные знания могут быть использованы для разработки биотехнологических приложений, таких как биоремедиация засоленных и закисленных почв, а также для повышения устойчивости растений в условиях экстремального засоления.

Дальнее исследования будут включать анализ секвенирования для определения микробиологического сообщества и глубокого изучения механизмов адаптации.

На первом этапе исследования были выделены метагеномные образцы ДНК из гриба и его среды обитания с использованием набора DNeasy® PowerSoil® Pro Kit. Для генотипирования гриба применялась амплификация ITS-участка с праймерами ITS3 и ITS4, а

для оценки микробного разнообразия — амплификация V4 участка 16S рРНК с праймерами 515F и 806R. Анализ качественных характеристик ампликонов проводился с помощью электрофореза, а для оценки бактериальной нагрузки использовали ПЦР в реальном времени, которая подтвердила наличие симбиотических бактерий в среде и на грибе. Для генотипирования гриба было использовано секвенирование по Сэнгеру (в компании «Евроген»), метагеномное профилирование сообществ осуществляли на платформе Illumina MiSeq (ЦКП Геномики Сколковского института науки и технологий). Для изучения свойств среды были применены следующие методы: титрование, измерение Ph лакмусом, измерение количества этилового спирта аэрометром, уровня Na<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup> автоматическим биохимическим анализатором.

### **Основные результаты работы:**

1. Успешно выделена метагеномная ДНК из грибных структур и среды обитания.
2. Проведена амплификация участков ITS для грибов и V4 16S рРНК для бактерий. Электрофорез подтвердил корректность и эффективность амплификации; ампликоны подготовлены и переданы на секвенирование на платформе Illumina.
3. Химический анализ среды выявил высокую концентрацию соли (~3,6%) и экстремально низкий уровень pH ~ 1, что подтверждает её принадлежность к экстремальным галофильным и ацидофильным условиям.
4. Секвенирование участка ITS по Сэнгеру показало, что выросший гриб принадлежит роду *Penicillium* (наибольшее совпадение с *Penicillium italicum*, паразитом цитрусовых).
5. С помощью ПЦР в реальном времени была оценена бактериальная нагрузка в среде и на поверхности гриба, которая оказалась достаточно высокой. Таким образом, исследование показало, что симбиотические отношения между грибами и бактериями, вероятно, способствуют адаптации к экстремальной среде.

В ходе исследования было установлено, что грибы и бактерии, обнаруженные в экстремальных условиях высокой солёности (~3,6%) и низкого уровня pH (~1), образуют устойчивое симбиотическое сообщество. Несмотря на то, что выросший в данных условиях гриб принадлежит роду *Penicillium* и с высокой вероятностью может продуцировать антибиотики, как в среде, так и в непосредственном симбиозе с грибом было обнаружено достаточное количество бактерий, что подтверждает значение симбиоза для выживания в экстремальных условиях.

### **Список источников**

1. Экология микроорганизмов: учебник для студентов вузов / под ред. А. И. Нетрусова; Е. А. Бонч-Осмоловская, В. М. Горленко [и др]. – Москва : Академия, 2024. – 272 с.

2. Орен, А. Жизнь при высокой концентрации соли / А. Орен // Прокариоты. Т. 2 : пер. с англ. / М. Дворкин, С. Фальков, Э. Розенберг [и др]. - Нью-Йорк : Спрингер, 2006. – С. 263–282.
3. Манучарова, Н.А. Молекулярно-биологические методы в почвоведении и экологии: учебное пособие / Н. А. Манучарова. – Москва: Университетская книга, 2014. – 68 с.
4. Изучение механизмов функционирования микробно-растительных систем в условиях засоления почвы / А. В. Назаров, Е. С. Корсакова, А. А. Пьянкова [и др] // Вестник Пермского научного центра. – 2017. – № 3. – С. 47–52.
5. Селиванова, Е. А. Механизмы выживания микроорганизмов в гиперосмотических условиях / Е. А. Селиванова // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2012.– № 3. – С. 1-10.

## Влияние spike-белка разных вариантов SARS-CoV-2 на вкусовые рецепторы

*Потеря обоняния и изменение/отсутствие вкуса при заболевании COVID-19 – одни из самых распространенных симптомов. Целью нашей работы является изучение влияния spike-белка SARS-CoV-2 на рецепторы вкусовых клеток человека. Анализ литературы показал, что острые изменения вкуса во время активной стадии заболевания COVID-19 могут объясняться репликацией вируса внутри вкусовых почек и его связыванием с рецептором ACE2 (SARS-CoV-2 и рецептор ACE2 колокализуются во вкусовых клетках II типа). Поэтому логично оценивать связывание фрагментов Spike-белка с ACE2. SARS-CoV-2 подвержен мутациям – с помощью множественного выравнивания мы сравнили 17 разных аминокислотных последовательностей штаммов SARS-CoV-2 разных годов (начиная с 2020 и заканчивая 2024), взятых из базы данных NCBI. Выравнивание было сделано с помощью инструментов Phylogeny.fr, филогенетическое дерево было визуализировано с помощью ItoI (<https://itol.embl.de/>). Спайк белок достаточно сильно мутирует, поэтому взяли наиболее консервативные его участки. Фрагменты гена S-белка, кодирующие консервативные участки, были амплифицированы с помощью ген-специфических праймеров для последующего клонирования в плазмиду pGEX и наработки. Связывание фрагментов с ACE2 будет оценено с помощью гибкого молекулярного докинга.*

**Ключевые слова:** COVID-19, рецепторы, последствия, болезнь, докинг, плазида, спайк-белок, вкус.

В апреле 2020 года ученые из университета Сан-Диего в Калифорнии определили, что потеря обоняния и изменение/отсутствие вкуса при заболевании COVID-19 – одни из самых распространенных симптомов. Такие признаки у инфицированных ковидом пациентов проявляется в 27 раз чаще, чем у заболевших ОРВИ и гриппом. Исследования, проведенные в клинике учебного заведения, показали, что 68% зараженных испытали anosmia, 71% – ageusia.

Исследуемый вопрос актуален т.к., несмотря на то, что этот симптом безболезненный, он причиняет большой дискомфорт. Неспособность различать вкусы и запахи на протяжении длительного периода может привести к неприятным последствиям как в физическом, так и в психологическом плане.

Поскольку нарушения вкуса и запаха характерны даже для легких случаев заболевания, а спайк-белок является поверхностным белком, то логично предположить его участие в

развитии таких нарушений. Целью нашей работы является изучение влияния spike-белка SARS-CoV-2 на рецепторы вкусовых клеток человека.

Для выполнения этой цели необходимо:

1. Выяснить насколько сильно мутирует спайк-белок.
2. Проанализировать как ACE-2 связывается со спайк-белком.
3. Выбрать консервативные участки S-белка и амплифицировать кодирующие их участки гена помощью специфических праймеров.
4. Клонировать их в плазмиду pGEX и выполнить их наработку.
5. Оценить связывание фрагментов с ACE2 с помощью гибкого молекулярного докинга.

В рамках данного проекта мы решали три первые задачи.

Локализация ACE2 и его взаимодействие со спайк-белком SARS-CoV-2 была изучена с помощью анализа литературных данных.

Для оценки степени мутирования спайк-белка SARS-CoV-2 была использована сравнительная геномика. Из базы данных NCBI были взяты 17 разных аминокислотных последовательностей штаммов SARS-CoV-2 разных годов (начиная с 2020 и заканчивая 2024). Множественное выравнивание проводили с помощью программы Phylogeny.fr, филогенетическое дерево было визуализировано в itol.

#### **Этапы процесса:**

1. Перевод аминокислотной последовательности (взятой из NCBI) в FASTA-файл.
2. Копирование этой аминокислотной последовательности и её вставка в приложение Phylogeny.fr.
3. Повторение этих действий ещё 16 раз.
4. Загрузка этих данных в программу и обработка
5. Визуализация дерева в Itol.

S-Белок коронавируса является важной детерминантой проникновения вируса в клетки-хозяева. Вирус нацеливается на клетку и для проникновения связывается своим S (спайковым) - белком с (ACE2) (ангиотензинпревращающим ферментом 2).

Анализ статьи [1] показал, что гибридизационный зонд *in situ* и антитело, специфичное к ACE2, показали наличие ACE2 в субпопуляции \*TRCs (а именно, в клетках II типа вкусовых почек во вкусовых сосочках). Была проведена биопсия грибовидных сосочков пациента с SARS-CoV-2, у которого наблюдалось изменение вкуса. Наличие реплицирующегося SARS-CoV-2 в клетках II типа было подтверждено гибридизацией *in situ*. Таким образом, вкусовые клетки II типа представляют собой потенциальный портал для проникновения SARS-CoV-2 в полости рта.

В статье с помощью иммунофлуоресцентного окрашивания (ИФС) было обнаружено, что ACE2 экспрессируется совместно с PLCβ2, маркером и обязательной молекулой передачи сигнала в ТРК II типа. Обнаружение активно реплицирующегося SARS-CoV-2 в PLCβ2-содержащих клетках указывает на то, что вирус имеет прямой путь в ТРК через ACE2 на клетках II типа. Прямое инфицирование клеток II типа не объясняет, почему вкусы, не транслируемые клетками II типа (т.е. соленый и кислый), страдают при COVID-19. Одна из возможностей - инфицирование с помощью механизмов, не зависящих от мембранно-связанного ACE2. За счет них и можно объяснить опосредованную инфекцией потерю или aberrantное восприятие соленого и кислого вкуса.

\*TRC содержат механизм для различения пяти прототипических вкусов. Один, несколько или все вкусы могут быть изменены (дисгевзия) или отсутствовать (агевзия) из-за SARS-CoV-2.

С помощью сравнительной геномики было проанализирована степень изменчивости аминокислотной последовательности спайк-белка SARS-CoV-2. Филогенетическое дерево представлено на рис.1. Из него видно, что белок достаточно изменчив, и аминокислотные последовательности S-белка штамма 2023 года сильно отличаются от исходных (например, у штамма WMI32926). Поэтому для анализа взаимодействия с ACE2 нужно было выбрать наиболее консервативные участки. Они были выбраны с помощью сравнительной геномики, а кодирующие их участки генов были амплифицированы с помощью ПЦР с геноспецифическими праймерами.

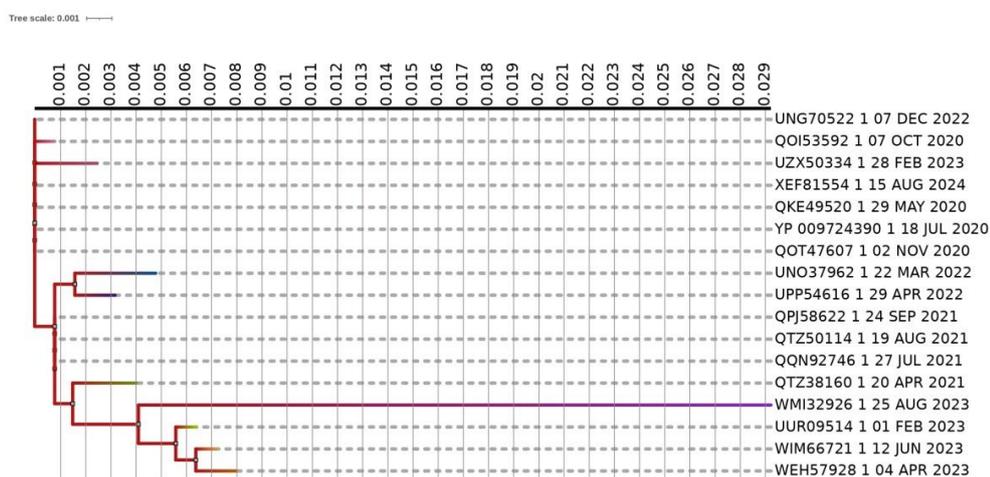


Рисунок 1 - Филогенетическое дерево аминокислотных последовательностей spike-белка разных штаммов коронавируса SARS-CoV-2

Слева мы можем увидеть номер последовательности в PDB и дату её публикации. Сверху цифрами отмечена длина линии, иными словами, насколько сильно удалось продвинуться данной мутацией и насколько она была успешной.

### **Выводы:**

1. С помощью филогенетического анализа было показано, что S-белок достаточно сильно мутирует, поэтому для исследования связывания с ACE2 нужно брать наиболее консервативные его участки.

2. Колокализация вируса SARS-CoV-2, маркера вкусовых клеток II типа и рецептора ACE2 свидетельствует о репликации вируса внутри вкусовых почек, что может объяснять острые изменения вкуса во время активной стадии заболевания COVID-19.

3. Были выбраны консервативные фрагменты аминокислотной последовательности S-белка и амплифицированы кодирующие их участки гена.

### **Заключение.**

Изменение вкуса является одним из самых распространенных симптомов при заболевании COVID-19. Поскольку нарушения вкуса и запаха характерны даже для легких случаев заболевания, а спайк-белок является поверхностным белком, то мы предположили его участие в развитии таких нарушений. Эта работа также показывает, что пролиферация вкусовых стволовых клеток у выздоравливающих пациентов может занять несколько недель, чтобы вернуться к состоянию до COVID-19, что дает гипотезу о хроническом нарушении вкусовых ощущений, сообщения о котором появляются в медицинской литературе.

Далее мы планируем выбрать консервативные участки S-белка и амплифицировать кодирующие их участки гена помощью специфических праймеров., клонировать их в плазмиду pGEX и выполнить их наработку. И ещё оценить связывание фрагментов с ACE2 с помощью гибкого молекулярного докинга.

### **Список источников**

1. Human Type II Taste Cells Express Angiotensin-Converting Enzyme 2 and Are Infected by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) / Máire E Doyle, Ashley Appleton, Qing-Rong Liu [et al] // The American Journal of Pathology. – 2021. – № 191 (9). – С. 1511-1519. – DOI 10.1016/j.ajpath.2021.05.010.

2. Wolsan, Mieczyslaw. Role of feeding specialization in taste receptor loss: insights from sweet and umami receptor evolution in Carnivora / Mieczyslaw Wolsan, Jun J Sato // Chemical Senses. – 2022. – Vol. 47. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36433799/>.

3. The Pathogenesis of COVID-19-Related Taste Disorder and Treatments / J. Wang, R. Liu, H. Ma [et al] // The Journal of Dental Research. – 2023. - № 102 (11). – С. 1191-1198. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37729625/>.

4. Human Taste Cells Express ACE2: a Portal for SARS-CoV-2 Infection / Máire E Doyle, Ashley Appleton, Qing-Rong Liu [et al] // bioRxiv : [сайт]. – URL: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.04.21.440680v1>.

### **Метагеномный анализ проб воды и кернов из скважин месторождений нефти**

*Для исследования метагеномного состава микробных сообществ нефтяных скважин был оптимизирован протокол выделения общей ДНК из проб скважинной жидкости, отобранной в процессе бурения. Выделение ДНК из кернов, отобранных при бурении другой скважины, оказалось неудачным. Качество и концентрация выделенной ДНК были оценены электрофоретически и спектрофотометрически. На основе полученной ДНК подготовлены ампликоны V4 участка гена 16S рРНК для последующего секвенирования, что позволит изучить микробное разнообразие и его роль в процессах, связанных с добычей нефти.*

**Ключевые слова:** *метагеном, нефтяные скважины, археи, метаногены, 16S секвенирование*

Месторождения нефти играют значительную роль в формировании глобального потепления, поскольку являются потенциальными источниками метана — одного из ключевых парниковых газов. Метаногенные археи представляют собой уникальную группу микроорганизмов, способных синтезировать метан из простых неорганических субстратов, таких как водород, оксид углерода и уксусная кислота. Эти организмы, называемые метаногенами, играют важную роль в глобальном цикле углерода.

Изначально считалось, что метаногенные археи обитают исключительно в экстремальных условиях, таких как горячие источники или глубоководные гидротермы. Однако с развитием молекулярно-генетических методов, в особенности таких как метагеномный анализ, стало очевидно, что метаногенные археи распространены гораздо шире. Их можно обнаружить в любых анаэробных условиях, где присутствуют необходимые субстраты. В последние годы метаногенные археи были выявлены и в местах нефтяных месторождений, что делает их изучение особенно актуальным для понимания микробных процессов, связанных с добычей, хранением и переработкой нефти и нефтепродуктов.

Одним из наиболее эффективных методов исследования микробного разнообразия различных объектов является метагеномика, которая позволяет анализировать генетический материал непосредственно из образцов окружающей среды. В данной работе мы объединили метагеномный подход, образцы из нефтяных скважин и интерес к метаногенным археям для изучения микробного состава нефтяных скважин. Наша цель — изучить микробное разнообразие образцов, полученных из нефтяных скважин, а также, при обнаружении

метаногенных архей, определить их распространенность и функциональную роль в данных экосистемах.

Кто такие метаногенные археи? Что они из себя представляют? Каким образом влияют на глобальное потепление? Как связаны с месторождениями нефти? Как их изучают и их роль в составе микробиомов – вопросы, которые меня заинтересовали.

Метан, несмотря на свой значительный вклад в парниковый эффект, играет важную роль в биотехнологической промышленности. Он используется, например, для производства биогаза — экологически более чистой альтернативы традиционным видам топлива, таким как бензин. Биогаз получают путем переработки органических отходов с участием метаногенных архей в специальных биореакторах. Дальнейшее изучение свойств этих микроорганизмов открывает новые перспективы для их применения в различных отраслях, включая энергетику и утилизацию отходов.

Актуальность темы исследования обусловлена ее значительным прикладным потенциалом для нефтяной промышленности. Понимание процессов, происходящих в экосистемах нефтяных скважин, включая влияние микроорганизмов на процессы происхождения, переработки и хранения нефти и нефтепродуктов, позволит более точно прогнозировать изменения в составе и свойствах нефти, а также разрабатывать стратегии для повышения эффективности добычи и переработки, а также утилизации. Изучение состава и роли метаногенных архей в этих процессах может открыть новые возможности для применения биотехнологических методов, направленных на снижение экологического воздействия и оптимизацию производственных процессов. Таким образом, данное исследование способно внести вклад как в фундаментальную науку, так и в практические аспекты нефтяной отрасли.

В нашей работе мы планируем провести метагеномное исследование проб кернов и скважинной жидкости месторождений нефти, что позволит узнать больше как о метаногенных археях, так и о микробном разнообразии этих нефтяных скважин.

Изучение микроорганизмов в различных средах, тесно связанных с залежами нефти, таких как морские глубины, подземные резервуары, почвы и водоемы, загрязненные нефтепродуктами. Ученые исследуют микробные сообщества, их роль в биодegradации углеводородов, адаптацию к экстремальным условиям и взаимодействие с окружающей средой. Например, исследователи из Института морской микробиологии Общества Макса Планка, Центра исследования экологии моря MARUM и Вагенингенского университета под руководством Гюнтера Вегенера (Gunter Wegener), отправляли аппараты для сбора проб к местам выхода нефти в Мексиканском заливе на глубине около трех километров.

Расширение знаний о микробном разнообразии, адаптационных механизмах и роли микроорганизмов в экстремальных средах обитания, что способствует пониманию сложных экологических связей и кооперации в микробных консорциумах.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки биомаркеров, позволяющих оценивать состояние нефтяных месторождений, прогнозировать изменения в микробных сообществах и контролировать процессы биоразложения нефти.

Объект исследования: пробы воды (скважинной жидкости) и кернов из скважин двух разных месторождений нефти.

Предмет исследования: метагеномный анализ проб кернов и скважинной жидкости месторождений нефти при помощи секвенирования V4 участка гена 16S субъединицы рРНК.

Цель исследования: изучение микробного разнообразия в пробах воды и кернов из скважин месторождений нефти с использованием метагеномного анализа, а также выявление специфических микроорганизмов, участвующих в биодegradации нефти.

Задачи исследования:

1. Проанализировать доступную литературу и собрать информацию о метаногенных археях и метагеномном анализе.
2. Выделить общую ДНК из предоставленных образцов кернов и скважинной жидкости.
3. Визуально оценить качество выделенной ДНК при помощи агарозного геле-электрофореза.
4. Измерить концентрацию ДНК, выделенной из образцов керна и скважинной жидкости.
5. Провести реакцию амплификации участка V4 субъединицы 16S рРНК (получение ампликонов).
6. Оценить качество полученных ампликонов при помощи агарозного геле-электрофореза и измерить концентрации ДНК.
7. Очистить полученные ДНК фрагменты 16S рРНК при помощи магнитных частиц.

Гипотеза исследования заключается в оптимизации протокола выделения ДНК из проб, содержащих нефтепродукты, а также в проведении метагеномного анализа микробного состава проб кернов и скважинной жидкости. Это позволит оценить вклад метаногенных архей в микробное разнообразие проб скважинной жидкости из нефтяных месторождений.

Структура работы: работа состоит из введения, теоретической части, практической части, заключения, списка литературы.

Метаногенные микроорганизмы и метагеномика.

На сегодняшний день не обнаружено других организмов, способных образовывать метан, кроме архея (домен *Archaea*). Археи — это прокариотические организмы, то есть организмы не имеющие ядра. Однако, в отличие от других прокариот, таких как бактерии, они имеют ряд отличий: другое строение клеточной стенки и мембраны, а также особенности структуры рибосом и генома. [1]

На сегодняшний день описано более 150 видов метаногенов. Все известные метаногенные археи являются анаэробными организмами, хотя их чувствительность к кислороду может варьироваться. Метаногенные археи — единственный биологический источник метана, основного компонента природного газа на земле, которые производят метан на заболоченных территориях, в коровьих желудках и человеческом кишечнике. Метан — наиболее экологически значимый углеводород, выступающий в роли парникового газа [2]. По расчетам ученых, при отсутствии парниковых газов в атмосфере Земли средняя температура атмосферы составляла бы примерно 19°C. Благодаря парниковому эффекту средняя температура у поверхности Земли +15°C [3].

Месторождения нефти представляют собой классические анаэробные условия, которые часто содержат необходимые субстраты для метаногенеза, такие как  $H_2$ ,  $CO_2$  и  $CH_3COOH$ . Это делает их благоприятной средой для обитания метаногенных архей. Таким образом, нефтяные месторождения могут служить естественными резервуарами для изучения метаногенов и их роли в биогеохимических циклах.

Метагеномика — это один из разделов геномики (науки о совокупности генов), посвященный изучению всего генетического материала (метагенома) сообщества микроорганизмов, присутствующих в испытуемом образце. Объектами изучения метагеномики могут являться любые популяции микроорганизмов, обитающих в воде, почве, организме животного, человека или любой другой среде. Главной целью метагеномики является получение и анализ всех возможных геномов для установления видового состава и метаболических взаимосвязей в сообществе [4]. Чаще всего для изучения метагеномов используют секвенирование, то есть побуквенное прочтение участков ДНК, полученных из образца. Для удешевления таких исследований чаще всего секвенируют не полный геном всех микроорганизмов образца (полногеномное секвенирование), а только определенный гипервариабельный участок, с помощью которого можно типировать род, а иногда и видовую принадлежность микробов — это называется ампликонное секвенирование. Обычно таким участком становится V4 участок гена 16S субъединицы рРНК [5].

В 2019-м году были найдены новые метаногенные археи *Methanoliparia*, которые способны превращать длинноцепочечные алканы в составе нефти в метан в анаэробных условиях (образовывать метан и углекислый газ, разлагая нефть) [6]. Авторы подчеркивают,

что *Ca. Methanoliparia* часто обнаруживается в нефтяных резервуарах и может быть ключевым агентом в преобразовании длинноцепочечных алканов в метан [6]. Метаногенные археи часто находятся в симбиозе с другими микроорганизмами, способными окислять нефть. Поэтому ученые активно изучают гены ферментов, которые делают возможным окисление алканов не только у метаногенных архей, но и у их симбионтов.

Таким образом, метаногенные микроорганизмы не единственные представители в метагеномных образцах, связанных с нефтью. В таких образцах можно обнаружить несколько маркерных организмов, окисляющих соединения нефти, — как минимум три. Например, в ходе моего исследования можно было бы выявить такие микроорганизмы, как археи *Argoarchaeum* и *Syntrophoarchaeum*, которые вступают в симбиоз с бактериями для переработки этана и короткоцепочечных алканов. При этом мы предполагаем, что *Methanoliparia* будет обнаружена в большей степени, так как, вероятно, этот микроорганизм играет важную роль в образовании газа из нефти в океанах. Образцы ДНК этой археи пока находили только в местах скопления нефти [6].

В нашей работе ожидается получение метагеномного профиля образцов скважинной жидкости, полученной при бурении месторождений нефти и обнаружение маркерных для нефтяных месторождений микроорганизмов.

Методы исследования включают: сбор, анализ и систематизация теоретических источников, выделение ДНК коммерческими наборами, проверку качества выделенной ДНК при помощи агарозного гель-электрофореза, измерение концентрации ДНК в образце при помощи флуориметрии, проведение полимеразной цепной реакции с детекцией в реальном времени, очистку полученных фрагментов 16S рРНК при помощи магнитных частиц.

Для сбора, анализ и систематизация теоретических источников я использовала такие интернет ресурсы, как: NPLUS1, Биомолекула, NCBI DATABASE, Cyberleninka, Pub med, Microbius, Национальная Ассоциация нефтегазового сервиса.

Подготовка рабочего места к выделению ДНК включала в себя следующие шаги:

С помощью бактерицидной лампы и облучателя – рециркулятора воздуха обеззараживают помещение. Рабочие поверхности протирают 70% спиртом для создания стерильной обстановки. Работа производилась в нитриловых перчатках, маске, халате и сменной обуви. Инструменты: пинцет, скальпель, чашка Петри, лед, маркер, настольная миницентрифуга ИКА G-L (ИКА, Германия), лабораторный гомогенизатор TissueLyser LT (Qiagen, Германия), 70% этиловый спирт, набор для выделения ДНК DNeasy® PowerSoil® Pro Kit 250 (Qiagen, Германия), автоматические дозаторы со сменными одноразовыми наконечниками (Eppendorf, Германия).

Выделение ДНК из исследуемых образцов проводилось с помощью коммерческого набора реактивов ДНК DNeasy® PowerSoil® Pro Kit 250 в соответствии с протоколом производителя.

Дополнительную очистку ДНК производили при помощи набора Monarch® DNA Gel Extraction Kit #T1020L (NEB, Англия) по протоколу производителя.

*Данные образцов кернов и скважинной жидкости:*

**К1** Проба керна К1. Проект СО2, 13D. Номер скважины 1Т. Дата отбора 05.05.2023. Геометка отсутствует. Глубина, м 1657,70 – 1657,73.

**К2** Проба керна К2. Проект СО2 ненасыщенный, 28D. Номер скважины 1Т. Дата отбора 06.05.2023. Геометка отсутствует. Глубина, м 1724,09 – 1724,10.

**№1** Проба скважинной жидкости №1. Проба раствора на выходе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 2643м. Геолог Чукин В.А.

**№2** Проба скважинной жидкости №2. Проба раствора на входе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 2643м. Геолог Чукин В.А.

**№3** Проба скважинной жидкости №3. Проба раствора на выходе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 2900м. Геолог Чукин В.А.

**№4** Проба скважинной жидкости №4. Проба раствора на входе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 2900м. Геолог Чукин В.А.

**№5** Проба скважинной жидкости №5. Проба раствора на выходе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 3300м. Геолог Чукин В.А.

**№6** Проба скважинной жидкости №6. Проба раствора на входе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 3300м. Геолог Чукин В.А.

**№7** Проба скважинной жидкости №7. Проба раствора на выходе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 3400м. Геолог Чукин В.А.

**№8** Проба скважинной жидкости №8. Проба раствора на входе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 3400м. Геолог Чукин В.А.

**№9** Проба скважинной жидкости №9. Проба раствора на выходе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 3541м. Геолог Чукин В.А.

**№10** Проба скважинной жидкости №10. Проба раствора на выходе. Месторождение им. О.А. Московцева Куст № 5 Скважина № 1780Г. Глубина забора 3541м. Геолог Чукин В.А.

#### **Агарозный гель электрофорез.**

В микроволновой лабораторной печи плавил смесь агарозы и 1X TAE буфера (40 mM Трис, 20 mM уксусной кислоты, 1 mM EDTA) не давая смеси сильно вскипеть. Плотность геля: 1,5% для образцов ДНК и 2% для ампликонов. Далее добавляли в смесь бромистый этидий, тщательно размешивали, охлаждали до 50-60 °С и заливали эту смесь в специальную форму

для формирования геля с лунками для нанесения образца. После полного застывания геля исследуемые образцы смешивали с красителем для нанесения и вносили в лунки геля при помощи дозатора. Проводим электрофорез при 100V напряжении в течении около 20 минут. Когда краситель, помещаемый в лунки в начале эксперимента, достигает конца геля, электрофорез останавливаем. Визуализируем полосы ДНК в геле на трансиллюминаторе (УФ излучение). Интенсивность окраски полос красителя и расстояние этих полос от начала геля дает представление о примерной концентрации молекул в образце и их качестве. Метод электрофореза позволяет определить относительную молекулярную массу исследуемых молекул, для этого в крайнюю лунку помещаем набор маркеров молекулярной массы (2-log, NEB), который должен полностью покрывать диапазон молекулярных масс исследуемой системы.

Измерение концентрации ДНК в образцах проводили при помощи флуориметрии проводили с использованием прибора Qubit (Thermo, США) с использованием оригинального набора реагентов Qubit DNA HS Assay Kit 1X (Thermo, США) по протоколу производителя.

Полимеразная цепная реакция (ПЦР) в реальном времени для оценки эффективности реакции амплификации проводили с использованием набора 5X qPCRmix-HS SYBR (Евроген, Россия) и праймеров 515F Next и 806R Next, которые выделяют гипервариабельный участок V4 16S рРНК и содержат адаптеры для Illumina. Детекцию циклов амплификации проводили при помощи прибора “ДТпрайм” (ДНК-технология, Россия).

#### **Выделение ДНК из образцов.**

Мы начали с выделения ДНК из образцов кернов (**К1** и **К2**), которые имели довольно твердую структуру, плохо разламывались и имели нефтяной запах, что неудивительно, так как это куски породы, полученные при бурении нефтяной скважины. В обоих образцах кернов была обнаружена слишком низкая концентрация ДНК (too low), что может свидетельствовать либо об отсутствии микроорганизмов в полученных образцах, либо об их крайне низком содержании (выходящем за пределы чувствительности метода выделения ДНК), либо о недостаточной гомогенизации образцов. Чтобы исключить последний вариант, мы оптимизировали процедуру гомогенизации, увеличив время обработки образцов до 20 минут (стандартное время — 10 минут), 40 минут и 60 минут. Однако это не привело к желаемому результату, и мы перешли к выделению ДНК из образцов скважинной жидкости.

При выделении ДНК из образцов скважинной жидкости (образцы № 1-10) мы изначально получили хорошие концентрации ДНК, хорошо подходящие для дальнейшей реакции ПЦР. Однако при амплификации с использованием этой ДНК мы столкнулись с проблемой ингибирования полимеразной цепной реакции (ПЦР) в некоторых образцах, по-видимому, из-за органических веществ, содержащихся в нефтепродуктах. Для решения этой проблемы мы провели дополнительную очистку ДНК с помощью специализированного

набора Monarch® DNA Gel Extraction Kit (NEB, Англия) в соответствии с рекомендациями производителя. Концентрация проб с очищенной ДНК представлена в Таблице 1., а визуальная оценка этой ДНК при помощи агарозного гель-электрофореза представлена на Рисунке 1.

Таблица 1 - Концентрация общей ДНК, выделенной из образцов скважинной жидкости

Идентификатор образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Концентрация нг/мкл	47,7	11,4	4,21	14,6	10,4	14,3	10,7	10,1	4,71	11

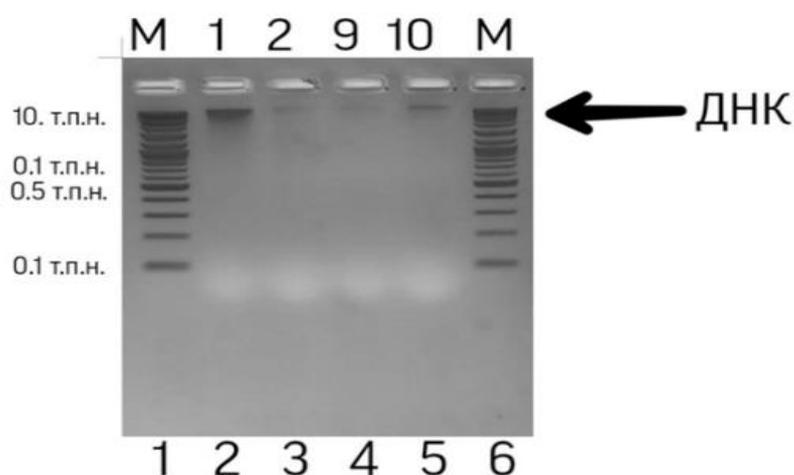


Рисунок 1 - Агарозный гель-электрофорез выделенной ДНК из проб скважинной жидкости: сверху над дорожками указаны номера проб, соответствующие номерам проб скважинной жидкости

#### Амплификация участка V4 16S рРНК.

Для амплификации участка V4 16S рРНК мы провели полимеразную цепную реакцию (ПЦР) используя стандартные праймеры 515F и 806R, содержащие адаптеры Illumina, и предназначенные для дальнейшего секвенирования на платформе Illumina; SYBR mix, содержащий ДНК-полимеразу, субстраты и краситель SYBR (Евроген, Россия); и дистиллированную воду.

Несмотря на отсутствие показаний флуориметрии для образцов кернов, мы решили попробовать провести ПЦР с ДНК, выделенной из этих проб. Мы предположили, что в образцах могло содержаться крайне малое количество ДНК, которое не удалось детектировать

прибором, но которого могло быть достаточно для амплификации и детекции на амплификаторе. Однако ПЦР подтвердила полное отсутствие пригодной для дальнейшей работы ДНК в образцах кернов.

Реакция амплификации с ДНК, выделенной из скважинной жидкости, оказалась более успешной. Для того чтобы оценить пригодность образцов ДНК для дальнейшей подготовки ампликонов, мы сначала провели ПЦР в реальном времени. Это позволило определить степень загрязнения образцов ингибиторами полимеразной реакции. Только для проб 1, 6, 8, 9 и 10 мы видели на графиках, что реакция амплификации прошла успешно (Таблица 2). А остальные пробы мы решили переочистить, потому что они были загрязнены ингибиторами реакции ПЦР и мы не получили продукта реакции. При каждой реакции амплификации мы ставили контроль не содержащий образцов ДНК с водой качества MQ, для оценки загрязненности реактивов и окружающей среды.

Таблица 2 - Пороговое число циклов (Ct) амплификации, при котором флуоресценция превышает пороговое значение

Идентификатор образца	1	6	8	9	10
Номер цикла (Ct)	12,0	25,8	15,8	15,3	14,0

Чистоту полученных ампликонов мы также оценили визуально при помощи агарозного гель-электрофореза (Рисунок 2).

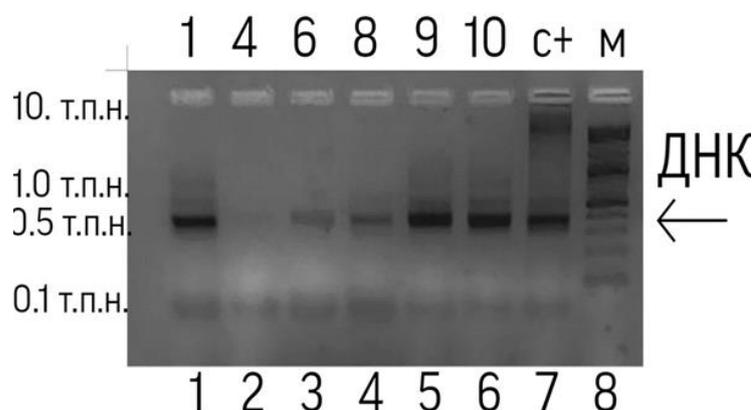


Рисунок 2 - Агарозный гель-электрофорез полученных ампликонов V4 16S рРНК. Сверху над дорожками указаны номера проб, соответствующие номерам проб скважинной жидкости. С+ – контрольная ДНК известного образца

После переочистки ДНК мы снова ставили реакцию ПЦР в реальном времени, пороговые значения которой представлены в таблице 3. Очистку полученных фрагментов 16S рРНК - ампликонов проводили при помощи магнитных частиц AMPure XP (Beckman, США) по рекомендациям производителя.

Таблица 3 - Пороговое число циклов (Ct) амплификации, при котором флуоресценция превышает пороговое значение для переочищенных образцов ДНК. С+ - контрольная ДНК известного образца, С- - контроль на MQ воду, без ДНК

Идентификатор образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	С+	С-
Номер цикла (Ct)	12,2	15,2		13,6	14,3	14,1	14,6	14,2	15,9	14,2		

Полученные из переочищенной ДНК ампликоны очищали от других акторов реакции амплификации на магнитных частицах Ampure XP (Beckman, США) по протоколу производителя и измеряли из концентрации (Таблица 4).

Таблица 4 - Измерения концентрации ампликонов в образце скважинной жидкости при помощи флуориметрии (Qubit), после очистки на магнитных частицах

Идентификатор образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	С-1 (контроль на воду)	С-2 (контроль на воду)
Концентрация нг/мкл	16,0	4,12	0,23	16,4	8,24	12,1	16,5	15,5	16,1	17,0	too low	too low

По данным концентраций видно, что почти все пробы кроме пробы 3 пригодны для дальнейшей пробоподготовки к секвенированию, так как их концентрации больше 1 нг/мкл, а минус-контроли не содержат ДНК в принципе.

Дальнейшие библиотеки для секвенирования из полученных нами ампликонов были подготовлены коллегами и отправлены на секвенирование в ЦКП Геномики Сколтеха (Казань, Россия).

В ходе работы нами были успешно выполнены все этапы подготовки образцов к секвенированию: выделение общей ДНК из образцов кернов и скважинной жидкости, проведение электрофореза в агарозном геле, амплификация участка V4 гена 16S рРНК, измерение концентраций ДНК и очистка полученных фрагментов с использованием

магнитных частиц. Подготовленные библиотеки для секвенирования были переданы в ЦКП Геномики Сколтеха для проведения высокопроизводительного секвенирования. ДНК из образцов керна получить не удалось.

На следующем этапе, после получения данных секвенирования, мы планируем провести биоинформатический анализ, включающий оценку качества прочтений, определение таксономического состава микробных сообществ и анализ альфа-разнообразия с использованием специализированных инструментов, таких как QIIME. Эти данные позволят глубже понять структуру и функциональный потенциал микробных сообществ, ассоциированных с нефтяными скважинами, и могут стать основой для дальнейших исследований в области микробной экологии и биотехнологии.

Изучение метаногенных архей и микробиомного разнообразия нефтяных скважин в будущем может позволить выявить специфические микроорганизмы, участвующие в биодegradации нефти, а также поспособствует поиску маркерных микроорганизмов, характерных для нефтяных образцов. Это открывает новые возможности для понимания роли микробных сообществ в трансформации углеводов, разработки биотехнологических методов повышения нефтеотдачи и биоремедиации, а также создания инструментов для мониторинга состояния нефтяных месторождений на основе биомаркеров.

#### Список источников

1. Малюков, В. П. Исследования разработки Нанкайского газогидратного месторождения / В. П. Малюков, И. С. Токарев // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – Т. 19, № 1. – С. 127-136. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-razrabotki-nankayskogo-gazogidratnogo-mestorozhdeniya> (дата обращения: 19.02.25).

2. Маньшина, А. Микробиологи нашли новый класс архей в сибирских содовых озерах / А. Маньшина // N + 1 : [сайт]. – 2017. – URL: <https://nplus1.ru/news/2017/05/31/metarchaea> (дата обращения: 13.02.2025).

3. Conrad, R. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved / R. Conrad // Environmental Microbiology. - 2009. - Rep. 1. – С. 285-292.

4. Король, И. Л. Атмосферный метан и глобальный климат / И. Л. Кароль, А. А. Киселев // Природа. 2004. – № 7. С. 1-10.

5. Возможности и перспективы применения методов массивного параллельного секвенирования в диагностике и эпидемиологическом надзоре за инфекционными болезнями / Е. В. Васильева, А. А. Кузнецова, И. С. Шатров [и др] // Вестник Российской военной медицинской академии. – 2021. – № 2 (74). – С. 208-213. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-i-perspektivy-primeneniya-metodov-massivnogo-sekvenirovaniya>

parallelnogo-sekvenirovaniya-v-diagnostike-i-epidemiologicheskom-nadzore-za (дата обращения: 12.02.25).

6. Ястребова, С. Археи научились добывать метан из нефти без использования кислорода / С. Ястребова // N + 1 : [сайт]. - 2019. - URL: <https://nplus1.ru/news/2019/08/21/methanoliparia> (дата обращения: 16.02.25).

### Изучение ответа растений гречихи *Fagopyrum tataricum* на раневый стресс

Не так давно ученые обнаружили, что не только животные, но и растения способны обмениваться друг с другом сигналами. Эти сигналы чаще всего имеют химическую природу и испускаются растениями, подвергающимися воздействию стресса. Наиболее распространенной моделью является раневый стресс. Целью нашей работы стало изучение химических сигналов, испускаемых растениями гречихи татарской (*Fagopyrum tataricum*) и анализ экспрессии генов стресса у растений, подвергшихся раневому стрессу и соседних растений. Эксперимент проводили в трех отдельных грубобоксах. На первом этапе были проанализированы спектры экстрактов и в одном грубобоксе было зарегистрировано два пика, не встречающихся ни в контроле, ни в двух других экспериментальных группах. Для того, чтобы ответить на вопрос о причине их появления мы проанализируем экспрессию генов у растений из контрольной группы и всех трех экспериментальных групп. На втором этапе был оптимизирован протокол выделения РНК. Для выделения РНК использовали 3 набора. Для тестового выделения было взято 3 образца из одного грубобокса. Из каждой пробирки была выделена РНК каждым из трех китов. С помощью измерения концентрации РНК и ее целостности (RIN) на спектрофлуориметре Qubit 4.0, а также электрофоретической оценки качества было установлено, что RNA-Xtrac Plus - лучший набор для выделения РНК из гречихи. Этим набором была выделена РНК из оставшихся образцов.

**Ключевые слова:** *Fagopyrum tataricum*, ранневый стресс, экспрессия генов, реакция на стресс.

Не так давно ученые обнаружили, что не только животные, но и растения способны обмениваться друг с другом сигналами. Эти сигналы, по-видимому, чаще всего имеют химическую природу и испускаются растениями, подвергающимися воздействию того или иного стресса. Наиболее распространенной моделью является раневый стресс. Ранее в нашей школе с помощью хромато-масс-спектрометрии было показано, что разные растения по-разному реагируют на раневый стресс, кроме того, они сообщают разные сигналы соседним растениям. Обнаружение у растений коммуникативной системы открывает возможность выращивания и/или изменения свойств целевых растений без использования гербицидов, поэтому особенный интерес представляет исследование коммуникации у сельскохозяйственных растений.

**Актуальность.** Растения подвергаются воздействию многих факторовы стресса, и чтобы они могли выживать им необходимо разработать систему коммуникаций. Для коммуникации между собой растения используют летучие органические соединения.

Гречиха является важным сельскохозяйственным растением и при этом новым объектом изучения, поскольку данных про исследования ее реакции на стресс нет.

Целью нашей работы стало изучение химических сигналов, испускаемых растениями гречихи татарской (*Fagopyrum tataricum*) и анализ экспрессии генов стресса у растений, подвергшихся раневому стрессу и соседних растений.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить спектры экстрактов листьев гречихи, полученные с помощью хромато-масс-спектрометрии (LC/MS), и сравнить ответы растений из разных грубоксов;
2. Оптимизировать протокол выделения РНК для последующего секвенирования транскриптомов;
3. Оценить качество и целостность выделенной РНК.

#### **Методы работы.**

Эксперимент проводили в трех отдельных грубоксах. В каждом случае для статистической достоверности были взяты по три растения.



Рисунок 1 - Гречиха в грубоксе

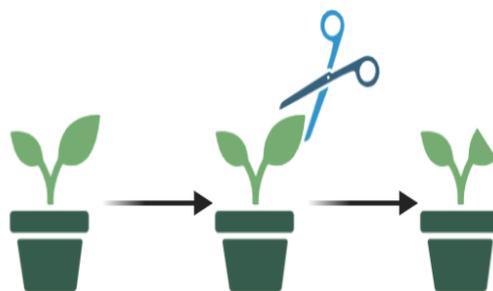


Рисунок 2 - Схема раневого стресса

На первом этапе были проанализированы спектры экстрактов. Результаты спектрометрии представлены на рисунке 4.

Для того, чтобы ответить на вопрос о причине их появления мы проанализируем экспрессию генов у растений из контрольной групп и всех трех экспериментальных групп. Но

поскольку гречиха является сложным объектом для работы с нуклеиновыми кислотами, необходимо оптимизировать протокол выделения РНК.

Для выделения РНК использовали 3 набора: Spin-XT (производитель Genes2me, Китай), BioFlux (производитель Bioer, Китай), RNA-Xtrac Plus (производитель BioinnLabs, Россия). Для тестового выделения было взято три образца из одного грубобкса (R1,2,3). Из каждой пробирки была выделена РНК каждым из трех китов в соответствии с протоколами фирм-производителей.

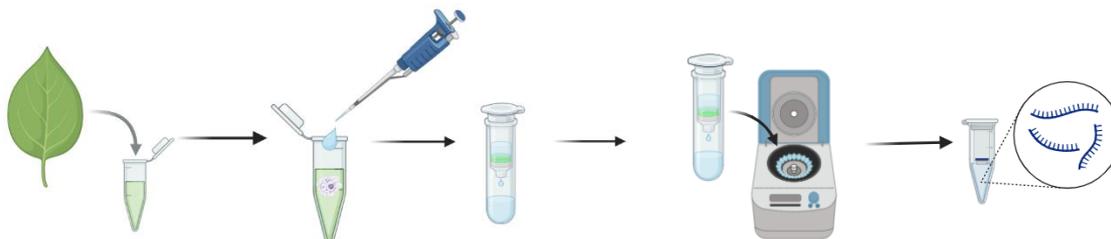


Рисунок 3 - Схема выделения РНК

Набор RNA-Xtrac-Plus (производитель BioinnLabs, Россия), все процедуры проводили в стерильном боксе Bio-San:

1. приготовили лизис-буфер (Лизис-буфер (1мл) +активатор(10мкл));
2. каждый образец (по одному листу из каждой пробирки) перетерли в предварительно простерилизованной ступке и смешивали с 300мкл Лизис-буфера. Поместили в спин-колонку, помещенную в собирающую пробирку;
3. добавили 350 мкл связывающего буфера;
4. центрифугировали 30с 12000g;
5. добавили промывочный буфер 1. Центрифугировали 30 с 12000g. Слили содержимое собирающей пробирки (повторили 2 раза);
6. добавили промывочный буфер 2. Центрифугировали 30с 12000g. Слили содержимое собирающей пробирки (повторили 2 раза);
7. центрифугировали 2 мин 12000g (для удаления остатков промывочного буфера);
8. выбросили собирающую пробирку с содержимым;
9. поместили спин колонку в пробирку для элюции;
10. добавили 40 мкл элюирующего буфера;
11. инкубировали 2 мин.;
12. центрифугировали 2 мин 12000g;
13. убрали образцы РНК в морозильник.

Набор Spinxt (производитель Genes2me, Китай), все процедуры проводили в стерильном боксе Bio-San:

1. растерли образец в ступке в 1 мл подогретого до 60 градусов буфера R-EB (предварительно добавьте 3% бета-меркаптоэтанола);
2. перенесли смесь в 1.5 мл пробирку, инкубировали 20 минут при 60: перемешивали смесь каждые 5 минут на вортексе;
3. центрифугировали пробирку на максимальной скорости 5 минут и перенесли супернатант в новую пробирку;
4. добавили 0.5 объема этанола, перемешали на вортексе 5 секунд;
5. инкубировали при комнатной температуре 2 минуты;
6. перенесли смесь на колонку и центрифугировали образец на максимальной скорости 1 минуту, выбросили собирательную пробирку с проскоком;
7. перенесли колонку в чистую собирательную пробирку, добавили 700 мкл PW1 и центрифугировали на максимальной скорости 1 минуту, убрали проскок;
8. поместили колонку обратно в собирательную пробирку, добавили 700 мкл PW2 и центрифугировали на максимальной скорости 1 минуту, убрали проскок. Повторили дважды;
9. перенесли колонку обратно в собирательную пробирку и центрифугировали на максимальной скорости 2 минуты;
10. поместили колонку в 1,5 мл пробирку, добавили 100 мкл буфера AE, инкубировали 3 минуты для лучшего растворения РНК, центрифугировали на скорости 6000 об/мин 1 минуту при комнатной температуре;
11. убрали образцы РНК в морозильник.

Набор BioFlux (производитель Bioer, Китай), все процедуры проводили в стерильном боксе Bio-San:

1. растерли образец в ступке в 550 мкл подогретого до 60 градусов буфера R-EB (предварительно добавьте 2% бета-меркаптоэтанола);
2. перенесли смесь в 1.5 мл пробирку, инкубировали 20 минут при 60: перемешивали смесь каждые 5 минут на вортексе;
3. центрифугировали пробирку на максимальной скорости 5 минут и перенесли супернатант в новую пробирку;
4. добавили 0.5 объема этанола, перемешали на вортексе 5 секунд;
5. инкубировали при комнатной температуре 2 минуты;
6. перенесли смесь на колонку и центрифугировали образец на максимальной скорости 1 минуту, выбросили собирательную пробирку с проскоком;

7. перенесли колонку в чистую собирательную пробирку, добавили 500 мкл wash buffer и центрифугировали на максимальной скорости 1 минуту, убрали проскок (два раза);

8. перенесли колонку обратно в собирательную пробирку и центрифугировали на максимальной скорости 2 минуты;

9. поместили колонку в 1,5 мл пробирку, добавили 100 мкл буфера АЕ, инкубировали 3 минуты для лучшего растворения РНК, центрифугировали на скорости 6000 об/мин 1 минуту при комнатной температуре;

10. убрали образцы РНК в морозильник.

Далее была измерена целостность РНК на спектрофлуориметре Qubit 4.0 с помощью набора RNA IQ и ее концентрация с помощью набора RNA HS broad range (Thermo Scientific, США). Результаты представлены в таблице 2.

Измерение концентрации РНК:

1. приготовили рабочий раствор путем разведения RNA HS реагент 1:200 в буфере (на 1 образец 200 мкл буфера и 1 мкл HS реагент, на 12 образцов 2,4 мл буфера и 12 мкл RNA HS);
2. развели стандарты (190 мкл рабочего раствора + 10 мкл стандарта);
3. перемешали на вортексе;
4. развели РНК (195 мкл рабочего раствора + 5 мкл РНК);
5. перемешали на вортексе;
6. откалибровали прибор стандартами и измерили концентрацию РНК.

Измерение целостности РНК:

1. приготовили рабочий раствор путем разведения RNA IQ реагент 1:200 в буфере (на 1 образец 200 мкл буфера и 1 мкл IQ реагент, на 12 образцов 2,4 мл буфера и 12 мкл RNA HS);
2. развели стандарты (190 мкл рабочего раствора + 10 мкл стандарта);
3. перемешали на вортексе;
4. развели РНК (195 мкл рабочего раствора + 5 мкл РНК);
5. перемешали на вортексе;
6. откалибровали прибор стандартами и измерили концентрацию РНК.

После измерения концентрации и целостности был проведен электрофорез в 2% геле агарозы в буфере ТАЕ (трис-ацетат-ЭДТА). Электрофорез проводили в течение 40 минут при напряжении 100В с использованием источника питания Эльф (ДНК-Технология, Россия) и камеры Хеликон (Россия). В качестве маркера молекулярного веса (М) использовали маркер 1kb plus (New England Biolabs, США). Результаты электрофореза приведены на рисунке 5.

## Результаты исследования.

По результатам спектрометрии выяснилось, что гречиха реагирует по-разному на раневый стресс. У растений грюбоксов 1 и 3 реакция одинаковая, а у растений гречихи 1 грюбокса реакция отличается.

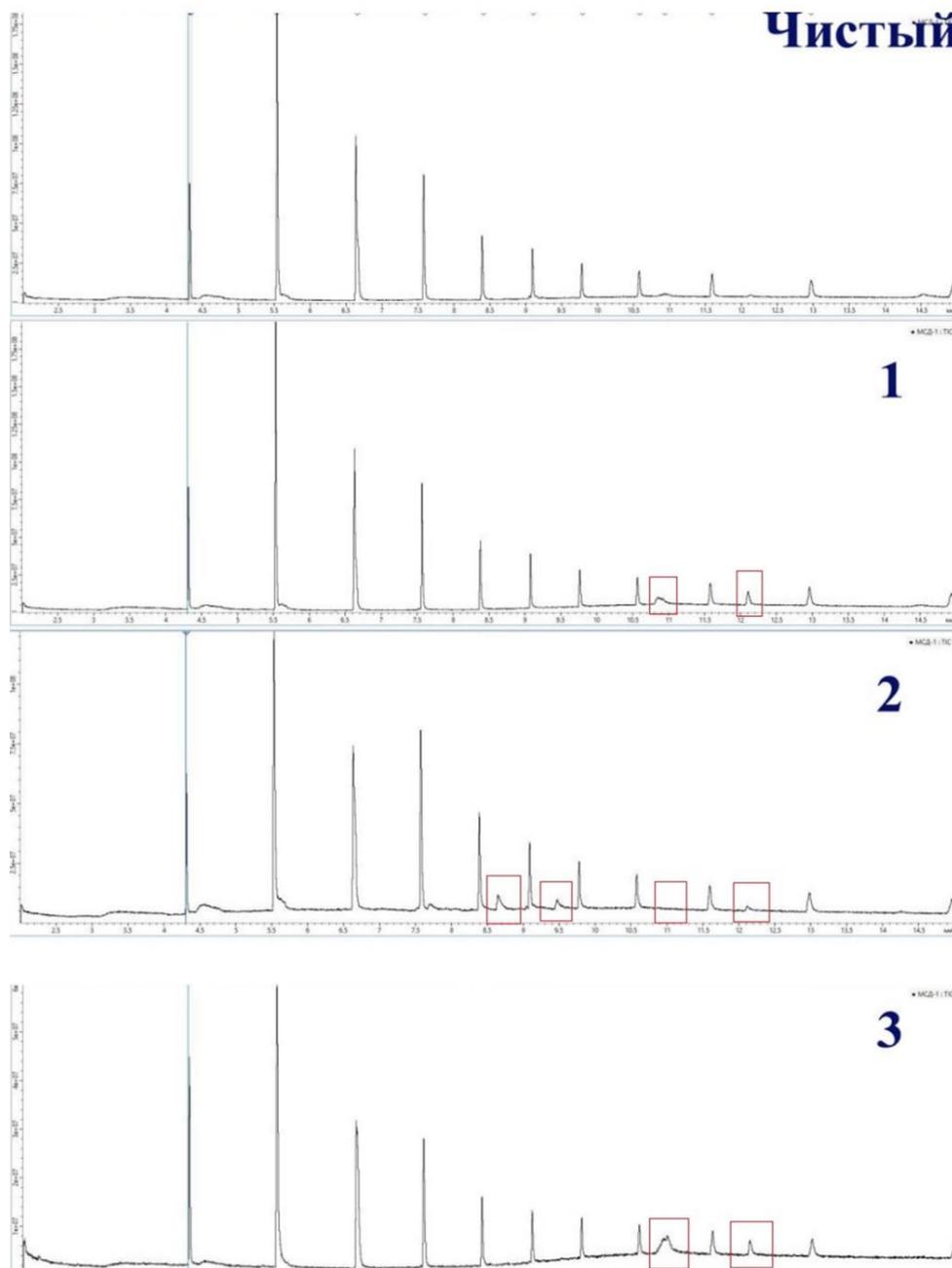


Рисунок 4 - Результат спектрометрии

Таблица 1 - Концентрация РНК (нг/мкл) и ее целостность (RNA Integrity Number; IQ index)

	BioFlux	BioFlux IQ (RIN)	RNA-Xtrac Plus	RNA-Xtrac Plus IQ (RIN)	Spin-XT	Spin-XT IQ (RIN)
1 образец	11,6	0,996	22,5	10	15,7	6,28
2 образец	39,6	5,7	25,7	9,9	263	4,9
3 образец	23,7	—	64,1	10	285	5,5

Из таблицы 1 видно, что наибольшая концентрация была у РНК, выделенной набором Spin-XT, но RIN был выше всего у РНК, выделенной набором RNA-Xtrac Plus.

BioFlux                      RNA-Xtrac Plus                      Spin-XT  
 1    2    3    М    1    2    3    1    2    3



Рисунок 5 - Результат электрофоретического разделения образцов РНК. Названия наборов и номера образцов указаны над дорожками

По результатам электрофореза выяснилось, что РНК, выделенная при помощи набора BioFlux, почти полностью разрушена. В образце РНК, выделенный набором Spin-XT содержится и целая, и разрушенная РНК. РНК, выделенная набором RNA-Xtrac Plus, не содержит фракции разрушенных нуклеиновых кислот и имеет максимальную целостность. Результаты электрофореза полностью соответствуют результатам измерения целостности РНК на Qubit-4 набором RNA IQ (чем выше цифра, тем больше целой РНК в образце).

Мы уже выделили РНК из оставшихся образцов для дальнейшего секвенирования. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Концентрации и целостность РНК, выделенных набором RNA-Xtrac Plus.

Гроубокс	Образец	Концентрация (нг/мкл)	RIN
1	1	22,5	10
	2	25,7	9,9
	3	64,1	10
	4	8	
	5	40	
2	1	9,1	
	2	12	
	3 (н)	37,1	10
	4		
	5	23	10
3	1 (н)	44,1	10
	2 (н)	51	10
	3	74	10
	4	91	10
	5		

**Выводы.**

1. Гречиха по-разному реагирует на стресс.
2. Оптимальным для выделения РНК является набор RNA-Xtrac Plus. Мы уже выделили РНК из оставшихся образцов для дальнейшего секвенирования.
3. Были выделены РНК для секвенирования транскриптомов

Автор выражает огромную благодарность Василисе Липилиной за помощь в снятии спектров и лаборатории геномики растений Института общей генетики РАН за предоставленный материал.

#### Список источников

1. Roychoudhury, Aryadeep. Omics approach to manage abiotic stress in cereals / Aryadeep Roychoudhury, Tariq Aftab, Krishnendu Acharya. – Springer, 2022. – 615 с.
2. Jasmonic acid: a key frontier in conferring abiotic stress tolerance in plants / Ali Raza, Sidra Charagh, Zainab Zahid [et al] // *Plant Cell Reports*. – 2021. – Vol. 40. – С. 1513–1541.
3. Vij, Shubha. Emerging trends in the functional genomics of the abiotic stress response in crop plants / Shubha Vij, Akhilesh K Tyagi // *Plant Biotechnology Journal*. – 2007. – № 5(3). – С. 361–380.
4. Genome-wide identification of MAPK gene family members in *Fagopyrum tataricum* and their expression during development and stress response / Yingjun Yao, Haixia Zhao, Lei Sun [et al] // *BMC Genomic*. – 2022. – № 23 (1). – С. 96. – DOI 10.1186/s12864-022-08293-2.
5. Verma, Vivek. Plant hormone-mediated regulation of stress responses / Vivek Verma, Pratibha Ravindran, Prakash P Kumar // *BMC Plant Biolog*. – 2016. – № 16. – С. 86. – DOI 10.1186/s12870-016-0771-y.
6. Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants : a review / Marjanossadat Hosseinifard, Szymon Stefaniak, Majid Ghorbani Javid [et al] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2022. – № 23 (9). – С. 5186. – DOI 10.3390/ijms23095186.
7. Hazen, Samuel P. Gene expression profiling of plant responses to abiotic stress / Samuel P Hazen, Yajun Wu, Joel A Kreps // *Functional and Integrative Genomics*. – 2003. - № 3 (3). – С. 105–111. – DOI 10.1007/s10142-003-0088-4.
8. Systematic analysis and expression profiles of TCP gene family in Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) revealed the potential function of FtTCP15 and FtTCP18 in response to abiotic stress / Mingfang Yang, Guandi He, Qiandong Hou [et al] // *BMC Genomic*. – 2022. – № 23 (1). – С. 415. – DOI 10.1186/s12864-022-08618-1.
9. Ubiquitous aspartic proteinase as an actor in the stress response in buckwheat / Gordana S Timotijević, Mira Dj Milisavljević, Svetlana R Radović [et al] // *The Journal of Plant Physiology*. – 2010. – № 167 (1). – С. 61–68. - DOI 10.1016/j.jplph.2009.06.017.
10. Genome-Wide Identification of MAPK, MAPKK, and MAPKKK Gene Families in *Fagopyrum tataricum* and Analysis of Their Expression Patterns Under Abiotic Stress / Zhen Wang, Song Yan, Weichao Ren [et al] // *Frontiers in Genetics*. – 2022. – № 13. – С. 894048. – DOI 10.3389/fgene.2022.894048.

## Исследование экспрессии гена регулятора формирования биоплёнок *cSgD*

*Формирование биопленок патогенными бактериями делает их труднодоступными для антибиотиков и приводит к развитию хронических заболеваний. Так, например, энтеро-и уропатогенные штаммы кишечной палочки (EPEC и UPEC) вызывают хронические колиты и циститы, а UPEC является причиной развития 80% инфекций мочеполового тракта. Чтобы снизить эффективность образования биопленок, нужно детально понимать механизмы регуляции процесса переключения бактерий от подвижности к адгезии. Escherichia coli является самой изученной бактерией, и для нее известно множество факторов транскрипции и регуляторных РНК, в той или иной степени вовлеченных в этот процесс, но мы все еще не понимаем, какой фактор запускает процесс формирования биопленок. Основной целью проекта является исследование влияния условий роста бактериальной культуры на экспрессию гена белка-регулятора формирования биопленок *CsgD*. В ходе работы были удалены остатки ДНК из выделенной РНК, выравнена концентрация всех проб РНК, проведена обратная транскрипция, ПЦР в реальном времени и электрофорез. Основываясь на полученных данных, был сделан вывод о влиянии условий на экспрессию гена белка-регулятора образования биоплёнок.*

**Ключевые слова:** *бактериальные биопленки, кишечная палочка, CsgD, экспрессия.*

Биоплёнка — множество (конгломерат) микроорганизмов, расположенных на какой-либо поверхности, клетки которых прикреплены друг к другу. Обычно клетки погружены в выделяемое ими внеклеточное полимерное вещество (внеклеточный матрикс) — слизь. Термин «биоплёнка» определяется по-разному, но в целом можно сказать, что биоплёнка — обладающее пространственной и метаболической структурой сообщество (колония) микроорганизмов, расположенных на поверхности раздела среды и погружённых во внеклеточный полимерный матрикс. Обычно биоплёнки образуются в контакте с жидкостями при наличии необходимых для роста веществ. Поверхность, к которой прикреплена биоплёнка, может быть, как неживой (камни), так и поверхностью живого организма (стенки кишечника, зубы). Считается, что 95-99 % всех микроорганизмов в естественной среде существует в виде биоплёнки. Микроорганизмы образуют биоплёнку под влиянием ряда факторов, включая клеточное распознавание мест прикрепления к поверхности и наличие питательных или агрессивных веществ, кислорода и т. д. В режиме образования биоплёнки клетка меняет своё поведение, что обуславливается регуляцией экспрессии генов.

В последние два десятилетия биопленки являются “горячей” темой для многих исследователей, и было изучено огромное количество потенциальных регуляторов их формирования. Изучение регуляции процесса перехода кишечной палочки от подвижности к биопленкам, помимо чисто фундаментальных знаний, может помочь ученым и врачам в разработке направленной терапии хронических заболеваний и борьбе с устойчивостью к антибиотикам.

Цель исследования: оценить экспрессию гена регулятора формирования биоплёнок cSgD в различных условиях роста культуры E-Coli.

#### **Задачи:**

1. Подготовить образцы РНК E-Coli K-12MG1655, растущих в свободноживущих условиях, условиях, приближенных к состоянию внутри организма хозяина, и биоплёнок.
2. Провести обратную транскрипцию с праймером к гену cSgD.
3. С помощью ОТ-ПЦР в реальном времени, оценить экспрессию гена cSgD в разных условиях.
4. Оценить качество полученных ампликонов с помощью электрофореза.

Методы и материалы исследования.

#### 1. Подготовка образцов РНК:

– 6 проб свободноживущих РНК E. coli (2 выращенных на глюкозе (gluc), 2 выращенных на галактуронате (gal), 2 выращенных на глюкуронате (gln)) - 30°C и аэробные условия;

– 6 проб РНК E. coli, растущих в лабораторных условиях 37°C и аэробные условия (2 выращенных на глюкозе (gluc), 2 выращенных на галактуронате (gal), 2 выращенных на глюкуронате (gln));

– 6 проб из биоплёнок РНК E. coli 37°C анаэробные условия (2 выращенных на глюкозе (gluc), 2 выращенных на галактуронате (gal), 2 выращенных на глюкуронате (gln)).

Для удаления остатков ДНК к 10µl (микролитров) каждой пробы добавляется 1µl DNase и 1µl 10xBuffer. Далее пробирки инкубируют 30 мин. при температуре 37°C, а затем ещё 10 мин. при температуре 70°C для инактивации фермента. Таким образом удаляются ДНК и в пробирках остаются только РНК.

Для измерения концентрации проб на спектрофлуориметре qubit с помощью Qubit™ RNA Assay Kit смешивается 190µl красителя, разбавленного 1:200 в рабочем буфере, и 2µl проб, и меряется концентрация РНК. Все концентрации затем выравниваются относительно друг друга с помощью стерильной воды.

Стерильная вода готовится с добавлением DEPC (Диэтилпиракарбонат). Вода, обработанная DEPC (и, следовательно, свободная от РНКазы), используется при работе с РНК для снижения риска дегградации РНК РНКазами. Вода обычно обрабатывается 0,1% DEPC в

течение не менее 2 часов при температуре 37 °С, а затем автоклавируется (не менее 15 мин.) для инактивации следов DEPC.)

2. Обратная транскрипция с праймером гена *cSgD*.

Берётся 5µl пробы РНК к ним добавляется 4µl (4 пмоль) праймера к гену *csgD* и 6µl DEPC-воды, далее пробирки держатся 10 мин. при температуре 70°C для плавления РНК и праймеров. Далее делаем микс: 1µl DEPC-воды +2µl dNTPs+5µl buffer, добавляем к пробам, потом добавляем и 2µl обратной транскриптазы M-MuLV, затем держим 40 мин. при температуре 39°C и ещё 5 мин. при температуре 85°C для инактивации.

3. ПЦР в реальном времени.

Пробы для ПЦР 20µl: 2µl-пробы кДНК, полученной на предыдущем этапе, 4µl-mix Евроген, 0,4µl -primer F, 0,4µl -primer R, 13,2µl- DEPC-воды.

4. Электрофорез полученных ампликонов.

Делается пласт из 2% агарозы с выемками для проб (всего 19, 17 проб +2 маркеры молекулярного веса для оценки полученных результатов), в выемки заливаются пробы, заранее подкрашенные красителем, и пласт погружается в буфер TAE (Т-Трис, Ph~8,9; А-ацетат; Е-EDTA-хелатор двухвалентных катионов). Включается ток, и так как ДНК заряжены отрицательно, они будут двигаться по направлению к плюсу.

Полученные результаты.

1. Образцы были подготовлены, и концентрация в них р-РНК была померена и выровнена относительно 30 Gal 2 в первых двух случаях, и относительно bf Gal2, bf Gln 1 в биоплёнках.

Таблица1 - Концентрация РНК проб в свободноживущих условиях. После концентрация была выровнена относительно Gal 2

<i>30Gluc</i>	<i>30Gluc</i>	<i>30Gal</i>	<i>30Gal</i>	<i>30Gln</i>	<i>30Gln</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
286	530	317	196	299	215
<i>µg/mL</i>	<i>µg/mL</i>	<i>µg/mL</i>	<i>µg/mL</i>	<i>µg/mL</i>	<i>µg/mL</i>

Таблица 2 - Концентрация РНК проб в лабораторных условиях. После концентрация была выровнена относительно Gal 2

<i>Gluc</i>	<i>Gluc</i>	<i>Gal</i>	<i>Gal</i>	<i>Gln</i>	<i>Gln</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
1500 <i>µg/mL</i>	1620 <i>µg/mL</i>	1224 <i>µg/mL</i>	1269 <i>µg/mL</i>	1497 <i>µg/mL</i>	852 <i>µg/mL</i>

Таблица 3 – Концентрация РНК проб из биоплёнок. После концентрация была выровнена относительно Gal 2 и Gln 1. \*В пробе Gluc 1 концентрация была слишком маленькая (<1 µg/mL)

<i>bf</i>	<i>bf</i>	<i>bf</i>	<i>bf</i>	<i>bf</i>	<i>bf</i>
<i>Gluc</i>	<i>Gluc</i>	<i>Gal</i>	<i>Gal</i>	<i>Gln</i>	<i>Gln</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
—	22,7 <i>µg/mL</i>	13,3 <i>µg/mL</i>	8,8 <i>µg/mL</i>	8,8 <i>µg/mL</i>	15,2 <i>µg/mL</i>

2. Была проведена обратная транскрипция.
3. Был проведен ОТ-ПЦР в реальном времени. Результаты были сравнены.

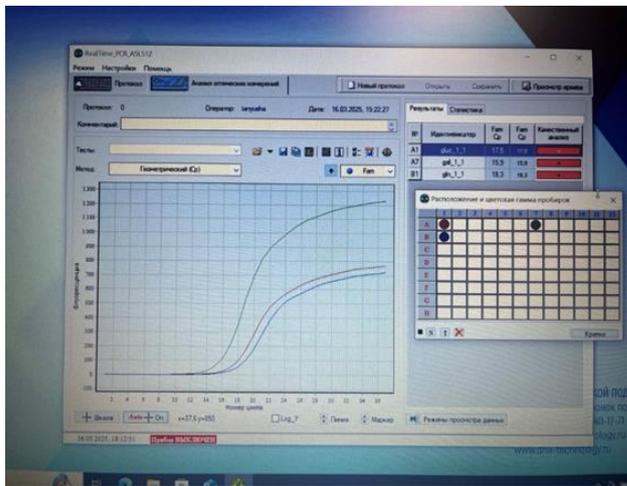


Рисунок 1 - ПЦР для проб в свободноживущих условиях



Рисунок 2 - Циклы, когда начался синтез

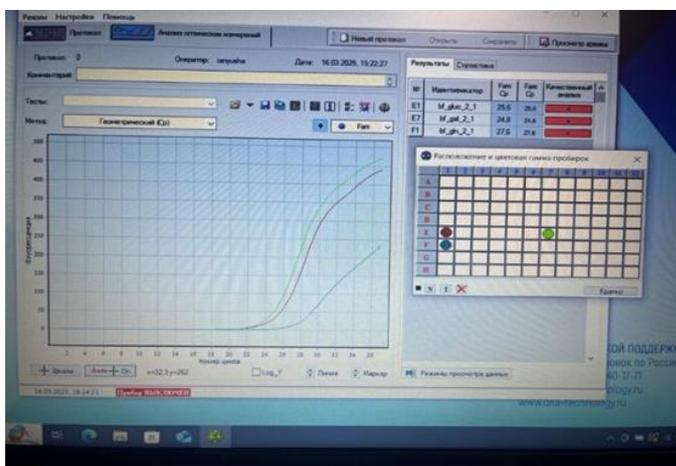


Рисунок 3 - ПЦР для проб внутриорганизменных условий



Рисунок 4 - Циклы, когда начался синтез

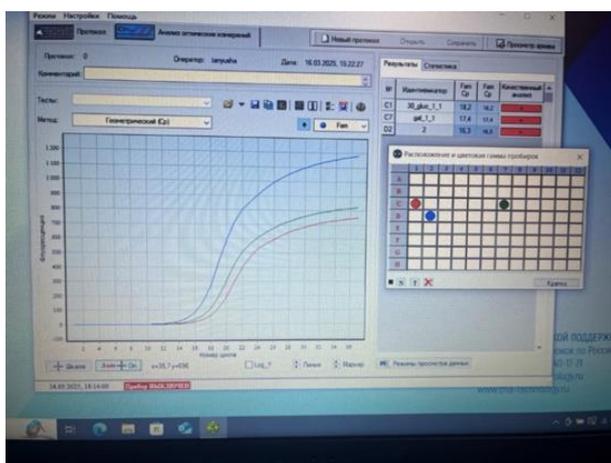


Рисунок 5 - ПЦР для проб из биоплёнок

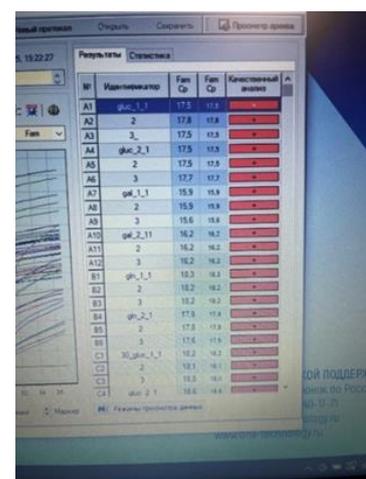


Рисунок 6 - Циклы, когда начался синтез

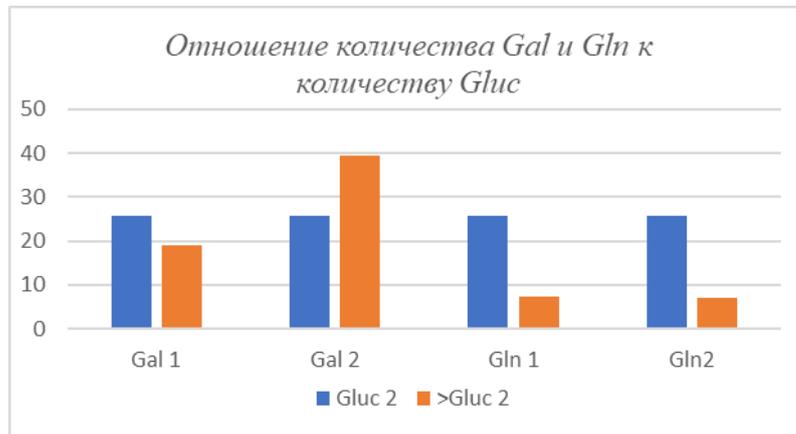


Рисунок 7 - Для проб из биоплёнок

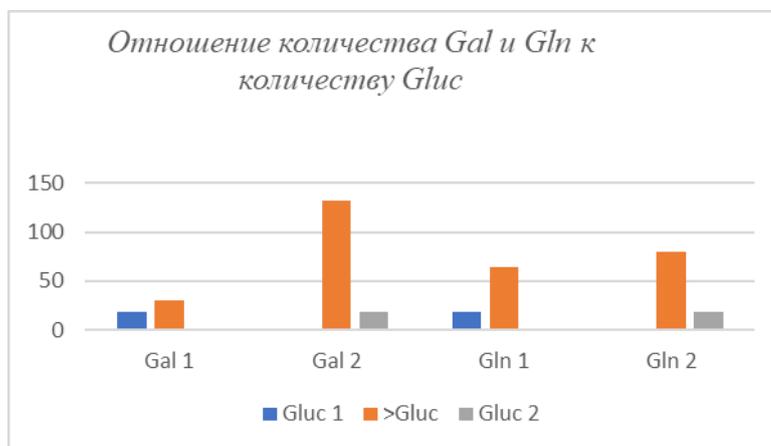


Рисунок 8 - Для проб из свободноживущих условий

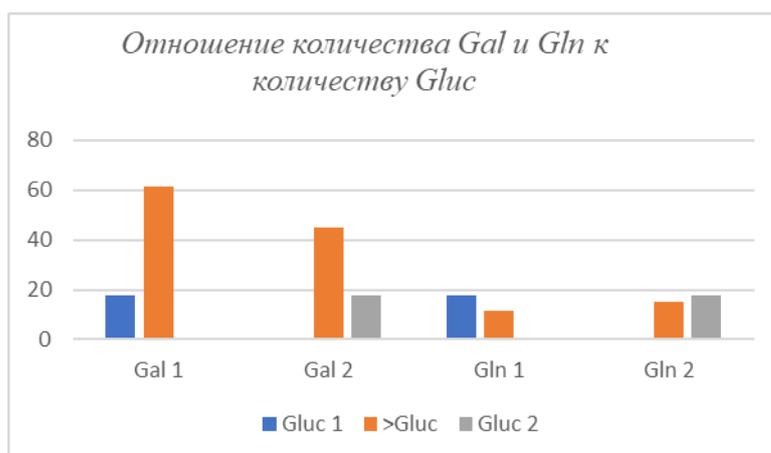


Рисунок 9 - Для приближенных к внутриорганизменным условиям

Все пробы сравниваются с теми, которые выросли на глюкозе, так как это благоприятная среда во всех условиях. Пробы, выращенные на галактозе, хорошо синтезируются во всех

средах. Но можно увидеть, что последним начинается синтез проб из биоплёнок, выращенных на галактуронате, другие пробы, выращенные на галактуронате либо имеют большой прирост, либо незначительное уменьшение, значит галактуронат ухудшает синтез проб из биоплёнок.

4. Был проведен электрофорез и оценено качество полученных ампликонов. На фотографии видно, что размер всех ампликонов одинаков и соответствует ожидаемому. В клетках, растущих в свободноживущих и лабораторных условиях, было больше исходной РНК, чем в пробах из биопленок.



Рисунок 10 - Электрофорез

#### **Заключение.**

В ходе проведения вышеописанного исследования была выявлена зависимость концентрации РНК гена *csgD* в зависимости от среды и условий, в которых была выращена культура *E. coli*, из которой впоследствии была выделена РНК. С помощью ОТ-ПЦР в реальном времени было показано, что экспрессия этого гена, активирующего синтез пилей-кудряшек, необходимых для формирования биопленок, активируется при росте на галактуронате в обоих условиях, где была аэрация. Эффект глюкуроната был значительно ниже. При этом в клетках, находящихся в составе биопленок, глюкуронат значительно ингибировал экспрессию *csgD*, а значит, этот метаболит в будущем может быть использован для подавления формирования биопленок.

## Оценка корреляции между тяжестью заболевания Covid-19 и предрасположенностью к болезни Альцгеймера

*В нашей работе мы хотели понять, зависит ли тяжесть заболевания Covid-19 и развитие постковидных нарушений от предрасположенности к нейродегенеративным заболеваниям. Болезнь Альцгеймера — это дегенеративное заболевание центральной нервной системы, характеризующееся постепенной потерей умственных способностей (память, речь, логическое мышление). Заболевание может протекать как в форме острой респираторной вирусной инфекции лёгкого течения, так и в тяжёлой форме. В ходе работы мы выбрали белки (PICALM (кодирует фосфатидилинозитолсвязывающий белок сборки клатрина), BIN1 (контролирует кривизну мембраны, регулирует сортировку внутриклеточных везикул)), в последовательностях которых находятся полиморфизмы, которые могут влиять на развитие болезни Альцгеймера, проанализировали литературу и подобрали праймеры к этим последовательностям. Далее была выделена ДНК из образцов инактивированной сыворотки крови разными наборами для выделения ДНК. Мы определили лучший из наборов с помощью первого ПЦР в реальном времени, а далее провели электрофорез. После этого мы провели ПЦР с другими образцами сыворотки. Электрофорез показал нам, что праймеры, отобранные нами, рабочие, и в будущем мы сможем провести секвенирование по Сэнгеру.*

**Ключевые слова:** болезнь Альцгеймера, covid-19, BIN1, PICALM

В 2020 году разразилась эпидемия covid-19. Многие заразившиеся страдали от одышки и высокой температуры. Однако после выздоровления некоторые продолжали страдать от постковидных синдромов. Болезнь Альцгеймера — это дегенеративное заболевание центральной нервной системы, характеризующееся постепенной потерей умственных способностей (память, речь, логическое мышление).

Между тяжестью заболевания covid-19 и нейродегенеративными болезнями может быть выявлена корреляция.

Данная тема сейчас очень актуальна, ведь люди, переболевшие COVID-19 в 2020 году, до сих пор страдают от последствий инфекции. Кроме того, новые штаммы SARS-CoV-2, несмотря на общую тенденцию к снижению тяжести заболевания, продолжают вызывать длительные когнитивные нарушения.

Цель исследования: понять, зависит ли тяжесть заболевания Covid-19 и развитие постковидных нарушений от предрасположенности к болезни Альцгеймера.

#### **Задачи:**

1. Проанализировать литературные данные, выбрать подходящие белки, подобрать и заказать праймеры к участкам с полиморфизмами.
2. Из инактивированной сыворотки крови выделить ДНК.
3. Выбрать оптимальный набор для выделения ДНК с помощью измерения концентраций ДНК и ПЦР в реальном времени.

Методы и материалы исследования.

В данной работе мы использовали несколько методов:

1. Анализ литературы и баз данных мутаций, ассоциированных с повышенным риском развития болезней Альцгеймера и Паркинсона.
2. Подбор праймеров для амплификации участков ДНК, содержащих эти мутации.
3. Выделение ДНК из инактивированной сыворотки крови.
4. ПЦР в реальном времени (программа *chrn test*).

95 °C - 0:02:00

95 °C - 0:00:25

54 °C - 0:00:30

72 °C - 0:00:30

72 °C - 0:00:10 (детекция флуоресценции)

5. Электрофорез.

2% гель агарозы в буфере TAE (трис-ацетат-ЭДТА). Электрофорез проводили в течение 40 минут при напряжении 100 В с использованием источника питания Эльф (ДНК-Технология, Россия) и камеры Хеликон (Россия). В качестве маркера молекулярного веса использовали маркер 1kb plus (New England Biolabs, США).

ДНК была выделена двумя разными наборами.

А. Выделение ДНК набором для цельной крови «Биолабмикс»:

- 1) 200 мкл образца крови перенести в чистую микропробирку на 1.5-2.0 мл.
- 2) Чистым одноразовым наконечником добавить 750 мкл буфера для Лизиса LB..
- 3) Перемешать образец на вортексе 5-10 с или пипетированием.
- 4) Сбросить капли коротким центрифугированием.
- 5) Инкубировать 10 мин при 15-25 °C.

В. Нанесение на колонку.

- 1) Перенести не более 800 мкл лизата или супернатанта (в случае тканей) на колонку.

Плотно закрыть крышку колонки.

2) Центрифугировать 30 с, 10000 gcf. Удалить фильтрат.

Примечание: если после центрифугирования часть раствора осталась на колонке, повторить центрифугирование увеличив время и/или скорость центрифугирования, не добавляя новую порцию образца или буфера LB. Примечание: Если объём лизата больше 800 мкл, повторно нанести избыток на ту же колонку и повторить центрифугирование.

С. Промывка колонки:

1) Нанести на колонку 500 мкл буфера для промывки WB1. Центрифугировать 30 с. 10000 gcf. Удалить фильтрат.

2) Нанести на колонку 500 мкл буфера для промывки WB2. Центрифугировать 30 с. 10000 gcf. Удалить фильтрат.

Примечание: не забудьте предварительно добавить к буферу WB2 этанол. 3. Центрифугировать колонку 3 мин, 10000 gcf для полного удаления буфера WB2.

Д. Элюция ДНК:

1. Перенести колонку в новую микропробирку на 1.5-2 мл (не входит в состав набора). Плотно прижать колонку к пробирке.

2. Нанести на центр фильтра колонки от 60 до 200 мкл буфера для элюции EB. Инкубировать 3 мин при комнатной температуре (15-25 °C).

Центрифугировать 1 мин, 10000 gcf.

Снижается концентрация ДНК. Количество ДНК при элюции объёмами При увеличении объёма элюции увеличивается количество ДНК и 60 и 200 мкл может различаться в 1.5-2 раза.

Вторая элюция новой аликвотой буфера для элюции EB или повторное нанесение элюата на колонку позволяет дополнительно увеличить количество ДНК.

Буфер для элюции содержит 0.01 М Tris-HCl (pH 8.0). Элюировать образец также можно TE буфером (0.01 М Tris-HCl, 0.001 М EDTA, pH 8.0- 8.5) либо водой (pH 8.0-8.5, pH доводить раствором NaOH).

Е. Элюат, содержащий ДНК, хранить при -20°C. Для длительного хранения рекомендуется добавить EDTA (pH 8) до конечной концентрации 0.1-1 мм.

Выделение ДНК набором для выделения ДНК из почвы PowerSoil Pro (Qiagen):

1) Слегка покрутите пробирку PowerBead Pro и убедитесь, что все гранулы осели на дно. Добавьте 300мкл плазмы крови и 800мкл раствора CD1. Встряхните, чтобы перемешать.

2) Поместите пробирку PowerBead Pro в гомогенизатор для пробирок объёмом 1,5-2 мл. Взбивайте на максимальной скорости в течение 10 мин.

3) Центрифугируйте пробирку PowerBead Pro при 15000xg в течение 1 минуты.

4) Переместить 500-600мкл надосадочной жидкости в чистую Microcentrifuge Tube.

5) Добавьте 200мкл раствора CD2 и перемешивайте в течение 5 секунд.

6) Центрифугируйте пробирку PowerBead Pro при 15000xg в течение 1 минуты. Перенесите до 700мкл надосадочной жидкости в чистую Microcentrifuge Tube объёмом 2мл.

7) Добавьте 600мкл раствора CD3 и перемешивайте в течение 5 секунд.

Электрофорез.

### Результаты:

1. На первом этапе работы в базе данным PudMed мы нашли гены, которые могут мутировать и каким-то образом влиять на развитие болезни Альцгеймера. мы искали наиболее распространенные полиморфизмы в геноме. с развитием болезни могут быть связаны многие гены такие как: ABCA7, BIN1, CASS4, CD33, CD2AP, CELF1, CLU, CR1, DSG2, EPHA1, FERMT2, HLA-DRB5-DBR1, INPP5D, MS4A, MEF2C, NME8, PICALM, PTK2B, SLC24H4 RIN3, SORL1, ZCWPW1.

Нас заинтересовали следующие гены: BIN1 и PICALM. мы их выбрали из-за их наиболее распространенность и изученность.

BIN1 – контролирует кривизну мембраны, регулирует сортировку внутриклеточных везикул, способствует плохой когнитивной деятельности (депрессия, гипертония, диабет 2 типа).

PICALM – кодирует фосфатидилинозитолсвязывающий белок сборки клатрина, взаимодействует с ключевыми белками для эндоцитоза, опосредованного клатрином, внутриклеточного транспорта и сигнализации.

2. Затем мы заказали праймеры для детекции полиморфизмов в генах BIN1 (полиморфизм rs744373) и PICALM (полиморфизм rs3851179).

Таблица 1 - Праймеры для детекции полиморфизмов в гене BIN1

BIN1	rs744373	BIN1-Fc	AAG ACG GAG AGA GGA GGC AT
		BIN1-Rc	CCA TCT TCT TCT GCT CTC CCA G
		BIN1-Fas-W	CAT GGG CAG CCT CTG AG <u>A</u>
		BIN1-Ras-V	AGG CAG GTC TGA GGC <u>C</u>

Таблица 2 - Праймеры для детекции полиморфизмов в гене PICALM

PICALM	rs3851179	PICALM-Fc	TCT ATT TTC TGC CTT ACT GTC
		PICALM-Rc	GCT GTT CAG TAA ATC TGA ATT TCT
		PICALM-Ras-W	CCA TAT AAT AGT TGT GAT AGA TAA <u>C</u>
		PICALM-Fas-V	CAA ACA ATA CAC ACT TCA GTA AAT <u>A</u>

3. На следующем этапе мы выделили ДНК из образцов инактивированной сыворотки крови двумя разными наборами для выделения ДНК, из-за того, что не знали какой более эффективен для нас.

Затем мы подобрали набор, подходящий для выделения ДНК из образцов инактивированной сыворотки крови. Образцы были предоставлены коллегами, которые ранее исследовали количественные показатели антител к COVID-19, поэтому для них у нас есть все метаданные - известна степень тяжести заболевания и наличие когнитивных нарушений. При этом образцы обезличены.

Наборы для выделения ДНК: для выделения из крови (BioLabmix, Россия), для выделения из почвы (PowerSoil Pro, Qiagen, Германия). Выбор второго набора обусловлен тем, что по многим исследованиям он является универсальным для выделения ДНК из самых разных образцов.

После выделения мы проверили концентрацию ДНК с помощью флуориметра Qubit-4 и набора dsDNA-HS в каждой пробе и поняли, что данные противоречивы, и таким образом нам не определить лучший кит.

Таблица 3 - Концентрации ДНК в образцах

	Кит для земли (нг/мкл)	Кит для крови (нг/мкл)
S1	0,115	0,0260
S2	0,178	0,820
S3	0,0284	no result (TOO LOW)
S4	0,0456	0,152

Поэтому, мы провели ПЦР в реальном времени с образцами S1 и S2 и праймерами к BIN-1 (Fc-Rc) на четырех образцах ДНК на приборе ДТ-Прайм (ДНК-Технология, Россия) с использованием смеси qPCR-HS Sybr (Евроген, Россия).

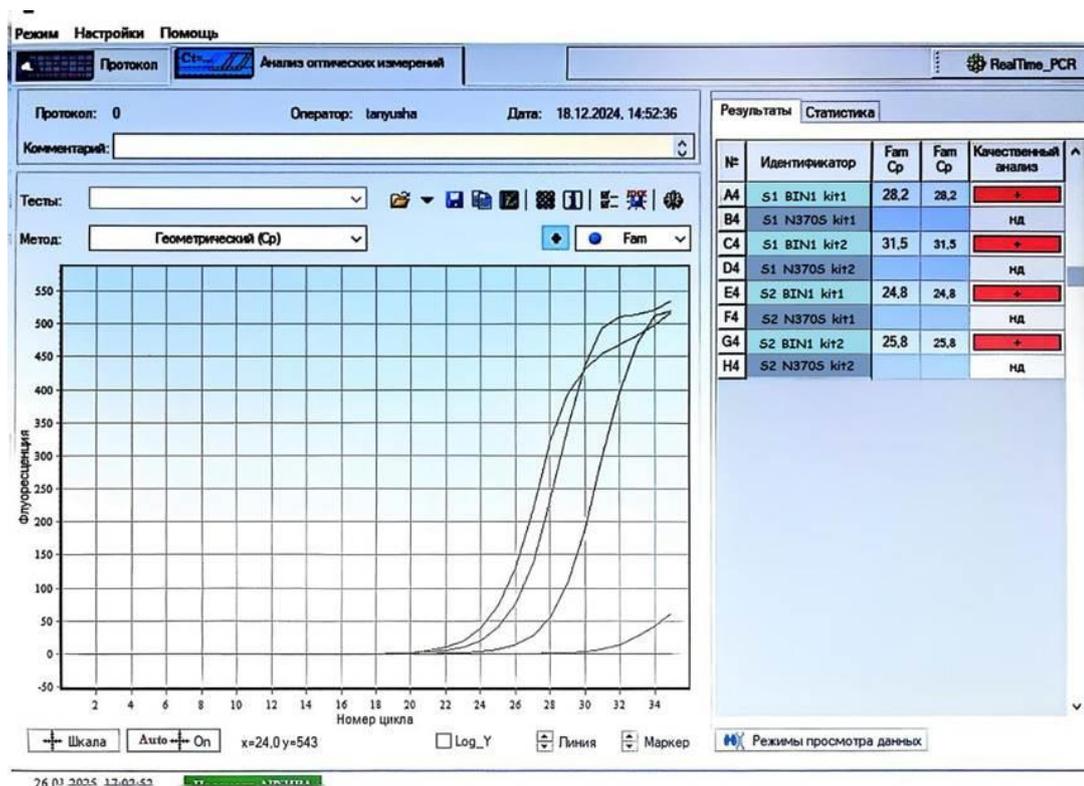


Рисунок 1 - Результат первого ПЦР в реальном времени

Концентрация ампликонов была в 4-10 раз выше для образцов, выделенных с помощью почвенного набора. Это может говорить о лучшем избавлении от ингибиторов последующих реакций. Поэтому ДНК из дальнейших образцов будет выделена с использованием набора PowerSoil Pro (для почвы).

4. На следующем этапе мы провели электрофорез с этими образцами (рисунок 2).

Результат:

- 1 - S1 BIN1 kit1
- 2 - S1 N370S kit1
- 3 - S1 BIN1 kit2
- 4 - S1 N370S kit2
- 5 - S2 BIN1 kit1
- 6 - S2 N370S kit1
- 7 - S2 BIN1 kit2
- 8 - S2 N370S kit2

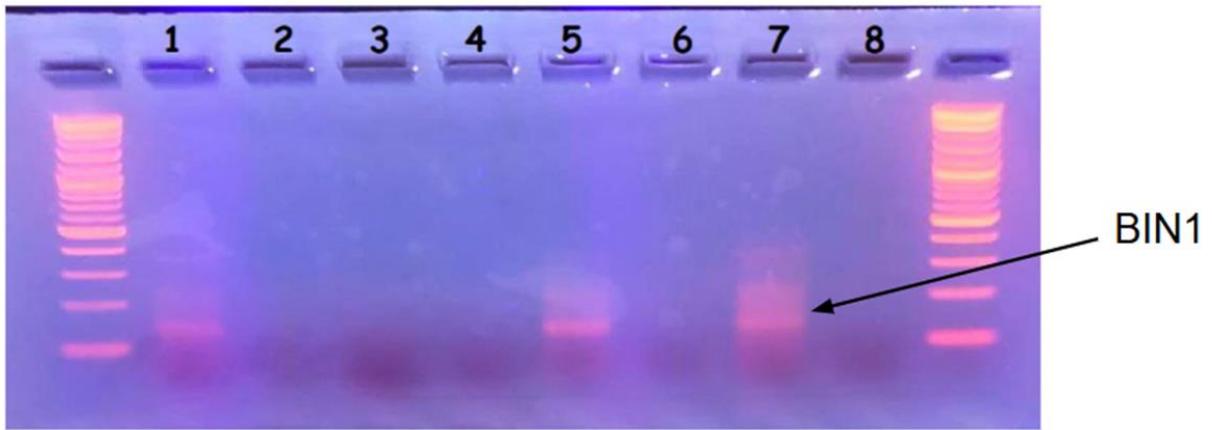


Рисунок 2 - Результат электрофореза

5. В ходе дальнейшей работы мы провели ПЦР в реальном времени с другим образцом сыворотки (S5) и другими праймерами (PICALM Fc/Rc, L444P, PICALM Ras/Fas, SNCA, BIN1 Ras/Fas, LRRK2 F/R).

Исходя из результатов (рисунок 3) можно сделать вывод, что праймеры L444P, BIN1 Ras/Fas, LRRK2 F/R рабочие и образцы в дальнейшем будут использоваться в секвенирование по Сэнгеру

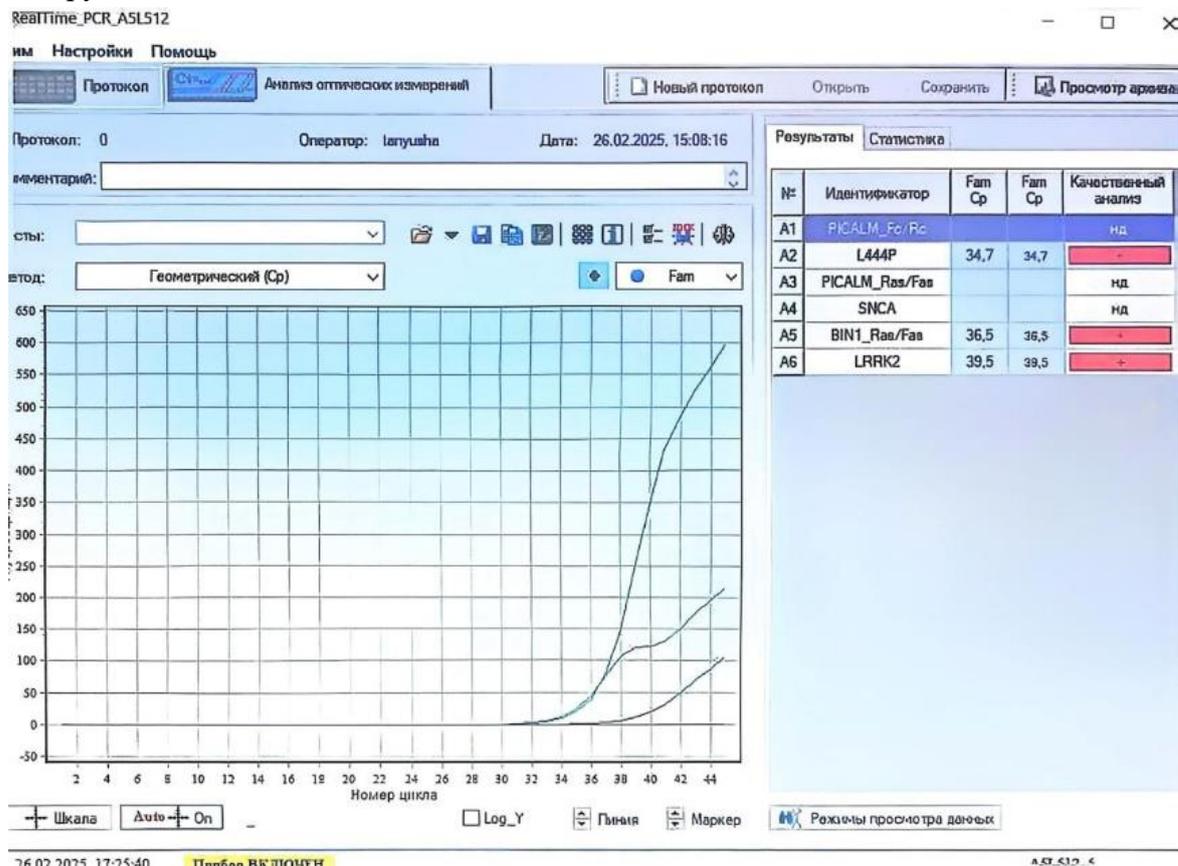


Рисунок 3 - Результат второго ПЦР в реальном времени

6. Далее мы провели ПЦР в реальном времени с образцом сыворотки S2 и праймерами PICALM Fc/Rc, L444P, PICALM Ras/Fas, SNCA, BIN1 Ras/Fas, LRRK2 F/R

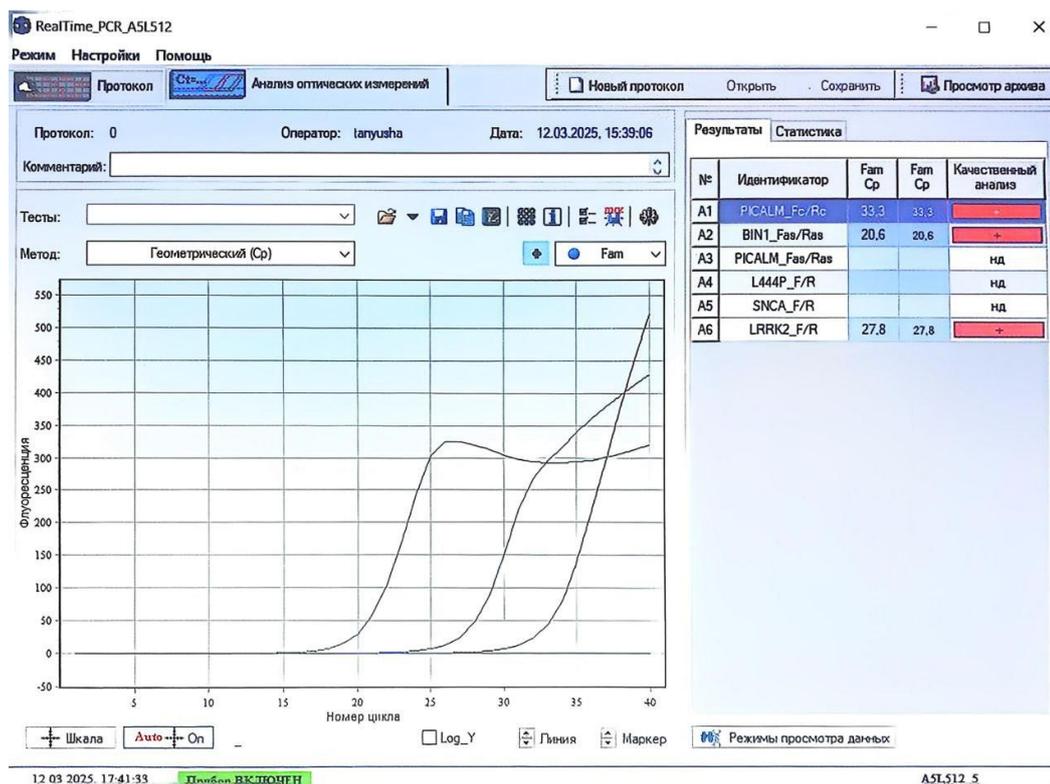


Рисунок 4 - Результат третьего ПЦР в реальном времени

Исходя из результатов (рисунок 4), мы можем сделать вывод, что праймеры PICALM Fc/Rc, BIN1 Ras/Fas и LRRK2 F/R рабочие и образцы в последующем будут использоваться при секвенировании по Сэнгеру.

Затем наличие мутаций будет оценено либо с помощью ПЦР в реальном времени (BIN-1, для которого характерно разное число копий), либо с помощью секвенирования по Сэнгеру (если характерна нуклеотидная замена) в компании “Евроген”.

#### Выводы на данный момент работы.

1. На основании литературных данных были выбраны белки, ассоциированные с болезнью Альцгеймера; подобраны и заказаны праймеры к участкам с полиморфизмами.
2. Была выделена ДНК из инактивированной сыворотки крови.
3. С помощью ПЦР в реальном времени с праймером BIN1 было показано, что набор для выделения ДНК PowerSoil Pro является оптимальным для выделения ДНК из сыворотки крови и будет использован в дальнейшем.

Если корреляция между предрасположенностью к болезни Альцгеймера и тяжестью заболевания COVID-19 подтвердится, то это даст повод к более тщательному наблюдению за пациентами при кажущемся ОРВИ и проведению большего числа исследований. Если же в

ходе нашей работы выяснится, что никакой связи между болезнью Альцгеймера и постковидным синдромом нет, то нужно будет найти другое объяснение развитию когнитивных нарушений после тяжело перенесенного заболевания COVID-19, и это также повлечет серию исследований.

#### Список источников

1. PICALM and Alzheimer's Disease: An Update and Perspectives / Kunie Ando, Siranjeevi Nagaraj, Fahri Küçükali // *Cells*. – 2022. – № 11 (24). – С. 3994. – DOI 10.3390/cells11243994.
2. Chouraki, Vincent. Genetics of Alzheimer's disease / Vincent Chouraki, Sudha Seshadri // *Advanced Genetics*. – 2014. - № 87. - С. 245-294. - DOI 10.1016/B978-0-12-800149-3.00005-6.
3. Karch, Celeste M. Alzheimer's disease risk genes and mechanisms of disease pathogenesis / Celeste M Karch, Alison M Goate // *Biological Psychiatry*. – 2015. – № 77 (1). – С. 43-51. – DOI 10.1016/j.biopsych.2014.05.006.
4. PICALM and Alzheimer's Disease: An Update and Perspectives / Kunie Ando, Siranjeevi Nagaraj, Fahri Küçükali [et al] // *Cells*. – 2022. – № 11 (24). – С. 3994. – DOI 10.3390/cells11243994.
5. Karch, Celeste M. Alzheimer's disease risk genes and mechanisms of disease pathogenesis / Celeste M Karch, Alison M Goate // *Biological Psychiatry*. – 2015. – № 77 (1). – С. 43-51. – DOI 10.1016/j.biopsych.2014.05.006.
6. Allele-specific polymerase chain reaction for the detection of Alzheimer's disease-related single nucleotide polymorphisms / Mohd Nazif Darawi, Chin Ai-Vyrn, Kalavathy Ramasamy [et al] // *BMC Medical Genetics*. – 2013. – № 14. – С. 27.
7. BIN1 rs744373 SNP and APOE alleles specifically associate to common diseases / M. Cachide, L. Carvalho, I. M. Rosa [et al] // *Frontiers in Dementia*. – 2022. - № 1. – С. 1001113. –DOI 10.3389/frdem.2022.1001113.
8. The Alzheimer's disease risk gene BIN1 regulates activity-dependent gene expression in human-induced glutamatergic neurons / Orthis Saha, Ana Raquel Melo de Farias, Alexandre Pelletier [et al] // *Molecular Psychiatry*. – 2024. - № 29(9). – С. 2634-2646. – DOI 10.1038/s41380-024-02502-y.
9. IgG Antibodies Develop to Spike but Not to the Nucleocapsid Viral Protein in Many Asymptomatic and Light COVID-19 Cases / Maria Tutukina, Anna Kaznadzey, Maria Kireeva [et al] // *Viruses*. – 2021. – № 13 (10). – С. 1945. – DOI 10.3390/v13101945.
10. Benchmarking DNA isolation methods for marine metagenomics / Alina Demkina, Darya Slonova, Viktor Mamontov [et al] // *Scientific Reports*. – 2023. – № 13 (1). – С. 22138. – DOI: 10.1038/s41598-023-48804-z.

### Анализ микробных сообществ кожи и среды обитания амфибий и рептилий

В нашем исследовании мы попробовали оценить возможность использования метагеномного подхода для диагностики возможных заболеваний и влияния на их развитие состояния окружающей среды на примере амфибий и рептилий. Эти животные были выбраны потому, что они обитают как на воле, так и в террариумах, поэтому являются хорошим модельным объектом для оценки влияния среды на микробиом. Мы поставили перед собой цель изучить микробные сообщества ротовой полости, кожных покровов и среды обитания рептилий и амфибий и оценить влияние среды на микробиом.

В ходе работы мы выполнили все поставленные задачи. После промывки кожи как черепах, так и лягушек дистиллятом (что описано в некоторых статьях), бактериальная нагрузка не снижается, как можно было бы предположить, а увеличивается. Это было показано как для террариумных особей, так и для особей, живущих в дикой природе. По-видимому, это отражает наличие бактерий в самом дистилляте; мы планируем это проверить, сравнив образцы с пробами из чистого дистиллята. Результаты нашей работы свидетельствуют о том, что метагеномный анализ может быть применен в ветеринарной практике – количество бактерий на кожных покровах достаточно для проведения такого анализа. В настоящее время мы ждем результатов секвенирования для проведения сравнительного анализа микробных сообществ.

**Ключевые слова:** метагеномный подход, бактериальная нагрузка, *Bombina orientalis*.

Микробные сообщества, живущие внутри и на теле животного, играют важную роль в жизни хозяина. Микробиота может влиять на физиологию, иммунную систему, развитие хозяина, а также его устойчивость к инфекциям [1]. Например, у амфибий есть грибковое заболевание хитридиомикоз, которое вызывает грибковый патоген *Batrachochytrium dendrobatidis*. Он уничтожает земноводных по всему миру [2, 6]. У черепах встречается заболевание кандидоз – микоз, вызванный *Candida albicans* [3]. Микробиота может как способствовать развитию данных заболеваний, так и подавлять их [4, 5]. Однако работ по изучению микробиома амфибий или рептилий не так много.

В современной ветеринарии большинство микробиологических исследований проводится классическими методами, либо же с использованием тест-систем на конкретных возбудителей. Первый подход является достаточно трудоемким и времязатратным (кроме того, не все микроорганизмы могут быть культивированы в лабораторных условиях), второй же не

охватывает весь спектр возможных возбудителей, даже в случае использования панелей. Поэтому метагеномный подход, позволяющий выявить полный спектр микроорганизмов и их количественное соотношение, без культивирования, является очень перспективным для внедрения в клиническую практику [8]. Он может позволить достаточно быстро оценивать динамику развития заболевания и скорректировать лечение при необходимости. Метагеномный подход уже начинают внедрять в практику для изучения динамики микробиомов при лечении заболеваний пищеварительной и мочеполовой системы у людей, а в этом исследовании мы попробовали оценить возможность использования такого подхода для диагностики возможных заболеваний и влияния на их развитие состояния окружающей среды на примере амфибий и рептилий. Эти животные были выбраны потому, что они обитают как на воле, так и в террариумах, поэтому являются хорошим модельным объектом для оценки влияния среды на микробиом. Кроме того, их заболевания исследованы хуже других, и с помощью нашего исследования мы можем внести вклад в понимание спектра возможных возбудителей.

**Цель работы:** изучить микробные сообщества ротовой полости, кожных покровов и среды обитания рептилий и амфибий и оценить влияние среды на микробиом.

**Задачи:**

1. Выделить метагеномную ДНК из образцов поверхности кожи, ротовой полости и среды обитания амфибий и рептилий.
2. Амплифицировать переменный участок V4 гена 16S рРНК и проверить правильность амплификации с помощью электрофореза.
3. С помощью ПЦР в реальном времени оценить бактериальную нагрузку в разных образцах.
4. Подготовить ампликоны для секвенирования на платформе Illumina.
5. Проанализировать данные и оценить влияние среды на микробиомы амфибий и рептилий.

**Методы и материалы исследования.**

Было взято 30 проб у трех Дальневосточных жерлянок (рис.1.) и Красноухой черепахи из Школы имени Маршала В. И. Чуйкова и Дальневосточной черепахи из лаборатории ИППИ РАН. Были взяты пробы среды обитания, кожи до и после промывки дистиллятом и пробы рта для рептилий. Параллельно коллегами с биологического факультета МГУ был проведен сбор аналогичных образцов на территории Звенигородской биостанции и в террариумах.

Сбор образцов проводился в перчатках (рис.2.). Мазок делался с использованием стерильного тампона. После сбора проб все тупферы помещались в консервирующий буфер, содержащий EDTA (связывает двухвалентные ионы металлов, что не дает работать полимеразам и нуклеазам) и Tris HCl (для поддержания pH и стабилизации молекул).

Таблица 1 - Пробы и их обозначения

У кого брали	Место сбора	Название проб кожи	Название проб кожи после промывки дистиллятом	Название проб среды обитания	Название проб изо рта
<i>Bombina orientalis</i>	terrarium	NS1, NS2	NSW1, NSW2	T1, T2	-
<i>Bombina orientalis</i>	terrarium	MS1, MS2	MSW1, MSW2	T1, T2	-
<i>Bombina orientalis</i>	terrarium	AS1, AS2	ASW1, ASW2	T1, T2	-
<i>Trachemys scripta</i>	terrarium	OS1, OS2	OSW1, OSW2	OT1, OT2	OM1, OM2
<i>Testudo Agrionemys</i>	terrarium	BS1, BS2	BSW1, BSW2	BT1, BT2	BM1, BM2



Рисунок 1 - Фотография Дальневосточных жерлянок



Рисунок 2 - Фотография Дальневосточной черепахи

### **Выделение ДНК.**

Для выделения ДНК был использован DNA Purification Kit (PureLink™ Microbiome).

1. Залили в пробирки Bead Tubes 800 мкл лизирующего буфера S1. Поместили сюда свабы вместе с буфером (300 мкл).
2. Добавили 100 мкл S2 (Lysis Enhancer).
3. Пробы инкубировали при 65°C 10 мин при перемешивании 1000 об/мин для начального лизиса клеток.
4. Поместили пробирки в гомогенизатор Qiagen Tissue Lyser LT на 10 мин на макс скорости.
5. Центрифугировали 1 мин на 14 000 об/мин при комнатной температуре
6. Перенесли 500 мкл супернатанта из пробирки в чистую микроцентрифужную пробирку, избегая контакта со свабом и содержимым Bead Tube.
7. Добавили 900 мкл связывающего буфера S4.
8. Перенесли 700 мкл образца в колонку и затем центрифугировали 1 мин на 14 000 об/мин при комнатной температуре.
9. Удалили фильтрат и повторили пункт 8 дважды.
10. Поместили колонку в чистую собирательную пробирку. Добавили 500 мкл промывочного буфера и центрифугировали 1 мин на 14 000 об/мин.
11. Удалили фильтрат и центрифугировали 30 сек на 14 000 об/мин (для удаления остатков промывочного буфера).
12. Перенесли колонку в чистую пробирку, добавили 50 мкл S6 (Elution buffer) и инкубировали при комнатной температуре 1 мин.
13. Сняли ДНК с колонки центрифугированием 1 мин на 14 000 об/мин.

### *ПЦР в реальном времени.*

Был проведен ПЦР в реальном времени с праймерами 515F-806R в приборе ДТ-прайм (ДНК-Технология), с использованием смеси ПЦР-микс Evrogen qPCR-HS-Sybr.

ПЦР проводился для выделения вариабельного участка V4 16S рРНК и оценки бактериальной нагрузки в различных образцах.

На одну пробу к 5 мкл смеси ПЦР-микс Evrogen qPCR-HS-Sybr добавили 1 мкл 10мкМ праймера 515F, 1 мкл 10 мкМ праймера 806R, 16 мкл дистиллята и 2 мкл выделенной ДНК. Полученную смесь пропипетировали и поместили в ДТ-прайм (ДНК-Технология) при температуре на 2 часа.

Было проведено 40 циклов.

На первом цикле была установлена температура 94°C на две минуты для разрыва цепи ДНК.

В следующих циклах была установлена последовательная смена температуры: 94°C на 25 секунд (для разрыва цепи ДНК), 55°C на 25 секунд (температура отжига праймеров), 72°C на 30 секунд (для синтеза второй цепи ДНК) и на 72°C на 10 секунд (для оптической детекции накопления продукта).

После ПЦР образцы хранились при температуре 10°C

#### **Очистка ампликонов.**

1. Инкубировали магнитные шарики при комнатной температуре в течение 30 минут.
2. Смешали ампликоны с магнитными шариками в соотношении 1:0,9 (25 мкл ампликонов и 22,5 мкл шариков).
3. Инкубировали пробы при комнатной температуре в течение 5 минут.
4. Переместили пробы на магнитный штатив и инкубировали до тех пор, пока раствор не стал прозрачным.
5. С помощью пипетки убрали супернатант, стараясь не задеть гранулы.
6. Добавили 190 мкл 80% этилового спирта в пробирки для промывки. Потом убрали EtOH.
7. Повторили пункт 6 дважды.
8. Оставили пробирки открытыми для сушки.
9. Добавили 20 мкл дистиллированной воды в каждую пробирку.
10. Поместили пробирки в магнитный штатив и инкубировали до тех пор, пока раствор не стал прозрачным.
11. С помощью пипетки перенесли 20 мкл супернатанта в новую пробирку. Измерение концентрации ампликонов в пробах проводилось с помощью Invitrogen Qubit 4 Fluorometer. Мы добавили 2 мкл продукта в 198 мкл HS буфера с красителем. Смесь перемешали на вортексе. Результаты: ПЦР представлены ниже (рисунок 3, таблица 2).

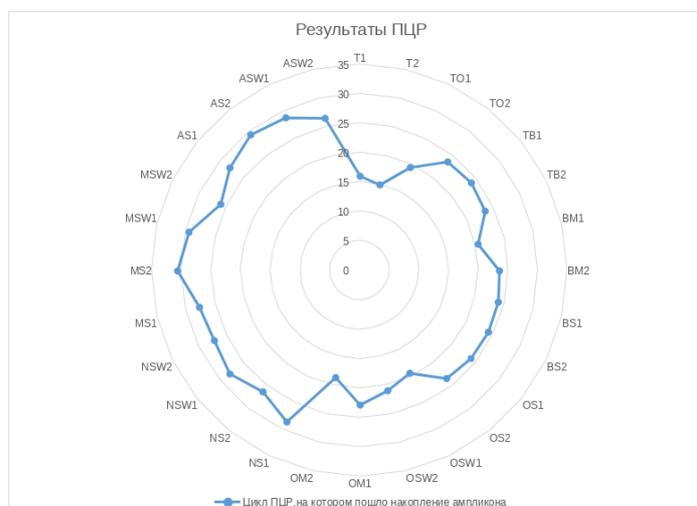


Рисунок 3 - Диаграмма цикла ПЦР

Таблица 2 - Результаты ПЦР

Название пробы	Что это за проба	Фам Ср
T1	Среда в террариуме лягушек	16,1
T2	Среда в террариуме лягушек	15
TO1	Среда в террариуме <i>Trachemys scripta</i>	19,5
TO2	Среда в террариуме <i>Trachemys scripta</i>	23,7
BT1	Среда в террариуме <i>Testudo Agrionemys</i>	24
BT2	Среда в террариуме <i>Testudo Agrionemys</i>	23,4
BM2	Рот <i>Testudo Agrionemys</i>	23,5
BM1	Рот <i>Testudo Agrionemys</i>	20,4
BS1	Кожа <i>Testudo Agrionemys</i>	23,9
BS2	Кожа <i>Testudo Agrionemys</i>	24
OS2	Кожа <i>Trachemys scripta</i>	23,4
OSW2	Кожа <i>Trachemys scripta</i> после промывки дистиллятом	20,9
OS1	Кожа <i>Trachemys scripta</i>	23,9
OSW1	Кожа <i>Trachemys scripta</i> после промывки дистиллятом	19,3
OM1	Рот <i>Trachemys scripta</i>	22,8

Название пробы	Что это за проба	Фам Ср
OM2	Рот <i>Trachemys scripta</i>	18,6
NSW1	Кожа лягушки 1 после промывки дистиллятом	28,1
NS1	Кожа лягушки 1	28,5
NSW2	Кожа лягушки 1 после промывки дистиллятом	27,3
NS2	Кожа лягушки 1	26,3
MS1	Кожа лягушки 2	27,8
MSW1	Кожа лягушки 2 после промывки дистиллятом	29,6
MS2	Кожа лягушки 2	30,8
MSW2	Кожа лягушки 2 после промывки дистиллятом	26,1
AS1	Кожа лягушки 3	28,1
ASW1	Кожа лягушки 3 после промывки дистиллятом	28,9
AS2	Кожа лягушки 3	29,6
ASW2	Кожа лягушки 3 после промывки дистиллятом	26,6

Мы можем видеть, что самая высокая бактериальная нагрузка в пробах среды обитания амфибий (T1, T2), а самая низкая – в пробах кожи амфибий до промывки дистиллятом (MS2, NS2).

#### **Электрофорез.**

Электрофорез проводился для подтверждения удачного выделения ДНК и проведения ПЦР. Электрофорез ставился в 2% агарозном геле в буфере TAE. Электрофорез проводили в

течение 40 минут при напряжении 100В с использованием источника питания Эльф (ДНК-Технология, Россия) и камеры Хеликон (Россия). Результат электрофореза представлен на рис.3. Видно, что участок V4 амплифицировался успешно (его длина примерно 340 п.о.) и ДНК не повреждена.

M – маркер молекулярного веса ДНК ( 1kb plus, New England Biolabs)

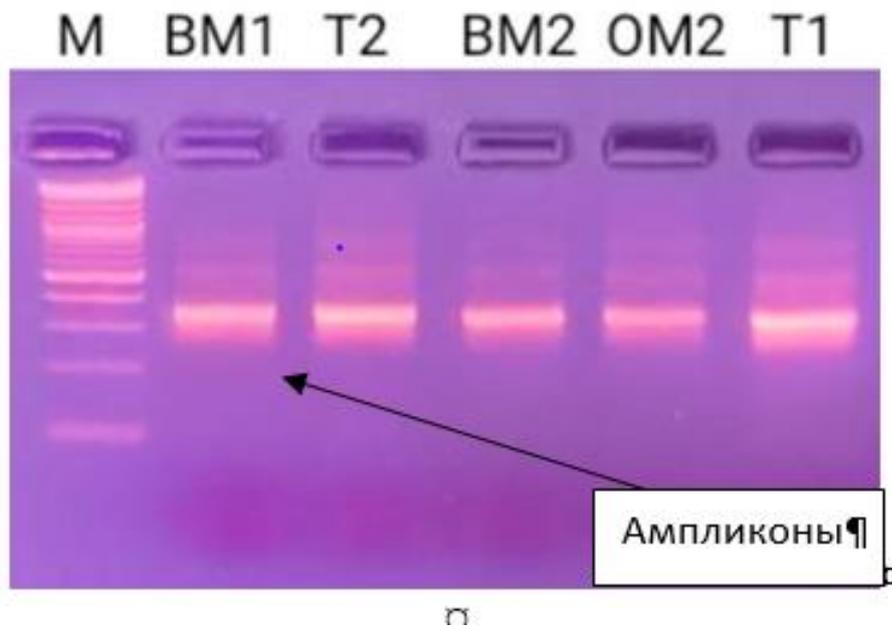


Рисунок 3 - Результат электрофореза

Мы решили сравнить бактериальную нагрузку в пробах. Мы сравнивали пробы среды обитания (рисунок 4), кожи амфибий и рептилий (рисунок 5), рта рептилий (рисунок 6) и кожи амфибий до и после промывки дистиллятом (рисунок 7).

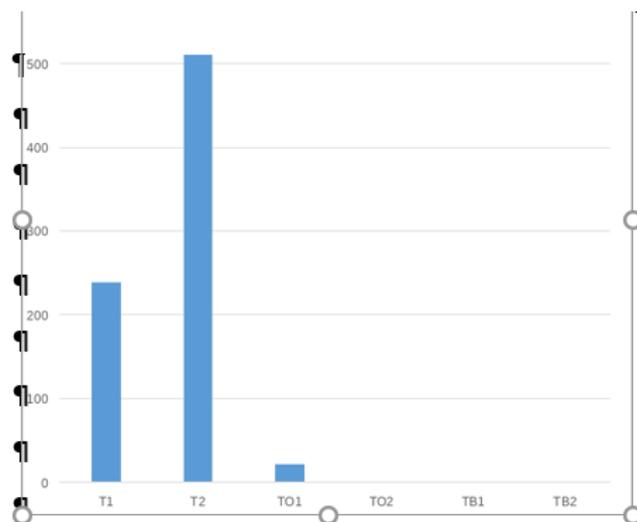


Рисунок 4 - Диаграмма сравнения бактериальной нагрузки в пробах сред обитания

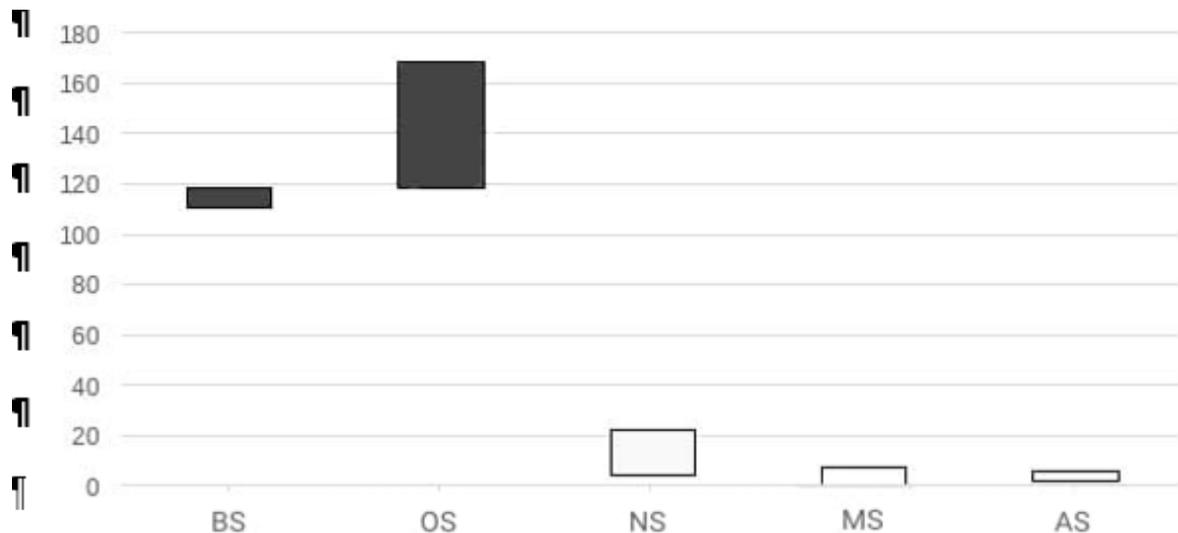


Рисунок 5 - Сравнение бактериальной нагрузки на пробах кожи

За единицу бралась проба BT1 (номер цикла ПЦР, на котором пошло накопление ампликона - 24). Нагрузка в среде обитания амфибий в 10-500 раз больше, чем в среде обитания рептилий. Вероятно, это связано с тем, что террариумы черепах чаще чистятся (рисунок 4).

За единицу бралась проба MS2 (номер цикла ПЦР, на котором пошло накопление ампликона – 30,8). Оказалось, что у амфибий на коже меньше бактерий, чем у рептилий, хотя бактериальная нагрузка в пробах среды обитания амфибий намного выше, чем у рептилий (рисунок 5). Вероятно, это связано с тем, что кожа Дальневосточных желянок покрыта веществами с бактерицидными свойствами (бугорки на спине выделяют специальную слизь) [7].

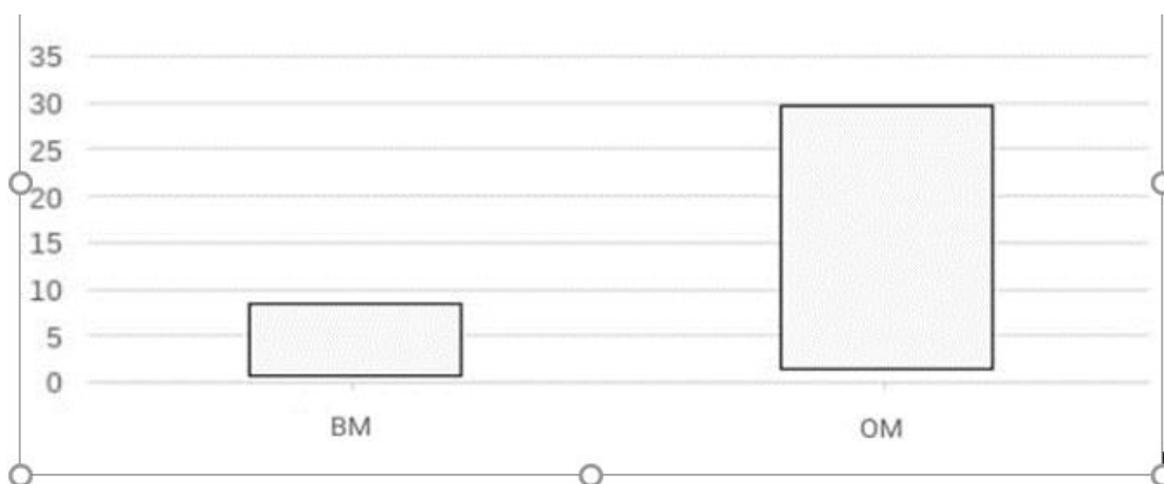


Рисунок 6- Диаграмма сравнения бактериальной нагрузки в пробах рта



Таблица 3 - Концентрация ампликонов достаточно высокая для проведения секвенирования

Номер пробы	Вид	Тип пробы	Концентрация нг/мкл	Fam Cp
T1	<i>Bombina orientalis</i>	среда	4,22	16,1
T2	<i>Bombina orientalis</i>	среда	14	15
TO1	<i>Trachemys scripta</i>	среда	3,82	19,5
TO2	<i>Trachemys scripta</i>	среда	5,96	23,7
TB1	<i>Testudo Agrionemys</i>	среда	2,35	24
TB2	<i>Testudo Agrionemys</i>	среда	4,04	23,4
BM1	<i>Testudo Agrionemys</i>	рот	12,3	20,4
BM2	<i>Testudo Agrionemys</i>	рот	10,7	23,5
BS1	<i>Testudo Agrionemys</i>	кожа	10,2	23,9
BS2	<i>Testudo Agrionemys</i>	кожа	5,08	24
OS1	<i>Trachemys scripta</i>	кожа	1,55	23,9
OS2	<i>Trachemys scripta</i>	кожа	6,26	23,4
OSW1	<i>Trachemys scripta</i>	кожа после д.	7,8	19,3
OSW2	<i>Trachemys scripta</i>	кожа после д.	7,55	20,9
OM1	<i>Trachemys scripta</i>	рот	8,08	22,8
OM2	<i>Trachemys scripta</i>	рот	7,86	18,6
NS1	<i>Bombina orientalis</i>	кожа	3	28,5

Номер пробы	Вид	Тип пробы	Концентрация нг/мкл	Fam Cp
NS2	<i>Bombina orientalis</i>	кожа	3,55	26,3
NSW1	<i>Bombina orientalis</i>	кожа после д.	2,64	28,1
NSW2	<i>Bombina orientalis</i>	кожа после д.	6,2	27,3
MS1	<i>Bombina orientalis</i>	кожа	3,72	27,8
MS2	<i>Bombina orientalis</i>	кожа	1,61	30,8
MSW1	<i>Bombina orientalis</i>	кожа после д.	0,386	29,6
MSW2	<i>Bombina orientalis</i>	кожа после д.	2,86	26,1
AS1	<i>Bombina orientalis</i>	кожа	3,88	28,1
AS2	<i>Bombina orientalis</i>	кожа	2,01	29,6
ASW1	<i>Bombina orientalis</i>	кожа после д.	2,18	28,9
ASW2	<i>Bombina orientalis</i>	кожа после д.	4,07	26,6

Можно заметить, что между бактериальной нагрузкой в пробе и концентрацией ампликона нет пропорциональной связи. Например, в пробе MS2 с номером цикла 30,8 концентрация ампликона 1,61 нг/мкл. А в пробе MSW1 с номером цикла 29,6 концентрация ампликона составляет 0,386 нг/мкл.

#### **Заключение.**

1. Таким образом, в нашей работе мы выделили метагеномную ДНК образцов из ротовой полости, с поверхности кожи и среды обитания террариумных амфибий и рептилий и особей,

живущих в дикой природе. Был амплифицирован переменный участок 16S рибосомной РНК и подготовлены образцы для секвенирования. Была оценена бактериальная нагрузка во всех исследуемых пробах.

2. Наиболее высокая бактериальная нагрузка наблюдается в пробах среды. В среде обитания лягушек она в 16-500 раз выше, чем у черепах. В среде обитания обеих черепах бактериальная нагрузка была приблизительно одинаковой.

Нагрузка в пробах кожи лягушек приблизительно в 100 раз меньше, чем у черепах. Вероятно, это связано с тем, что кожа Дальневосточных жеплянок покрыта веществами с бактерицидными свойствами – мы планируем проверить эту гипотезу.

3. Также интересно, что после промывки кожи как черепах, так и лягушек дистиллятом (что описано в некоторых статьях), бактериальная нагрузка не снижается, как можно было бы предположить, а увеличивается. Это было показано как для террариумных особей, так и для особей, живущих в дикой природе. По-видимому, это отражает наличие бактерий в самом дистилляте; мы планируем это проверить, сравнив образцы с пробами из чистого дистиллята.

Результаты нашей работы свидетельствуют о том, что метагеномный анализ может быть применен в ветеринарной практике – количество бактерий на кожных покровах достаточно для проведения такого анализа. В настоящее время мы ждем результатов секвенирования для проведения сравнительного анализа микробных сообществ.

#### **Список источников**

1. Kataoka, Keiko. The intestinal microbiota and its role in human health and disease / Keiko Kataoka // *Journal of Investigative Medicine*. – 2016. – № 63 (1-2). – С. 27-37. – DOI 10.2152/jmi.63.27.

2. Monzon, Federico Castro. Tracking *Batrachochytrium dendrobatidis* Infection Across the Globe / Federico Castro Monzon, Mark-Oliver Rödel, Jonathan M Jeschke // *EcoHealth*. – 2020. – № 17 (3) – С. 270-279. – DOI 10.1007/s10393-020-01504-w.

3. Hernandez-Divers, S. J. Pulmonary candidiasis caused by *Candida albicans* in a Greek tortoise (*Testudo graeca*) and treatment with intrapulmonary amphotericin B. / S. J Hernandez-Divers // *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. – 2001. – № 32 (3). – С. 352-359. – DOI 10.1638/1042-7260(2001)032[0352:PCCBCA]2.0.CO;2.

4. The impact of the Fungus-Host-Microbiota interplay upon *Candida albicans* infections: current knowledge and new perspectives / Christophe d'Enfert, Ann-Kristin Kaune, Leovigildo-Rey Alaban [et al] // *FEMS Microbiology Reviews*. – 2021. – № 45(3). – DOI 10.1093/femsre/fuaa060.

5. Do host-associated gut microbiota mediate the effect of an herbicide on disease risk in frogs? / Sarah A Knutie , Caitlin R Gabor , Kevin D Kohl [et al] // Journal of Animal Ecology. – 2018. – № 87 (2). – C. 489-499. – DOI 10.1111/1365-2656.12769.

6. Effects of Herbicides and the Chytrid Fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* on the growth, development and survival of Larval American Toads (*Anaxyrus americanus*) / Linda J Paetow , Roger I Cue , Bruce D Pauli [et al] // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2023. – № 259. – C. 115021. - DOI 10.1016/j.ecoenv.2023.115021.

7. The synergistic antimicrobial effects of novel bombinin and bombinin H peptides from the skin secretion of *Bombina orientalis* / Jie Xiang, Mei Zhou , Yuxin Wu [et al] // Bioscience Reports. – 2017. – № 37 (5). – BSR20170967. – DOI 10.1042/BSR20170967.

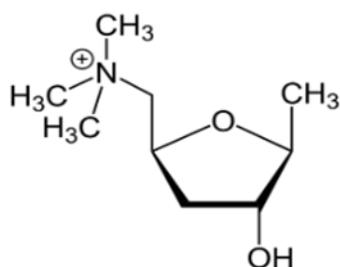
8. Microbiological Diagnostic Performance of Metagenomic Next-generation Sequencing When Applied to Clinical Practice / Qing Miao , Yuyan Ma , Qingqing Wang [et al] // Clinical Infectious Diseases. – 2018. – № 67, suppl. 2. – C. S231-S240. – DOI 10.1093/cid/ciy693.

### Разработка и синтез мускарин-связывающих белковых ловушек

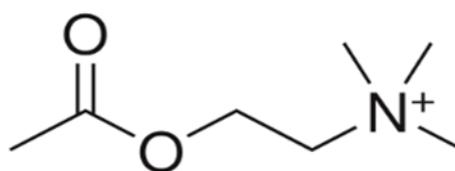
Данная исследовательская работа направлена на предотвращение серьезных последствий от отравления пищевыми добавками из ядовитого гриба – мухомора, которые в последнее время стали очень популярны среди населения. Исследователями была проведена работа по разработке белка, который будет выводить токсичный мускарин, содержащийся в мухоморе, не мешая работе систем, связанных с ацетилхолином.

**Ключевые слова:** *Amanita muscaria*, *A. pantherina*, алкалоиды, мускарин, ацетилхолин, отравление, нейромедиатор, мускариновые рецепторы.

Мухомор - род микоризообразующих пластинчатых грибов семейства аманитовые. Одни из известных его представителей: мухомор красный (*Amanita muscaria*) и мухомор пантерный (*A. pantherina*). В последнее время растет популярность народной медицины, в том числе употребление мухоморов в качестве пищевой добавки. По заявлениям продавцов таких пищевых добавок, мухоморы способны улучшить память, концентрацию, устранить проблемы со сном, а также обещают увеличение продуктивности и работоспособности. К сожалению, большинство случаев приема мухоморов в качестве пищевой добавки заканчиваются отравлением. [1] В состав яда мухоморов входит множество алкалоидов, в т.ч. мускарин. [2]



структурная формула мускарина



структурная формула ацетилхолина

Рисунок 1 - Структурная формула мускарина и ацетихолина

Мускарин — алкалоид, содержащийся в различных грибах, одно из действующих веществ яда мухомора. Он лучше связывается с мускариновыми рецепторами, чем эндогенный лиганд ацетилхолин, который является нейромедиатором, осуществляющим нервно-

мышечную передачу, и участвующий в парасимпатической нервной системе. Из-за плохого связывания ацетилхолина наступает нарушение передачи электрохимического импульса от нервной клетки через синаптическое пространство между нейронами или от нейронов к мышечной ткани и железистым клеткам. [3] Признаки отравления включают мускарином в себя: возбуждение гладких и сердечных мышц, сужение альвеол и зрачков. [4]

В геноме человека закодировано 5 видов мускариновых рецепторов:

Таблица 1 - Виды мускариновых рецепторов

Название рецептора	Место расположения	агонист	Антагонист	Функция
chrm1	вегетативные ганглии ЦНС головной мозг	ацетилхолин мускарин	атропин оксибутинин дифенгидрамин	двигательная активность
chrm2	клетки сердца	ацетилхолин мускарин	атропин оксибутинин дифенгидрамин	замедление сердечного ритма уменьшение сократительной силы предсердий
chrm3	гладкая мускулатура экзокринные железы	ацетилхолин мускарин	атропин оксибутинин дифенгидрамин	сокращение гладких мышц (кишечник) секреция желёз
chrm4	гладкая мускулатура	ацетилхолин мускарин	атропин оксибутинин дифенгидрамин	двигательная активность
chrm5	ЦНС, слюнные железы, радужная оболочка	ацетилхолин мускарин	атропин оксибутинин дифенгидрамин	секреция желез сокращение гладких мышц

**Целью работы** стала разработка белка, который будет действовать по типу *конкурентного связывания* — связывать и безопасно выводить токсичный мускарин, не мешая работе систем, связанных с ацетилхолином.

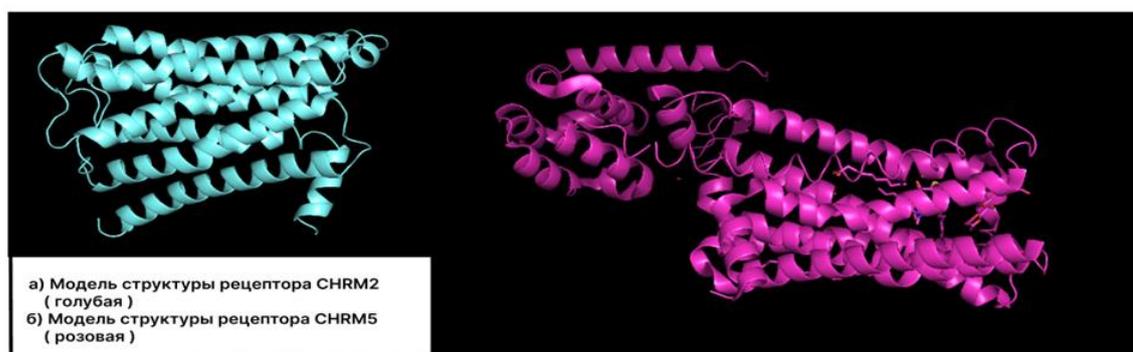


Рисунок 2 - Модели структуры рецепторов

### Ход работы.

Был проведен поиск аминокислотных последовательностей пяти мускариновых рецепторов в базе данных NCBI [5]. Далее была проведена разработка моделей рецепторов CHRM1-5 в программах Phyre2/AlphaFold3 [6],[7]. Для поиска энергии и мест связывания был проведен молекулярный докинг рецепторов с двумя целевыми лигандами (ацетилхолином и мускарином) и с тремя для сравнения энергий связывания (дифенгидрамин, оксибутинин, атропин) с помощью программы Autodock Vina [8]. Собственно, результатами являются энергия  $\Delta G$  и положение лиганда в активном центре рецептора. Положение лиганда в активном центре позволяет предсказывать механизм связывания. Показатели энергий приведены в следующей таблицах:

Таблица 2 - Показатели энергии связывания

<i>Лиганд/рецептор</i>	CHRM1, kcal/mol	CHRM2, kcal/mol	CHRM3, kcal/mol	CHRM4, kcal/mol	CHRM5, kcal/mol
Ацетилхолин	-4.6	-4.2	-3,9	-4,2	-3.7
Мускарин	-4.9	-4.4	-4,4	-4,5	-4.6

Таблица 3 - Показатели энергии связывания

<i>Рецептор/лиганд</i>	Дифенгидрамин	Атропин	Оксибутинин
CHRM1, kcal/mol	-7.8	-7.3	-7.6
CHRM2, kcal/mol	-7.8	-7.8	-7.6
CHRM3, kcal/mol	-6.7	-6.5	-7.6
CHRM4, kcal/mol	-6.7	-7.0	-6.4
CHRM5, kcal/mol	-5.6	-6.3	-5.6



Рисунок 3- Места связывания лигандов

Чтобы сделать «ловушку» была выбрана тактика дестабилизации связи рецептор-ацетилхолин путем замещения аминокислот, участвующих в связывании, на нейтральные или противоположно заряженные. Поэтому, в программе PyMOL [9] были получены аминокислотные последовательности участвующие в связывании с лигандами. Для селективного захвата мускарина были ухудшены связи ацетилхолин - рецептор путем замены аминокислот на противоположные. Например, для chrm2 были заменены Asp(-) на Lys(+), Val, Tyr на Ala; Trp, Tyr, Cys на Ala, для уменьшения полярности. Для chrm1 был селективно вырезан сайт связывания мускарина. Затем с помощью программ Phyre2/AlphaFold3 [6],[7] были получены модели белков-ловушек для дальнейшего изучения. Молекулярный докинг моделей ловушек с мускарином и ацетилхолином показал значения энергий, представленные в таблице:

Таблица 4 - Показатели энергии связывания

<i>Лиганд/рецептор</i>	trap_CHRM1, kcal/mol	trap_CHRM2, kcal/mol
Ацетилхолин	-3.6	-4.1
Мускарин	-5.2	-4.9

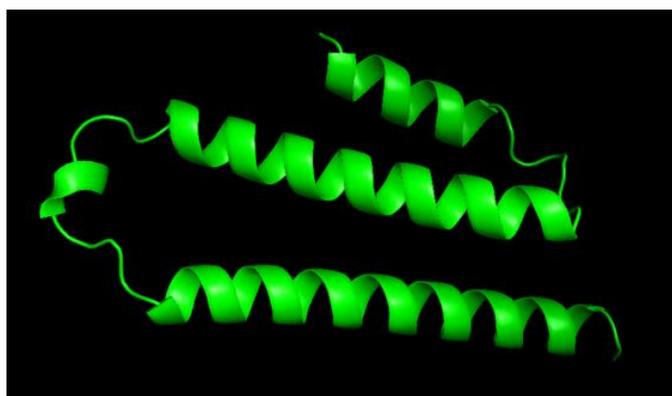


Рисунок 4 - Компьютерная модель ловушки

После редактирования полученных последовательностей были заказаны праймеры: chrm1\_BamH1\_F, chrm1\_EcoR1\_R, chrm2\_BamH1\_F, chrm2\_EcoR1\_R (таблица 5).

Таблица 5 - Праймеры для амплификации и клонирования chrm1 и chrm2

<b>Название</b>	<b>Последовательность</b>
Chrm1_BamH1_F	AAC CGG ATC CCC ACC TAG CCA CCA
Chrm1_EcoR1_R	GTG GAG AAT TCC AGG AGA GGG GAC TAT CA
Chrm2_BamH1_F	CCT GGG ATC CAC AAG TCC TTA
Chrm2_EcoR1_R	TTG TGA ATT CTA TGT TGA AGT CAT G

Затем был выделен образец ДНК из слюны с помощью набора Biolabmix для выделения ДНК из крови и биологических жидкостей. Методика выделения ДНК:

1. Отбор 200 мкл пробы в пробирку.

2. Добавить 750 мкл лизирующего буфера.
3. Перемешать образец на вортексе 5-10 с.
4. Инкубировать 10 мин при комнатной температуре.
5. Перенести на колонку 800 мкл лизата, далее центрифугировать 30 с 10000 гsf. Удалить фильтрат.
6. Промывка колонки промывочными буферами на основе 70% этанола. На этой стадии происходит освобождение образца от остаточных солей.
7. Элюция ДНК. Добавить 200 мкл буфера для элюции, а затем инкубация 3 минуты при комнатной температуре для лучшей гидратации ДНК и центрифугирование в течение 1 минуты при 10000 gsf для собственно элюции с мембраны.

После выделения образца ДНК была проведена амплификация фрагмента гена CHRM1 с праймерами chrml\_VamH1\_F, chrml\_EcoR1\_R и смесью qPCR-HS Sybr (Евроген) на амплификаторе DT prime 5 (ДНК-Технология).

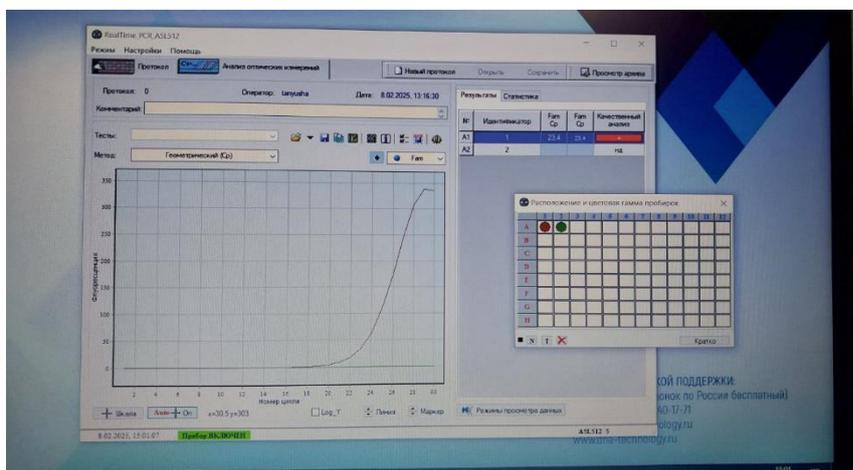


Рисунок 5 - Интерфейс программы RealTime\_PCR (ДНК-технология) и результат амплификации (кривая накопления продукта)

Программа амплификации включала в себя следующие стадии:

Предварительное плавление ДНК 94°C 2 минуты.

Далее 35 циклов:

94°C 20 сек.;

54°C 20 сек.;

72°C 50 минут.

Детекция флуоресценции осуществлялась в конце каждого цикла.

Результат выделения ДНК и амплификации с праймерами к ловушке CHRM1 был оценен с помощью электрофореза в 2% агарозном геле в 1xбуфере TAE (40мМ Трис-НСl, рН 8.3; 1мМ

ЭДТА, 20мМ ацетат) с использованием источника тока Эльф (ДНК-Технология) и камеры Хеликон, напряжение 120В.

Результат был визуализирован на трансиллюминаторе Vilber в проходящем УФ-свете.

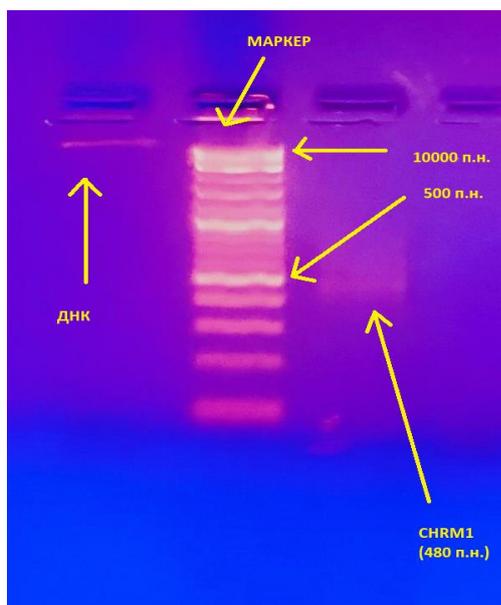


Рисунок 6 - Результат выделения ДНК

В будущем планируется клонирование фрагмента гена в плазмиду pGEX, наработка белка-ловушек в клетках *Escherichia coli* BL21(DE3)-RIL и очистка с помощью аффинной хроматографии на GST-сефарозе с помощью колонки GSTrap.

Также была разработана схема синтеза одного из лигандов мускариновых рецепторов – Дифенгидрамина (Торговое название препарата Димедрол). Он используется в лечебной практике в качестве антигистаминного препарата. Димедрол входит в российский перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов [10].

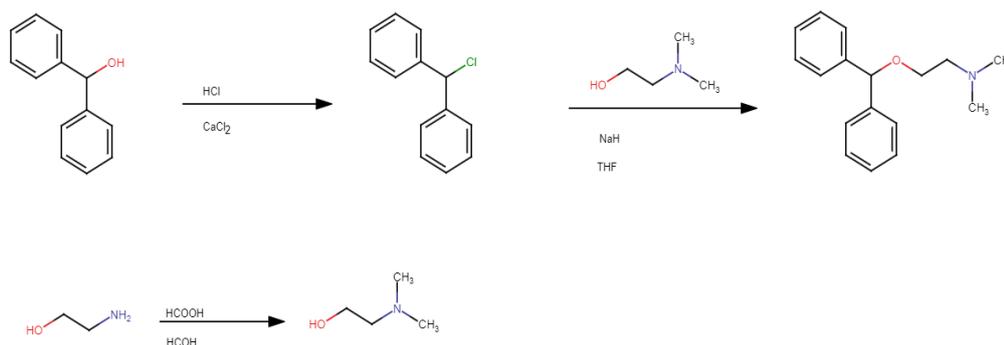


Рисунок 7 - Схема синтеза лиганда мускариновых рецепторов - Дифенгидрамина

Из статьи [11] была взята методика выполнения метилирования первичных аминов до третичных с помощью реакции Эшвайлера-Кларка. Полезность этой реакции в том, что в ходе

реакции не образуются соли четвертичных аминов, что упрощает синтез. Механизм данной реакции представлен на схеме ниже:

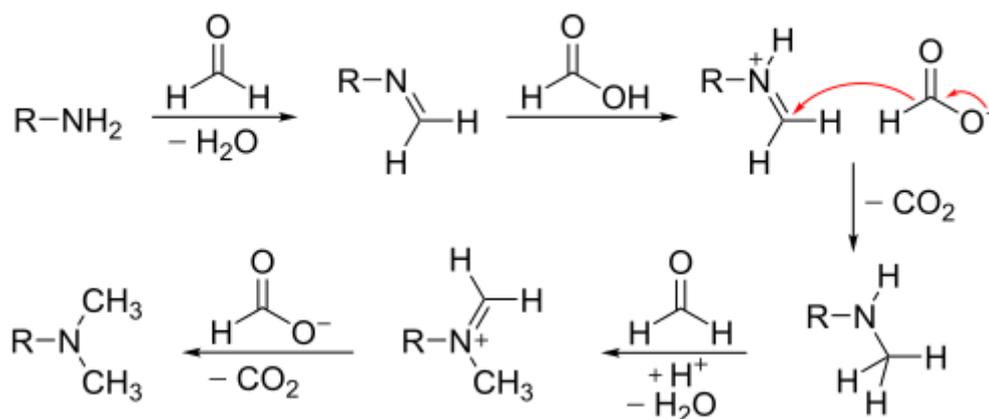


Рисунок 8 - Механизм реакции Эшвайлера-Кларка

### Выводы:

1. При сравнении таблиц 2 и 4 видно, что после изменений в аминокислотной последовательности энергия связи ацетилхолин-ловушка хуже связи ацетилхолин-рецептор и энергия связи мускарин-ловушка лучше связи мускарин-рецептор. Из этого можно сделать вывод, что в теории ловушка работает исправно и не нарушает работу ацетилхолиновых систем.

2. Замещение отрицательно заряженных аминокислот на положительные улучшает сродство мускарина из-за образования связей по донорно-акцепторному механизму из-за не поделённых электронных пар на кислороде. А также замена аминокислот с большими заместителями на меньшие позволяет лучше связывать мускарин из-за отсутствия пространственных затруднений.

3. Был получен фрагмент гена CRHM1, кодирующий селективный сайт связывания мускарина.

### Список источников

1. Матвеева, Антонина. Красно-белая лихорадка : зачем россияне съели полторы тонны мухоморов / Антонина Матвеева, Борис Ги // РИА новости : [сайт]. – URL: <https://ria.ru/20221114/mukhomory-1830915374.html>.

2. Michelot, D. Amanita muscaria: chemistry, biology, toxicology, and ethnomycology / D. Michelot, L. M. Melendez-Howell // Mycological Research. – 2003. - № 107, pt 2. – С. 131-146. – DOI 10.1017/s0953756203007305.

3. Lüllmann, Heinz. Color Atlas of Pharmacology / Heinz Lüllmann, Klaus Mohr, Lutz Hein. – Stuttgart : Thieme, 2018. – 444 с.

4. Mitchel, D. H. Amanita Mushroom Poisoning / D. H. Mitchel // Annual Review of

Medicine. – 1980. - № 31. - С. 51-57. - DOI 10.1146/annurev.me.31.020180.000411.

5. The National Center for Biotechnology Information : [сайт]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>.

6. Structural Bioinformatics Group at Imperial College London : [сайт]. – URL: <https://www.sbg.bio.ic.ac.uk>.

7. AlphaFold Server : [сайт]. – URL: <https://alphafoldserver.com>.

8. AutoDock Vina: Molecular docking program : [сайт]. – URL: <https://autodock-vina.readthedocs.io>.

9. PyMOL by Schrödinger : [сайт]. – URL: <https://pymol.org>.

10. Дифенгидрамин // Википедия : [сайт]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Дифенгидрамин>.

11. Hu, Jian. Synthesis of N,N,N-Trimethyl-1-Adamantyl Quaternary Ammonium Hydroxide and Technology Development / Jian Hu, Fang Wen Yang, Ming Gang Huang // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 391-392. – С. 1159-1163.

## Оценка корреляции между тяжестью заболевания Covid-19 и предрасположенностью к болезни Паркинсона

*В нашей работе мы выясняем корреляцию между тяжестью заболевания COVID-19 и предрасположенностью к болезни Паркинсона. Были выбраны мутации в генах белков, ассоциированных с болезнью Паркинсона, и подобраны праймеры для их идентификации. Затем была выделена ДНК из образцов инактивированной сыворотки крови двумя наборами для выделения ДНК. После проведения ПЦР в реальном времени с двумя праймерами был выбран наиболее эффективный набор и дальнейшее выделение ДНК проводили им. Также мы провели электрофорез, который показал, что полученная при ПЦР в реальном времени ДНК пригодна к дальнейшему секвенированию по Сэнгеру. Затем был проведён ПЦР в реальном времени с оставшимися праймерами.*

**Ключевые слова:** COVID-19, болезнь Паркинсона, последствия Постковидного синдрома.

Болезнь Паркинсона – распространенное нейродегенеративное заболевание, характерное для старшей возрастной группы (возраст начала варьируется от 20 до 60 лет, в зависимости от формы заболевания). Вызвано прогрессирующим разрушением и гибелью нейронов, вырабатывающих дофамин, — прежде всего в чёрной субстанции, а также и в других отделах центральной нервной системы. Недостаточная выработка дофамина ведёт к тормозному влиянию на кору головного мозга. Основными симптомами являются: мышечная слабость, гипокинезия, тремор, постуральная неустойчивость. Я выбрала эту тему, так как считаю, что очень важно знать заранее, что человек в группе риска. Например, если кто-то знает, что он имеет предрасположенность к болезни Паркинсона, и мы подтвердим связь тяжёлого постковидного синдрома и его патологии, то он будет тщательнее следить за своим здоровьем. Также, если корреляция между предрасположенностью к болезни Паркинсона и тяжестью заболевания COVID-19 подтвердится, то это даст повод к более тщательному наблюдению за пациентами при кажущемся ОРВИ и проведению большего числа исследований.

**Актуальность** этой темы можно обосновать тем, что в 2020 году многие люди переболели COVID-19. Сейчас, спустя 5 лет, люди страдают от последствий COVID-19, в частности от развития неврологических нарушений. Кроме того, новые штаммы SARS-CoV-2, несмотря на общую тенденцию к снижению тяжести заболевания, продолжают

вызывать длительные когнитивные нарушения.

**Цель работы** – оценить зависимость тяжести заболевания Covid-19 и развития постковидных нарушений от предрасположенности к болезни Паркинсона.

**Задачи:**

1. Выявить мутации, ассоциированные с болезнью Паркинсона.
2. Подобрать праймеры к фрагментам ДНК, содержащим эти мутации.
3. Выделить ДНК из инактивированной сыворотки крови.
4. Амплифицировать фрагменты ДНК.
5. Секвенировать фрагменты ДНК и проанализировать полученные данные.

Методы и материалы исследования.

**Этапы работы:**

1. Анализ литературы и баз данных мутаций, ассоциированных с повышенным риском развития болезни Паркинсона. Подбор праймеров для амплификации участков ДНК, содержащих эти мутации.

2. Выделение ДНК из инактивированной сыворотки крови.
3. ПЦР в реальном времени.
4. Секвенирование по Сэнгеру или электрофорез.

1) Анализ литературы и баз данных мутаций, ассоциированных с повышенным риском развития болезни Паркинсона. Подбор праймеров для амплификации участков ДНК, содержащих эти мутации.

Нами были отобраны 4 белка, мутации в генах которых приводят к болезни Паркинсона:

- ***GBA c.1226A >G; p.N370S и p.1448T>C p.L444P***

Варианты *GBA* чаще встречались у пациентов с ранним началом заболевания (<50 лет), более быстрым развитием деменции и более агрессивным течением двигательной активности. Взятые мутации связаны также с Болезнью Гоше, так как у больных начинают проявляться симптомы Паркинсонизма. Есть исследования, доказавшие связь между мутациями *GBA* и непосредственно болезнью Паркинсона. Ген *GBA* кодирует фермент глюкоцереброзидазу (расщепляет жировое вещество - глюкоцериброзид). При мутациях в этом гене синтезируется фермент со сниженной активностью, что способствует накоплению глюкоцереброзида в некоторых участках мозга, и приводит к болезни Паркинсона. Мутации *c.1226A>G; p.N370S и p.1448T>C; p.L444P* наиболее широко анализируются в исследованиях связи мутаций гена *GBA* с проявлением Болезни Паркинсона [1].

- **SNCA p.A30P**

Болезнь Паркинсона может быть связана со структурой белка  $\alpha$ -синуклеина. Мутация p.A30P влияет на N-концевой домен белка  $\alpha$ -синуклеина, также, эта мутация уменьшает положительный заряд N-конца и уменьшает контакты N и C-концов. Мутация p.A30P может проявляться дефицитом энергии, изменением митохондриального дыхания и липидного метаболизма в дофаминергических нейронах [1].

- **LRRK2 p.G2019S c.6055 G>A**

Распространена в европейских, еврейских и североафриканских популяциях. Фенотипически проявляется как идиопатическая болезнь Паркинсона (Характеризуется тремором, мышечной ригидностью, замедленностью и непроизвольными движениями, а также нарушением равновесия). У большинства пациентов с мутацией p.G2019S наблюдается патология телец Леви (Патологические белковые образования внутри дофаминергических нейронов), тогда как для других мутаций это нарушение встречается редко. [1]

- **PARK (Делеции и дупликации)**

Характеризуется ранним возрастом начала заболевания, дистонией нижних конечностей, отсутствием когнитивных нарушений, хорошим и устойчивым ответом на леводопу и частыми двигательными колебаниями и дискинезиями. Мутации в *PRKN*, вероятно, нарушают селективную деградацию митохондрий, необходимую для митохондриального гомеостаза. PARK — это E3-убиквитинлигаза, которая убиквитинирует внешние белки митохондриальной мембраны, такие как митофузин 1 и 2. При его мутациях митохондрии просто не могут нормально умереть [1].

Затем были подобраны и заказаны праймеры к выбранным фрагментам ДНК в компании «Евроген».

Была выделена ДНК из образцов инактивированной сыворотки крови. Образцы были предоставлены коллегами, которые ранее исследовали количественные показатели антител к COVID-19, поэтому для них у нас есть все метаданные - известна степень тяжести заболевания и наличие когнитивных нарушений. При этом образцы обезличены [2].

Мы использовали 2 набора для выделения ДНК: из почвы (PowerSoil Pro, Qiagen, Германия) и из крови (Biolabmix, Россия), с целью сравнить их и выявить наиболее эффективный набор для выделения ДНК из наших образцов.

Первым мы использовали набор PowerSoil Pro.

Протокол выделения ДНК набором PowerSoil Pro:

а. Слегка покрутите пробирку PowerBead Pro и убедитесь, что все гранулы осели на

дно. Добавьте 300 мкл плазмы крови и 800 мкл раствора CD1. Встряхните, чтобы перемешать.

b. Поместите пробирку PowerBead Pro в гомогенизатор для пробирок объемом 1,5- 2 мл. Взбивайте на максимальной скорости в течение 10 мин.

c. Центрифугируйте пробирку PowerBead Pro при 15000xg в течение 1 минуты.

d. Переместить 500-600 мкл надосадочной жидкости в чистую Microcentrifuge Tube.

e. Добавьте 200 мкл раствора CD2 и перемешивайте в течение 5 секунд.

f. Центрифугируйте пробирку PowerBead Pro при 15000xg в течение 1 минуты.

Перенесите до 700 мкл надосадочной жидкости в чистую Microcentrifuge Tube объемом 2мл.

g. Добавьте 600 мкл раствора CD3 и перемешивайте в течение 5 секунд.

h. Переместить 650 мкл лизата на колонку (MB Spin Column) и центрифугируйте при 15000xg в течение 1 минуты.

i. Слить жидкость из Collection Tube и повторить действие 8, чтобы весь лизат прошёл через колонку.

j. Аккуратно переместите колонку в чистую Collection Tube объемом 2 мл. Избегайте попадания жидкости на колонку.

k. Добавьте на колонку 500 мкл раствора EA. Центрифугируйте 15000xg в течение 1 минуты.

l. Слить проточную жидкость и поместить колонку в ту же Collection Tube.

m. Добавьте на колонку 500 мкл раствора C5. Центрифугируйте при 15000xg в течение 1 минуты.

n. Слить проточную жидкость и поместить колонку в новую Collection Tube.

o. Центрифугируйте при 16000xg в течение 2 минут. Аккуратно переместите колонку в новую Elution Tube объемом 1,5 мл.

p. Добавьте 80 мкл раствора C6 в центр белой фильтрующей мембраны.

q. Центрифугируйте при 15000xg в течение 1 минуты. Удалите колонку. Теперь ДНК находится в пробирке.

Затем была выделена ДНК набором Biolabmix из тех же образцов, что и набором PowerSoil Pro ранее.

Протокол выделения ДНК набором Biolabmix:

1) 200 мкл образца крови перенести в чистую микропробирку на 1.5-2.0 мл.

2) Чистым одноразовым наконечником добавить 750 мкл буфера для Лизиса LB.

Примечание: при выделении из 100 мкл рекомендуется также использовать 750 мкл буфера LB.

3) Перемешать образец на вортексе 5-10 с или пипетированием.

4) Сбросить капли коротким центрифугированием.

5) Инкубировать 10 мин при 15-25 °С.

6) Нанесение на колонку

1. Перенести не более 800 мкл лизата или супернатанта (в случае тканей) на колонку.

Плотно закрыть крышку колонки.

2. Центрифугировать 30 с, 10000 gcf. Удалить фильтрат. Примечание: если после центрифугирования часть раствора осталась на колонке, повторить центрифугирование увеличив время и/или скорость центрифугирования, не добавляя новую порцию образца или буфера LB. Примечание: Если объём лизата больше 800 мкл, повторно нанести избыток на ту же колонку и повторить центрифугирование.

7) Промывка колонки.

1. Нанести на колонку 500 мкл буфера для промывки WB1. Центрифугировать 30 с. 10000 gcf. Удалить фильтрат.

2. Нанести на колонку 500 мкл буфера для промывки WB2. Центрифугировать 30 с. 10000 gcf. Удалить фильтрат.

Примечание: не забудьте предварительно добавить к буферу WB2 этанол.

3. Центрифугировать колонку 3 мин, 10000 gcf для полного удаления буфера WB2.

8) Элюция ДНК.

1. Перенести колонку в новую микропробирку на 1.5-2 мл (не входит в состав набора).

Плотно прижать колонку к пробирке.

2. Нанести на центр фильтра колонки от 60 до 200 мкл буфера для элюции EB. Инкубировать 3 мин при комнатной температуре (15-25 °С). Центрифугировать 1 мин, 10000 gcf.

- При увеличении объёма элюции увеличивается количество ДНК и снижается концентрация ДНК. Количество ДНК при элюции объёмами 60 и 200 мкл может различаться в 1.5-2 раза.

- Вторая элюция новой аликвотой буфера для элюции EB или повторное нанесение элюата на колонку позволяет дополнительно увеличить количество ДНК.

- Буфер для элюции содержит 0.01 М Tris-HCl (pH 8.0). Элюировать образец также можно TE буфером (0.01 М Tris-HCl, 0.001 М EDTA, pH 8.0- 8.5) либо водой (pH 8.0- 8.5, pH доводить раствором NaOH).

9) Элюат, содержащий ДНК, хранить при -20°C. Для длительного хранения рекомендуется добавить EDTA (pH 8) до конечной концентрации 0.1-1 мм.

Примечание: EDTA может ингибировать ферментативные реакции, например, ПЦР.

После получения образцов ДНК выделенных двумя разными наборами мы хотели выявить более эффективный набор с помощью измерения концентрации ДНК в полученных образцах. Использовался набор dsDNA-HS.

Протокол измерения концентрации ДНК:

У нас уже был рабочий раствор, поэтому мы не разводили его самостоятельно.

- 1) Развели ДНК (190 мкл рабочего раствора + 10 мкл ДНК).
- 2) Перемешали пипетированием.
- 3) Измерили концентрацию ДНК с помощью флуориметра Qubit-4.

Получившиеся значения представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Результаты измерения концентрации ДНК

	<b>Набор для выделения ДНК из почвы (PowerSoil Pro)</b>	<b>Набор для выделения ДНК из крови (Biolabmix)</b>
S1	0,115	0,0260
S2	0,0178	0,820
S3	0,0284	No result (too low)
S4	0,0456	0,152

Исходя из полученных данных, мы не можем сделать вывод о том, какой из двух выбранных нами наборов наиболее эффективный. Поэтому было принято решение провести ПЦР в реальном времени с праймерами к BIN1.

Мы развели заказанные праймеры указанным количеством дистиллированной воды и получили растворы с концентрацией праймеров 100мкМ.

ПЦР мы проводили на четырех образцах ДНК на приборе ДТ-Прайм (ДНК-Технология, Россия) с использованием смеси qPCR-HS Sybr (Евроген, Россия). В состав смеси входят: высокопроцессивная Taq ДНК полимеразы со специфическими моноклональными антителами, краситель SYBR Green I, смесь дезоксинуклеозидтрифосфатов, Mg<sup>2+</sup>, ПЦР буфер. Для постановки реакции ПЦР в смесь требуется добавить праймеры, матрицу ДНК и воду.

Были использованы объёмы компонентов для постановки реакции ПЦР, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Объёмы компонентов для постановки ПЦР в реальном времени

Компонент	V (мкл)
ДНК	2
BIN1-Fc	1
BIN1-Rc	1
5X qPCRmix-HS SYBR	5
Вода	16
Всего	25

Мы провели ПЦР в реальном времени для двух образцов: S1 и S2 (из каждого было выделено ДНК двумя наборами, таким образом получилось 4 образца: S1 BIN1 kit1, S1 BIN1 kit2, S2 BIN1 kit1 и S2 BIN1 kit2 (kit1 – набор для выделения ДНК из почвы (PowerSoil Pro), kit2 – набор для выделения ДНК из крови (Biolabmix))).

Программа ПЦР в реальном времени:

1. 95.0 °C – 0:02:00
2. 95.0 °C – 0:00:25  
54.0 °C – 0:00:30  
72.0 °C – 0:00:30  
72.00 °C – 0:00:10 (Детекция флуоресценции)
3. 12.0 °C - Хранение

Впоследствии был проведён электрофорез в 2% геле агарозы в буфере TAE (трис-ацетат-ЭДТА). Электрофорез проводили в течение 40 минут при напряжении 100 В с использованием источника питания Эльф (ДНК-Технология, Россия) и камеры Хеликон (Россия). В качестве маркера молекулярного веса использовали маркер 1kb plus (New England Biolabs, США).

По результатам ПЦР в реальном времени мы сравнили номера циклов, на которых началось активное накопление продуктов амплификации.

Таблица 3 - Данные результатов ПЦР в реальном времени.

	kit1	kit2
S1 BIN1	28,2	31,5
S2 BIN1	24,8	25,8

Номер цикла у образцов, выделенных набором PowerSoil Pro ниже, чем у тех, которые были выделены набором Biolabmix. Следовательно, при амплифицировании ДНК, выделенной с помощью набора PowerSoil Pro происходит лучшее избавление от ингибиторов последующих реакций. Поэтому, при последующем выделении ДНК использовался набор PowerSoil Pro. По результатам электрофореза мы можем сделать вывод, что выделенная ДНК целостна, и может использоваться для дальнейшей амплификации.

В ходе дальнейшей работы был проведён ПЦР в реальном времени с образцами S5 (Рисунок 3) и S2 (Рисунок 4) с оставшимися праймерами, то есть с PICALM\_Fc/Rc, L444P, PICALM\_Ras/Fas, SNCA, BIN1\_Ras/Fas, LRRK2.

Были использованы объёмы компонентов для постановки реакции ПЦР, представленные в таблице 4.

Таблица 4 - Объёмы компонентов для постановки ПЦР в реальном времени

Компонент	V (мкл)
ДНК	2
Праймер-Fw	1
Прфймер-Rew	1
5X qPCRmix-HS SYBR	5
Вода	16
Всего	25

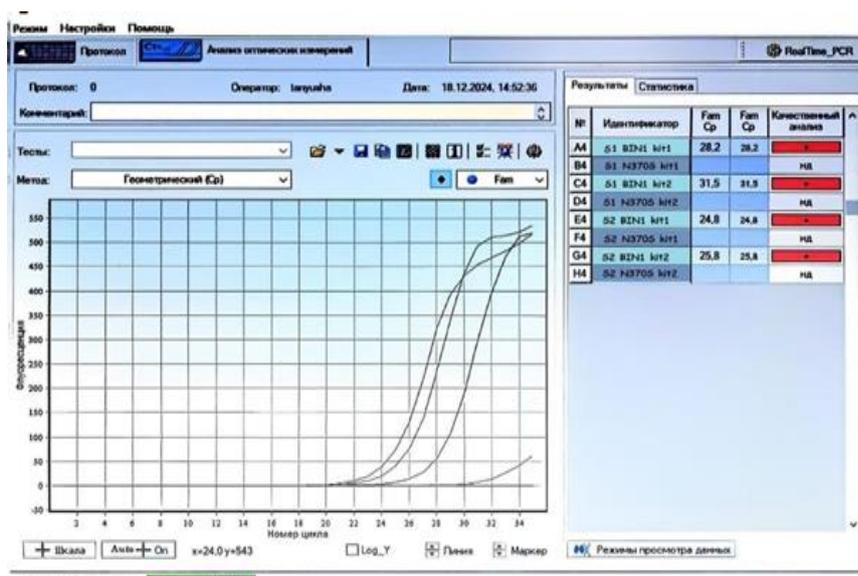


Рисунок 1 - Графическое изображение результатов ПЦР в реальном времени

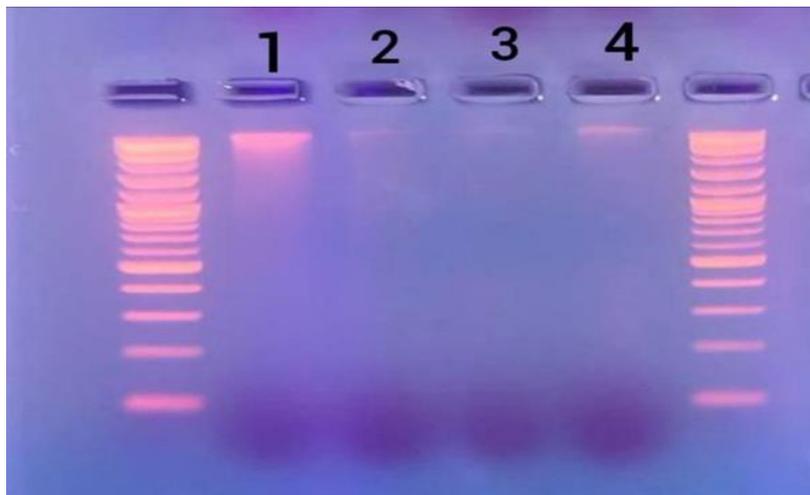


Рисунок 2 - Графическое изображение электрофореза: 1- образец S1, 2- образец S2. 3 и 4 – пробы ДНК коллег, взятые для сравнения

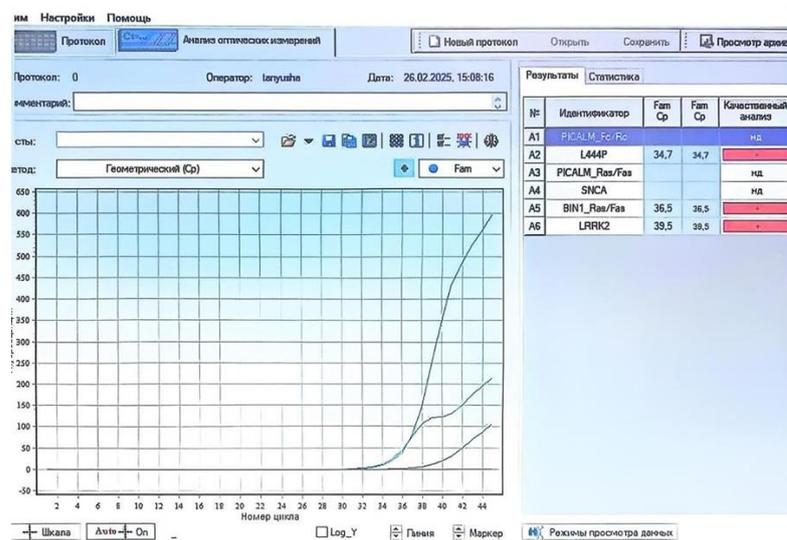


Рисунок 3 - Графическое изображение результатов ПЦР в реальном времени с образцом S5

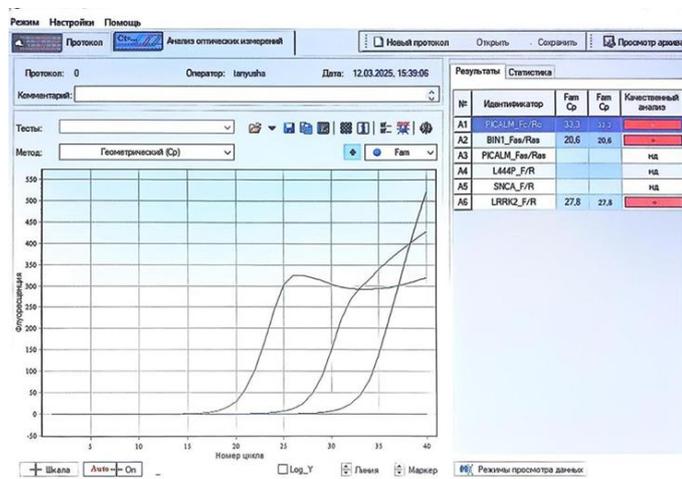


Рисунок 4 - Графическое изображение результатов ПЦР в реальном времени с образцом S2

Исходя из полученных результатов ПЦР в реальном времени, можно сделать вывод, что праймеры L444P, BIN1\_Ras/Fas, LRRK2, рабочие и полученные образцы могут быть использованы для Секвенирования по Сэнгеру.

#### **Выводы:**

1. На основании литературных данных были выбраны белки, ассоциированные с болезнью Паркинсона, подобраны и заказаны праймеры к участкам с полиморфизмами.
2. По концентрации ДНК не удалось определить наиболее эффективный набор для выделения ДНК.
3. С помощью ПЦР в реальном времени с праймером BIN1 было показано, что набор PowerSoil Pro является оптимальным для выделения ДНК из сыворотки крови и будет использован в дальнейшем.

#### **Планы на будущее:**

1. Провести ПЦР в реальном времени с подобранными праймерами.
2. С помощью секвенирования по Сэнгеру оценить наличие мутаций и их корреляцию с тяжестью заболевания и постковидного синдрома.

#### **Список источников**

1. Jia, Fangzhi. Monogenic Parkinson's Disease: Genotype, Phenotype, Pathophysiology, and Genetic Testings / Fangzhi Jia, Avi Fellner, Kishore Raj Kumar // Genes (Basel). – 2022. - № 13 (3). - С. 471. – DOI 10.3390/genes13030471.
2. Breakpoint mapping of 13 large *parkin* deletions/duplications reveals an exon 4 deletion and an exon 7 duplication as founder mutations / Peter Elfferich, Marja C Verleun-Mooijman, J Anneke Maat-Kievit [et al] // Neurogenetics. – 2011. – № 12 (4). – С. 263-271. – DOI 10.1007/s10048-011-0302-9.
3. Mutations in PRKN and SNCA Genes Important for the Progress of Parkinson's Disease / Anna Oczkowska, Wojciech Kozubski, Margarita Lianeri [et al] // Current Genomics. – 2013. – № 14 (8). – С. 502–517. - DOI 10.2174/1389202914666131210205839.
4. Zhao, Yuwen. The role of genetics in Parkinson's disease: a large cohort study in Chinese mainland population / Yuwen Zhao, Lixia Qin, Hongxu Pan [et al] // Brain. – 2020. – Vol. 143, is. 7. – С. 2220-2234. – DOI 10.1093/brain/awaa167.
5. Generation of two iPS cell lines (HIHDNDi001-A and HIHDNDi001-B) from a Parkinson's disease patient carrying the heterozygous p.A30P mutation in SNCA / Peter A. Barbuti, Bruno F. R. Santos, Claire M. Dording [et al] // Stem Cell Research. – 2020. – № 48. –101951. – DOI 10.1016/j.scr.2020.101951.

6. Analysis of the LRRK2 p.G2019S mutation in Colombian Parkinson's Disease Patients / Andrés Felipe Duque, Juan Carlos Lopez, Bruno Benitez [et al] // Colombia Médica. – 2015. – № 46 (3). – C. 117-121.
7. Breakpoint mapping of 13 large parkin deletions/duplications reveals an exon 4 deletion and an exon 7 duplication as founder mutations / Peter Elfferich, Marja C Verleun-Mooijman, J Anneke Maat-Kievit [et al] // Neurogenetics. – 2011. – № 12 (4). C. 263-271. – DOI 10.1007/s10048-011-0302-9.
8. IgG Antibodies Develop to Spike but Not to the Nucleocapsid Viral Protein in Many Asymptomatic and Light COVID-19 Cases / Maria Tutukina, Anna Kaznadzey, Maria Kireeva [et al] // Viruses. – 2021. – № 13 (10). – C. 1945. - DOI 10.3390/v13101945.
9. The Intersection of Parkinson's Disease, Viral Infections, and COVID-19 / Benjamin Rosen, Alberim Kurtishi, Gonzalo R Vazquez-Jimenez [et al] // Molecular Neurobiology. – 2021. № 58 (9). – C. 4477–4486. – DOI 10.1007/s12035-021-02408-8.

### Изучение социального поведения полевой мыши *Apodemus agrarius* (Pallas, 1771) в экспериментальных условиях

*В работе показано, насколько целесообразно применение методики визуальных наблюдений за экспериментальной группой полевых мышей при изучении их социальной структуры. В вольерных условиях создана экспериментальная группа полевых мышей, состоящая из диких половозрелых животных. Провели серию визуальных наблюдений и на основе полученных данных выявили социальную иерархию среди самцов и в тоже время частое совместное использование гнездовых камер. Полученные результаты противоречат тому, что полевая мышь ведет одиночно-групповой образ жизни, как ранее предполагалось.*

**Ключевые слова:** Полевая мышь, Социальная структура, поведение.

Полевая мышь - достаточно многочисленный вид, имеющий широкий ареал, состоящий из двух частей: от восточной Европы до западного Прибайкалья и степей Казахстана и изолированно Дальневосточно – китайская часть. Со второй половины 20 века ареал активно расширяется за счет деятельности человека (рисунок 1) [1].

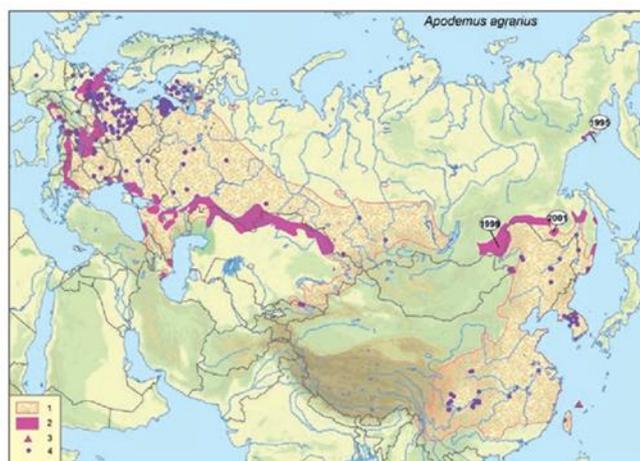


Рисунок 1 - Ареал полевой мыши (по Хляп, 2018)

Экология вида хорошо изучена, поскольку вид живет по соседству с человеком, является переносчиком зоонозных заболеваний и сельскохозяйственным вредителем. Экологи в разных частях ареала проводят ежегодные учеты численности мышевидных грызунов, и полевая мышь во многих биотопах занимает лидирующие позиции. Во многих частях ареала, полевая

мышь склонна к факультативной синантропии. Также это единственный вид свободноживущих мышевидных грызунов, который глубоко проникает в крупные города, включая Москву, и заселяет всевозможные парки и скверы с образованием стабильных городских популяций с численностью, превышающей пригородные популяции. То есть вид очень пластичный и быстро адаптируется к изменению среды, а также стрессоустойчивый, что позволяет ему жить в крупных городах [2, 3, 4, 5]. С помощью площадок мечения и повторных отловов [6, 7, 8], полевую мышь определили к животным с одиночно-групповым образом жизни, т.е. каждый зверек имеет собственный индивидуальный участок, которые перекрываются на значительной площади. Для поддержания стабильности такой пространственной структуры необходимо иметь определенные поведенческие механизмы [6].

В то же время поведение полевой мыши слабо изучено, а те данные, что имеются, получены при парных ссаживаниях и экспериментах в лабиринте и открытом поле [9, 10]. Подобные методики не дают представления о поведении зверьков в природе, установлении социальных связей, территориальном поведении и т.д. Социальное поведение полевой мыши в природе не изучено, наблюдение в зарослях кустарника и бурьяне затруднительно или вовсе невозможно. Остается открытым вопрос - какова социальная структура данного вида.

**Актуальность:** тема является актуальной, т.к. полевая мышь — это массовый вид грызунов, который охотно селится по соседству с человеком, но каким образом вид поддерживает стабильную структуру в популяциях и за счет чего быстро адаптируется к новым условиям – вопросы до сих пор малоизученные. Изучение внутривидовых отношений в экспериментальных условиях позволит ответить на некоторые вопросы.

**Цель работы** – применить методику визуальных наблюдений в экспериментальном вольере, для изучения социального поведения полевой мыши.

**Задачи:**

- 1) Провести серию визуальных наблюдений за группой животных в экспериментальном вольере, отмечая все типы взаимодействий между зверьками.
- 2) Проанализировать, какие типы взаимодействий характерны между самками, между самцами и между самцами и самками.
- 3) По соотношению инициированных зверьками агрессивных контактов, определить их социальное положение и выявить социальную структуру в группе.
- 4) Оценить совместное использование зверьками пространства.

Экология полевой мыши (Литературный обзор).

Полевая мышь, *Apodemus agrarius* (Pallas, 1771) - один из наиболее распространённых на территории России видов мелких грызунов семейства мышиных (Muridae). Населяет

преимущественно кустарники, опушки, пойменные леса, поймы рек и лесостепи, а также антропогенные ландшафты - поля, огороды, вырубки, пустыри, лесополосы, парки; во всех биотопах придерживается влажных мест с густой высокой травянистой растительностью [1]. К югу расселяется по берегам оросительных каналов и лесополосам. Продвижение на север связано с проникновением в населенные пункты, где предпочитает поросшие сорняками пустоши, парки, огороды, сады. Во многих современных городах средней полосы России – типичный обитатель незастроенных территорий – скверов и парков. Может вселяться и в сами постройки, преимущественно сельские, не порывая при этом связи с окружающими биотопами [5]. В некоторых частях ареала, доля среди мелких млекопитающих может составлять до 60% на полях зерновых и в населенных пунктах, снижаясь до 3% на суходольных и низинных лугах и до 0.1–0.3% в ельниках и на вырубках [11]. Полевая мышь, характеризуется высокой подвижностью и легко преодолевает малоприспособленные для нее биотопы. Индивидуальные участки взрослых самцов могут достигать до 3200 кв. м, самок – до 1300 кв. м [6], а в зимнее время сокращаются в три раза (Панченко, 1983) Характерно смешанное питание с преобладанием семян, роль которых возрастает к осени [12]. Предпочитает влажные местообитания, склонна к обитанию на полях и в населенных пунктах. Нередко достигает высокой численности. Сезонный пик размножения в Центральном Черноземье приходится на июнь-август, а в Приамурье – на август. Средняя величина выводка в Центральном Черноземье варьирует от 4.7 до 7.8. В Тамбовской области и в Приамурье отмечено подснежное зимнее размножение [13]. Полевой мыши свойственна высокая экологическая пластичность, которая позволяет адаптироваться к антропогенно нарушенной среде с помощью разнообразных популяционных, в том числе поведенческих, механизмов [9]. Все эти экологические характеристики обуславливают адаптации полевых мышей к антропогенным биотопам и широкое расселение, особенно вдоль ручьев, по поймам рек и сельскохозяйственным землям. Может наносить существенный вред сельскому хозяйству, особенно в годы пика численности. Один из важнейших вредителей зерновых культур. В лесопитомниках уничтожает семена ценных пород деревьев, обгрызает кору молодых побегов широколиственных пород и ягодных кустарников. В складах загрязняет и уничтожает готовую сельскохозяйственную продукцию, участвует в циркуляции возбудителей многих природноочаговых заболеваний и входит в число лидеров среди грызунов, имеющих медицинское значение.

### **Материал и методика.**

Экспериментальная часть работы проведена с сентября по октябрь 2024 года на Научно-экспериментальной базе «Черноголовка» ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН. Наблюдения проводили в вольере площадью 40 кв.м, который находился в неотопляемом помещении с

застекленными торцевыми стенами. Таким образом, животные содержались при естественном температурном и световом режиме, с подсветкой в темное время суток для удобства наблюдений. В вольере находились гнездовые домики со мхом и ватой, кормушки, поилки и коряги для усложнения интерьера. Корм и вода всегда были в избытке (рисунок 2).



Рисунок 2 - Экспериментальный вольер для наблюдений

В эксперименте использовали взрослых животных в активной половой фазе (семенники у самцов ярко выражены), отловленных в окрестностях г. Черноголовка в августе 2024 года. Животные были отловлены в двух точках на расстоянии 1-1,5 км с преградами в виде деревни и речки, т.е. ранее не встречались. После отлова и до эксперимента мыши содержались по одиночке. Сформирована экспериментальная группа из 6 особей (2 самки, 4 самца), в которой из каждой точки отлова было по 1 самке и 2 самца. Такое соотношение полов основано на данных по пространственной структуре вида, где индивидуальные участки самцов больше участков самок и чаще перекрываются между собой [6].

Для удобства наблюдения животные в группе были индивидуально помечены выстриганием определенного рисунка на шерсти (рисунок 3).

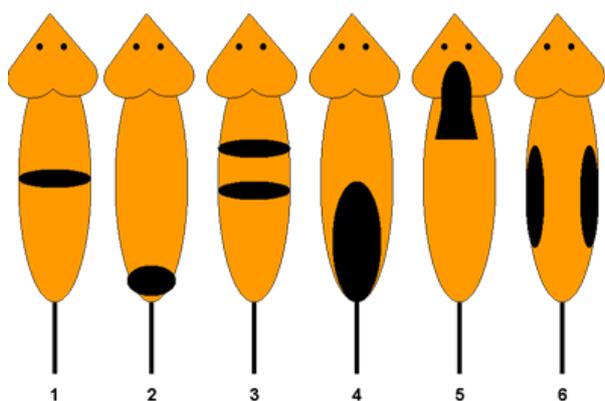


Рисунок 3 - Метки экспериментальных животных

Для анализа взаимодействий мы использовали классификацию поведенческих элементов, которую успешно применяют для полевок рода *Clethrionomys* [14], при наблюдениях за мышами новых поведенческих элементов не обнаружено.

Все взаимодействия разделяли на:

1. жесткая агрессия: нападения, преследования, укусы, клубки;
2. мягкая агрессия: выпады при нападении, отталкивания, боксирование;
3. дружелюбные контакты: следования, сидение рядом, сучивание, груминг;
4. опознавательные контакты: назо-назальные и назо-анальные обнюхивания, обнюхивание тела;
5. избегания особями друг друга.

Также мы использовали такой показатель, как совместное использование гнездовых домиков для сна. При наблюдениях отмечали из какого домика зверек начинает активность и при различных манипуляциях в вольере также отмечали кто где сидел.

Социальное положение особей определяли по соотношению инициированных ими или направленных на них агрессивных контактов.

Наблюдения проводили в дневное либо вечернее время, выпадающее на пики активности зверьков. Всего было проведено 14 наблюдений общей продолжительностью 31,5 часа (1890 мин.) и отмечено 533 взаимодействия между зверьками.

### **Результаты и обсуждение.**

В целом зверьки достаточно быстро адаптировались к условиям вольера, на 3й день после запуска группы вся площадь была освоена, и полностью сформировались взаимоотношения. При наблюдениях зверьки вели себя спокойно, не боялись наблюдателя, не пытались прятаться или выпрыгивать из вольера. Во время активности мыши в основном исследовали территорию, кормились и взаимодействовали друг с другом. Все зафиксированные взаимодействия между зверьками, для удобства восприятия можно разделить по половому признаку.

Взаимодействия между самками (рисунок 4).

Несмотря на то, что самки были отловлены в разных точках, между ними за весь период наблюдений не было отмечено агонистических взаимодействий. Встречи друг с другом, носили дружелюбный характер (38%), что выражалось в сидении рядом, следовании и груминге, 62% контактов носили опознавательный характер, большинство из которых были – назо-назальные обнюхивания.

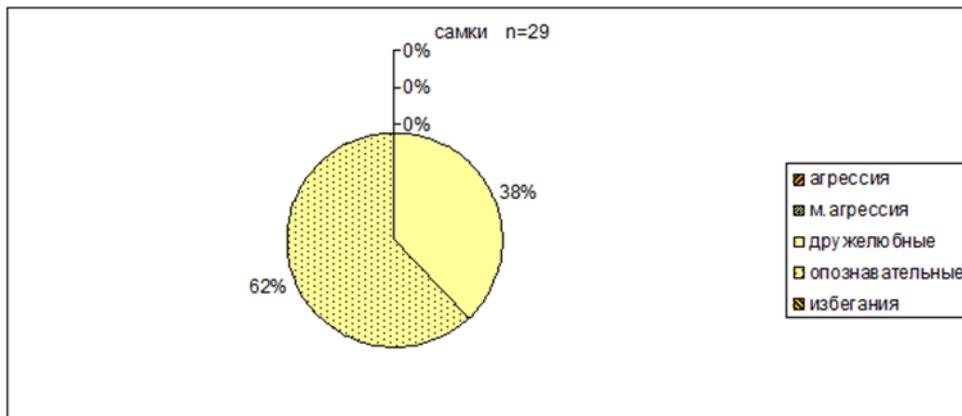


Рисунок 4 - Взаимодействия между самками

Взаимодействия между самцами (рисунок 5).

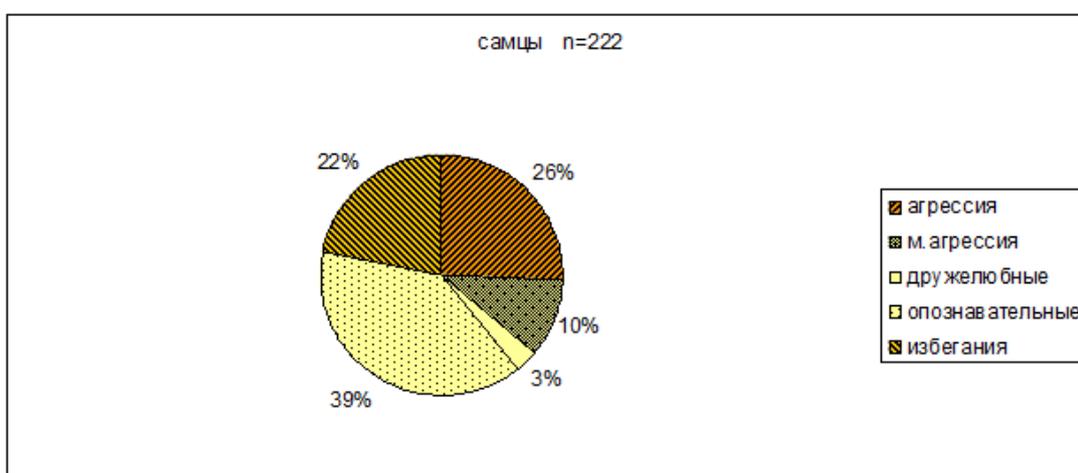


Рисунок 5 - Взаимодействия между самцами

Примерно половина взаимодействий можно отнести к агонистическим: 26% приходилось на жесткую агрессию, когда один из самцов напал на другого и преследовал его некоторое время, 22% приходилось на избегание, когда подчиненный самец, заметив доминанта, резко менял направление. Отмечена значительная часть опознавательных контактов (39%) из которых большинство — это обнюхивание тела с боку, интересно отсутствие назо-анальных обнюхиваний. 23% приходилось на мягкую агрессию, в основном это взаимные стойки и боксирование. Дружелюбных взаимодействий среди самцов было всего 7% в виде сидения рядом.

Взаимодействия между самцами и самками (рисунок 6).

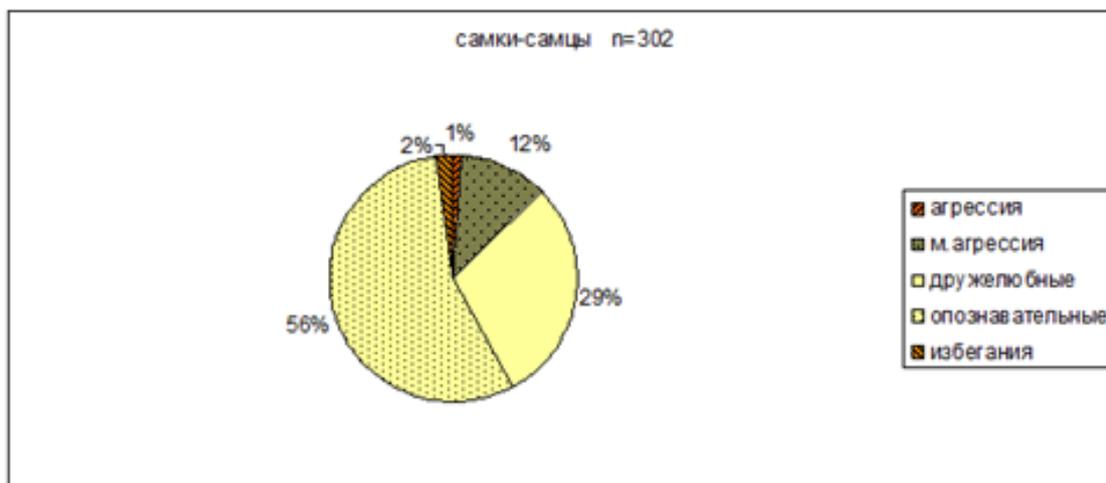


Рисунок 6 - Взаимодействия между самцами и самками

В целом данные отношения носили дружественный характер, только 3% приходилось на агонистические взаимоотношения. 56% приходилось на опознавательные контакты, где присутствовали все типы обнюхиваний. Было отмечено 29% дружелюбных контактов, состоящих из сидения рядом и следований друг за другом. На долю боксирования и отталкиваний приходилось 12%.

Большое количество агонистических взаимодействий между самцами позволяет предположить, что среди них в изучаемой группировке существовала определённая иерархия. Социограммы составленные по агонистическим реакциям, т. е. по агрессии и избеганию (рисунок 7), наглядно показывают направленность данных взаимодействий и их количество за период наблюдений.

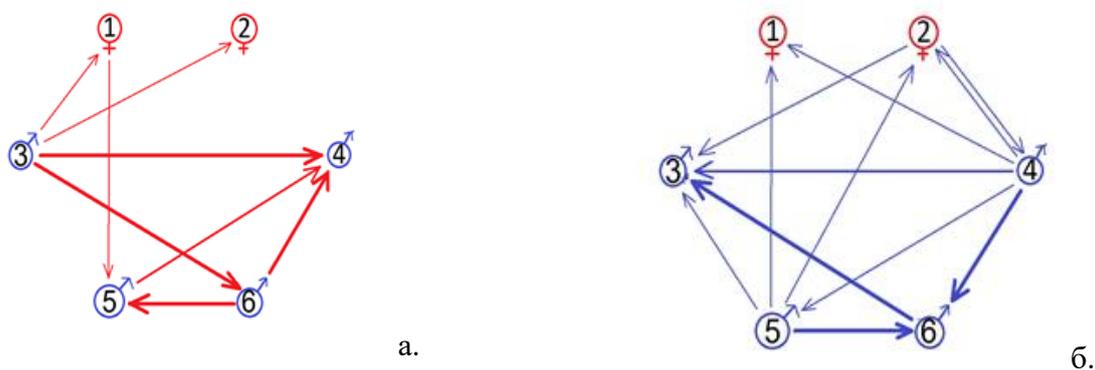


Рисунок 7 - Направленность агрессивных контактов (а) и избеганий (б)

При анализе социограм прослеживается ярко выраженная социальная иерархия линейного типа среди самцов исследуемой группы (рисунок 8).

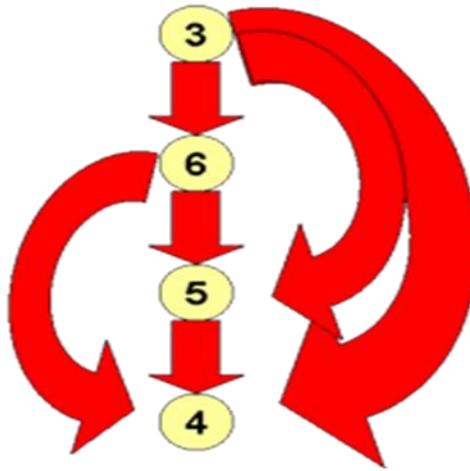


Рисунок 8 - Схема иерархических отношений среди самцов

Доминантом в ней является особь №3, а далее, по нисходящей, идут самцы №6 (доминирует над №5 и №4), №5 (доминирует над №4) и №4, не доминирующий ни над кем. Самки в эту иерархию, по всей видимости, не входят, так как ни они сами, ни по отношению к ним практически не проявлялось агонистическое поведение.

Еще одним важным показателем для оценки социальной структуры вида, может послужить совместное использование гнездовых камер. Для видов с одиночно-групповым образом жизни, к которому относят полевую мышь, характерно одиночное использование гнездовых камер, как в природе, так и при вольерном содержании [6, 14]. По нашим данным (рисунок 9) мыши совместно использовали несколько домиков для сна и собирались там почти полным составом.

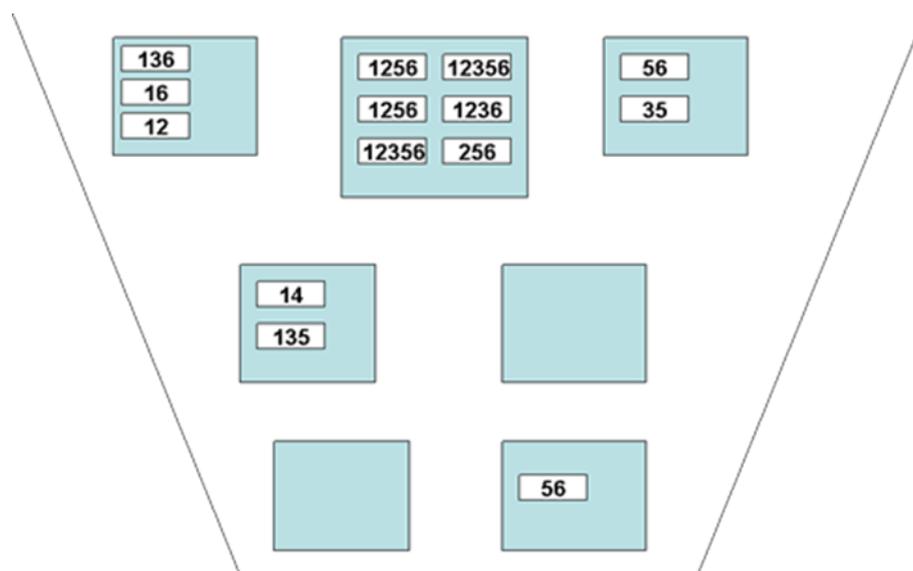


Рисунок 9 - Случаи совместного использования гнездовых домиков (цифрами обозначены номера зверьков)

Есть данные, что в осенне-зимний период полевая мышь может образовывать временные агрегации на небольшой площади [7], но с другой стороны сентябрь 2024 года был теплым, и самцы находились в активной фазе. Можно предположить, что при смене внешних условий полевая мышь может менять социальную структуру с одиночно-групповой на групповую или даже семейно-групповую, что позволяет ей быстро адаптироваться к новым условиям. Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

### **Выводы.**

1) При наблюдениях зверьки вели себя спокойно, не боялись наблюдателя, не пытались прятаться или выпрыгивать из вольера. Во время активности мыши в основном исследовали территорию, кормились и взаимодействовали друг с другом. Всего за месяц было зарегистрировано 553 взаимодействия.

2) Между самками сложились дружественные отношения, подтвержденные дружелюбными и опознавательными контактами. Ни одного агрессивного контакта между ними отмечено не было. Во взаимодействиях между самцами было зарегистрировано половина агонистических контактов и только 3% дружелюбных. Отношения самцов с самками были дружественными, что также подтверждалось преобладанием опознавательных и дружелюбных контактов.

3) В экспериментальной группе прослеживается ярко выраженная социальная иерархия линейного типа среди самцов. Доминантом в ней является особь №3, а далее, по нисходящей, идут самцы №6 (доминирует над №5 и №4), №5 (доминирует над №4) и №4, не доминирующий ни над кем.

4) Мыши совместно использовали несколько домиков для сна и собирались там почти полным составом, что противоречит одиночно-групповому образу жизни.

### **Заключение.**

Методику визуальных наблюдений в экспериментальном вольере, для изучения социального поведения полевой мыши можно считать подходящей. Зверьки вели себя спокойно, не боялись наблюдателя, не пытались прятаться или выпрыгивать из вольера, большое количество времени проводили вне убежищ и в полной мере показывали свои взаимоотношения. Прделанная работа позволяет с уверенностью говорить о перспективности исследования поведения полевой мыши с помощью методики визуального наблюдения в экспериментальном вольере. Для получения достоверных результатов по социальной структуре вида или другим этологическим и экологическим проблемам, требуется большее количество информации. В ходе дальнейшего развития темы предполагается

увеличить количество подопытных групп, а также работать с ними в разные периоды на протяжении года, что позволит получить необходимое количество статистических данных.

#### Список источников:

1. Хляп, Л. А. Полевая мышь / Л. А. Хляп // Самые опасные инвазионные виды России (Топ-100). – Москва : КМК, 2018. – С 595-603.
2. Жигарев, И. А. Мелкие млекопитающие рекреационных и естественных лесов Подмосковья / И. А. Жигарев. – Москва : Прометей, 2004. – 232 с.
3. Карасева, Е. В. Изменение численности и особенностей распространения мышей рода *Arvodemus* в незастроенных участках Москвы за последние 100 лет / Е. В. Карасева, А. Ю. Телицына, Е. З. Ермолаева // Животные в городе : мат-лы конф. – Москва : ИПЭЭ РАН, 2000. – С. 41-43.
4. Особенности обитания полевой мыши в условиях крупнейшего города (на примере Москвы) / Г. Н. Тихонова, Е. В. Карасева, И. А. Тихонов [и др] // Синантропия грызунов : мат-лы 2го совещания. – Москва : ИЭМЭЖ РАН, 1994. – С. 38-50.
5. Экологические аспекты формирования фауны мелких млекопитающих урбанистических территорий Средней полосы России / Г. Н. Тихонова, И. А. Тихонов, А. В. Суров [и др]. – Москва : КМК, 2012. – 372 с.
6. Громов, В. С. Пространственно-этологическая структура популяций грызунов / В. С. Громов. – Москва : КМК, 2008. – 581с.
7. Косой, М. Е. Сезонные изменения пространственной и этологической структуры популяции полевой мыши / М. Е. Косой // Грызуны : мат-лы VI Всесоюзного совещания. – Ленинград : Наука, 1983. – С. 396-398.
8. Панченко, В. А. О некоторых особенностях использования территории полевыми мышами / В. А. Панченко // Поведение животных в сообществах : мат-лы III Всесоюзн. конф. по поведению животных. – Москва : Наука, 1983. – С. 109-110.
9. Эколого-этологическая характеристика городских популяций полевой мыши / Л. П. Агулова, Н. С. Москвитина, Н. Г. Сучкова [и др] // Поведение и поведенческая экология млекопитающих : мат-лы конф. – Москва : КМК, 2005. - С. 6-8.
10. Андреевских, Анна Владимировна. Эколого-физиологические и этологические адаптации полевой мыши (*Arvodemus agrarius* Pall.) в городской среде : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 03.02.04 / Андреевских Анна Владимировна ; [Место защиты: Том. гос. ун-т]. – Томск, 2012. – 24 с.

11. Истомин, А. В. Особенности популяционной биологии некоторых чужеродных видов млекопитающих в зоне южной тайги Европейской части России / А. В. Истомин, Н. П. Кораблёв, М. П. Кораблёв // Вестник Псковского государственного университета. Серия «Естественные и физико-математические науки». – 2013. – № 2. – С. 16-29.
12. К экологии полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pall.) в лесостепном Черноземье. II. Биотопы и питание / Н. М. Окулова, Е. В. Калинин, Т. А. Миронова [и др] // Поволжский экологический журнал. – 2011. – № 3. – С. 370-378.
13. К экологии полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pall.) в лесостепном Черноземье. III. Состав популяции и размножение / Н. М. Окулова, Е. В. Калинин, Т. А. Миронова [и др] // Поволжский экологический журнал. – 2012. – № 3. - С. 268–277.
14. Осипова, О. В. Социальные отношения красных полевков в экспериментальных условиях / О. В. Осипова, М. А. Сербенюк // Поведение и коммуникация млекопитающих. – Москва : Наука, 1992. – С. 114-137.
15. Дымин, В. А. Полевая мышь – один из индикаторов сельскохозяйственного преобразования территории верхнего Приамурья / В. А. Дымин // Грызуны : мат-лы V Всесоюзного совещания. – Москва : Наука, 1980. – С. 402-403.
16. Мануков, Ю. И. Некоторые особенности экологии полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pall.) в пригороде Зеленограда / Ю. И. Мануков // Животные в городе : мат-лы конф. – Москва : ИПЭЭ РАН, 2000. – С. 37-39.
17. Панченко, В. А. Размещение и численность полевой мыши на территории Черкасской области / В. А. Панченко // Грызуны : мат-лы V Всесоюзного совещания. – Москва : Наука, 1980. – С. 258-259.

### Образование крыльев у водяных блох: морфологическая адаптация или важный таксономический признак?

Была изучена необычная популяция *Ceriodaphnia pulchella* Sars, 1862 (Crustacea: Cladocera), обнаруженная в зарослях макрофитов в реке Аргунь (Забайкальский край). Наряду с обычными особями, внешнее строение которых полностью соответствует литературным данным, в материале нами были обнаружены особи с отростками на створках, напоминающими крылья. Данная особенность не была ранее описана для *C. pulchella*. Поскольку образование рогов и разнообразных выростов на створках у некоторых других видов кладоцер является важным признаком при выделении и описании новых для науки видов, мы провели детальное описание «крылатых» особей *C. pulchella* и сравнили их с «бескрылыми». Нами установлено, что «крылатые особи» имеют такое же строение постабдомена, как и бескрылые. В виду их редкой встречаемости в материале (из 449 находок популяций *C. pulchella* «крылья» были найдены всего в трех популяциях, приуроченных к заводям рек, причем в этих популяциях «крылатые» и «бескрылые» особи всегда встречались совместно) нами сделан предварительный вывод о том, что «крылатые особи» являются морфами, приуроченными к зарослям рек. Возможно, латеральные крылья придают им дополнительную устойчивость при плавании. Расположение «крыльев» на створках у *C. pulchella* может быть использовано в бионике при конструировании плавсредств. Следующим этапом нашей работы будет проведение генетических исследований «бескрылых» и «крылатых» популяций с целью выявления возможных различий между ними, а также групп генов, ответственных за образование «крыльев».

**Ключевые слова:** *Ceriodaphnia*, микроскопия, редкие находки, река Аргунь, морфология.

Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera), или водяные блохи, – это микроскопические водные беспозвоночные, населяющие все континенты, включая временные водоемы Арктики и Антарктики. В мировой фауне известно более 700 видов ветвистоусых ракообразных, относящихся к четырем современным отрядам [1, 2]. Одними из самых богатых по числу видов и хорошо изученных групп кладоцер является семейство Daphniidae. Род *Daphnia* O.F. Mueller, 1785 даже упоминается в школьных учебниках [1].

Однако в составе семейства Daphniidae есть группы, которые по-прежнему нуждаются в таксономической ревизии. К таким слабо изученным кладоцерам относится род *Ceriodaphnia*

Dana, 1853. Далеко не у всех *Ceriodaphnia* хорошо описано внешнее строение, не ясна таксономическая значимость некоторых редко наблюдаемых признаков. Большинство из описанных к настоящему времени видов *Ceriodaphnia* рассматривают не в качестве самостоятельных видов, а в качестве групп видов [2]. И в такой ситуации возникает желание любую популяцию с выделяющимися морфологическими признаками описать в качестве самостоятельного вида.

Современная систематика видов рода *Ceriodaphnia* основана на особенностях строения головы, вооружении головы и створок, строении постабдомена, а также вооружении постабдоминального коготка (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 - Схема строения *Ceriodaphnia* (оригинальные данные, без масштабного отрезка).

Китайскими авторами была предпринята попытка описания нового вида, *Ceriodaphnia cornigera* Chiang, 1977 [3], на основе наличия латеральных выростов («крыльев») на голове и створках (рисунок 2) [2].

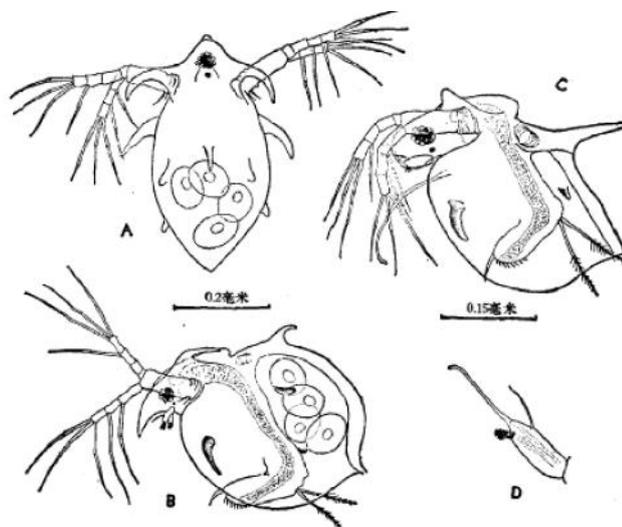


Рисунок 2 - Внешнее строение *Ceriodaphnia cornigera* Chiang, 1977 [3].

Однако, поскольку по строению постабдомена *C. cornigera* идентична *C. quadrangula* (O.F. Müller, 1785), многие исследователи рассматривают данный вид не в качестве самостоятельного вида, а в качестве экологической морфы по аналогии с планктонными видами рода *Daphnia*, образующими разнообразные морфы под действием различных факторов среды (изменение температуры воды, присутствие в водоеме хищников и др.) [2]. *C. cornigera* была отмечена преимущественно в летнее время в крупных озерах и водохранилищах.

Тем не менее, наличие латеральных рогов, выростов и «крыльев» на створках у ряда других видов ветвистоусых ракообразных вместе с другими признаками является надежным диагностическим признаком. Так, латеральные выросты на створках образуют следующие виды водяных блох: *Simocephalus lusaticus* Herr, 1917; *Ilyocryptus cornutus* Mordukhai-Boltovskoi et Chirkova, 1972; *Macrothrix pennigera* Shen, Sung et Chen, 1964; *Monospilus daedalus* Kotov et Sinev, 2011; *Disparalona ikarus* Kotov et Sinev, 2011. Интересно отметить, что большинство из перечисленных видов было обнаружено и описано из заводей рек. Однако впоследствии они были встречены и в слабопроточных водоемах [2].

В 2020 г. Евгения Хамидуловна Зыкова обнаружила необычную популяцию *Ceriodaphnia pulchella* Sars, 1862 (Crustacea: Cladocera) в зарослях макрофитов в реке Аргунь (Забайкальский край). Наряду с обычными особями, внешнее строение которых полностью соответствовало литературным данным, в материале были обнаружены особи с отростками на створках, напоминающими крылья. Данная особенность не была ранее известна для *C. pulchella*. В связи с этим, цель нашего исследования – прояснить статус популяций *C. pulchella*, в которых встречаются «крылатые» и «бескрылые» особи.

Для достижения этой цели нами были сформулированы следующие задачи:

1. Описать внешнее строение «бескрылых» и «крылатых» особей;
2. Проанализировать встречаемость «бескрылых» и «крылатых» популяций на основе доступных данных;
3. Сделать предположение о роли «крыльев» в адаптации кладоцер к условиям жизни в водоемах.

#### **Материалы и методы исследования.**

Материалом для данной работы послужила 1 проба, собранная в июле 2020 г. Евгенией Хамидуловной Зыковой в заводи реки Аргунь. Материал был собран при помощи сети Апштейна с диаметром ячеек 0.05 мм и зафиксирован 4% формальдегидом сразу после сбора [2].

В лаборатории «бескрылых» и крылатых особей *C. pulchella* под биноклем Olympus SZX2-ZB10 (Olympus Corporation, Япония) отсаживали из пробы на предметное стекло в

каплю глицерина, накрывали сверху покровным стеклом с пластилиновыми ножками и исследовали на прямом микроскопе Leica DM 1000 (Leica, Германия), оборудованном рисовальным аппаратом и цифровой камерой TourCam E3ISPM05000KPA (Hangzhou TourTek Photonics Co, Ltd., Китай).

На основе фотографий «крылатых» особей *C. pulchella* были изготовлены их рисунки. Рисунки выполняли по фотографии на плотной кальке при помощи рапидографа, затем сканировали на сканере Epson Perfection V39 (Epson, Китай).

Все полученные изображения были обработаны в программе Adobe Photoshop 2022 (Adobe, США).

Анализ встречаемости «бескрылых» и «крылатых» популяций выполнен на основе базы данных по коллекции ветвистоусых ракообразных Лаборатории экологии водных сообществ и инвазий, переведенной в формат Microsoft Excel (Microsoft, США).

Вклад роли «крыльев» в строение тела проанализирован на основе модели *Ceriodaphnia*, изготовленной из пластилина.

#### **Результаты и их обсуждение.**

В ходе нашей работы мы исследовали 20 «бескрылых» (Рис. 3) и 5 «крылатых» партеногенетических самок (Рис. 4) из материала, собранного в заводи Аргуни. Самцы и эфиппидальные самки в материале отсутствовали.

Внешнее строение «бескрылых» особей полностью соответствует литературным данным [2].

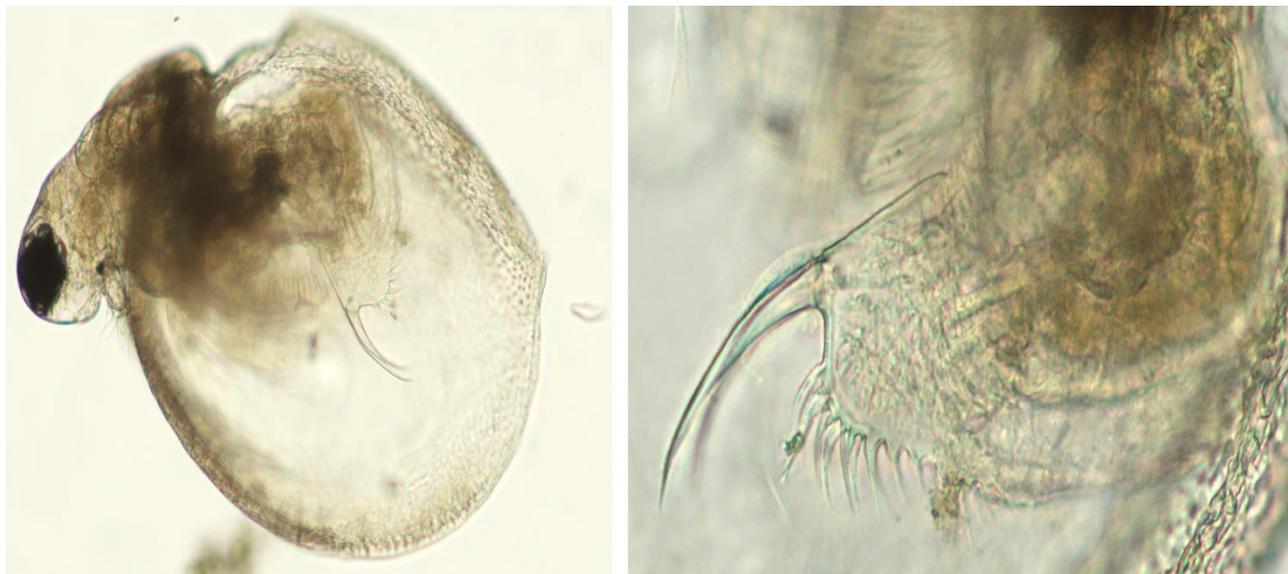


Рисунок 3 - Общий вид и постабдомен «бескрылых» особей *Ceriodaphnia pulchella*, река Аргунь, Забайкальский край. Без масштабного отрезка, оригинальные данные.

Тело «бескрылых» партеногенетических самок относительно прозрачное, коричневатое, слабо сжатое с боков, при взгляде сбоку широко-овальное, спинная выемка между головой и раковинкой хорошо выражена (рисунок 3). Тело без шипиков. Многоугольный рисунок на голове и створках не выражен. Рострум закругленный. Антеннулы короткие. Постабдомен наиболее высок в базальной части. На дорсальной стороне постабдомена на уровне проксимальных анальных зубцов имеется дополнительная группа внутренних зубцов. Коготки постабдомена с мелкими спинулами по всей длине. Длина тела до 0.9 мм.

«Крылатые» особи по строению постабдомена полностью идентичны «бескрылым» особям (рисунок 4Ж–З). Боковые отростки на створках наиболее хорошо различимы на виде со спинной или брюшной стороны (рисунок 4Б–В). А вот с латеральной стороны они практически не различимы. Возможно, это одна из причин, по которой исследователи пропускают «крылатых» особей при просмотре гидробиологических проб. Все отростки с широко-закругленными вершинами, в отличие от *C. cornigera*, имеющей вытянутые отростки (рисунок 2). У исследованных особей *C. pulchella* латеральные отростки всегда присутствовали только на створках и не развивались на голове, в отличие от *C. cornigera*.

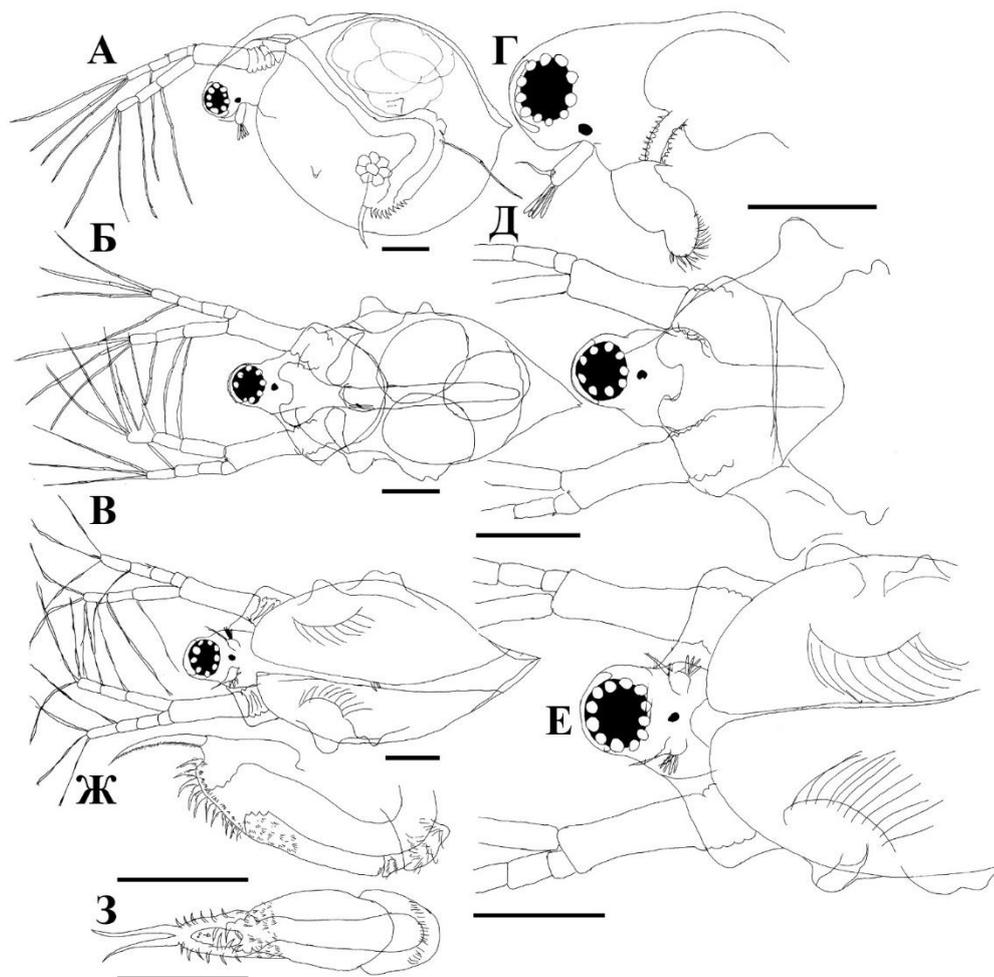


Рисунок 4 - Общий вид и постабдомен «крылатых» особей *Ceriodaphnia pulchella*, река Аргунь, Забайкальский край. Масштабный отрезок 0.1 мм, оригинальные данные.

На рисунке 4 изображено: А, Партеногенетическая самка, вид сбоку. Б, Партеногенетическая самка, вид со спинной стороны. В, Партеногенетическая самка вид с брюшной стороны. Г – Е, Голова, вид сбоку, сверху и снизу, соответственно. Ж, Постабдомен, вид сбоку. З, Постабдомен, вид со спинной стороны.

Анализ встречаемости популяций с «крылатыми» особями был выполнен на основе таблицы, содержащей 449 находок популяций *C. pulchella* в Евразии. «Крылатые» популяции были отфильтрованы по столбцу «комментарии» (запрос «*Ceriodaphnia with horns*» / «Цериодафнии с отростками»). Всего было обнаружено три популяции, в которых присутствовали особи с «крыльями»: одна популяция в Европейской части России (Нижегородская область) и две популяции в Азиатской части (в Бурятии и Забайкальском крае). Все находки были приурочены к заводям рек, причем в этих популяциях «крылатые» и «бескрылые» особи всегда встречались совместно.

Считается, что виды рода *Ceriodaphnia* обитают как в толще воды, так и в зарослях макрофитов [2]. Возможно, латеральные выросты на створках передают телу рачка вертикальную устойчивость при наличии в водоеме выраженного течения (рисунок 5). Расположение «крыльев» на створках у *C. pulchella* может быть использовано в бионике при конструировании плавсредств в тех случаях, когда при наличии течения им нужно сохранять вертикальную устойчивость, например, при поднятии или опускании на глубину.

Данные латеральные выросты вряд ли можно рассматривать в качестве защитных приспособлений против беспозвоночных хищников (например, личинок комаров), поскольку сами хищники в обработанном материале встречены не были. А во многих пробах, в которых присутствовали только «бескрылые» особи было обнаружено большое число личинок комаров. Поскольку к настоящему времени известно лишь незначительное число популяций, в которых присутствуют «крылатые» особи *C. pulchella*, и в этих популяциях наряду с крылатыми особями всегда присутствуют «бескрылые» в случае *C. pulchella* пока нельзя выделить «крылатых» особей в самостоятельный вид. По морфологическим данным «крылатые» особи представляют собой морфу. Следующим этапом нашей работы будет проведение генетических исследований «бескрылых» и «крылатых» популяций с целью выявления возможных различий между ними, а также групп генов, ответственных за образование «крыльев».

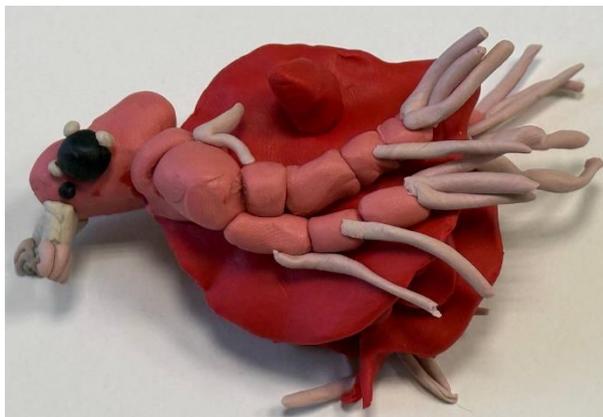


Рисунок 5 - Пластилиновая модель *Ceriodaphnia pulchella*, оригинальные данные

Интересно отметить, что в тех случаях, когда латеральные выросты на створках рассматриваются в качестве надежного диагностического признака видов, им приписывают роль защитных структур, предохраняющих тело бентосных ветвистоусых ракообразных от загрязнения частицами грунта или выедания беспозвоночными хищниками [1]. Однако экспериментально защитная роль «крыльев» у кладоцер не исследована.

#### **Заключение.**

Таким образом, по результатам нашей работы можно сделать следующие выводы:

1. По внешнему строению «бескрылые» и «крылатые» особи *Ceriodaphnia pulchella* отличаются только образованием латеральных отростков. Строение постабдомена у них полностью идентично. На данный момент наличие боковых выростов на створках нельзя рассматривать в качестве таксономически значимого признака для выделения «крылатых» особей в самостоятельный вид.

2. Популяции, в которых отмечены «крылатые» особи наряду с «бескрылыми» встречаются крайне редко. Однако они обнаружены в заводях рек и Азиатской, и Европейской части России. На данный момент «крылатых» особей можно рассматривать в качестве морфы, приуроченной к водоемам с течением.

3. По-видимому, боковые выросты на створках придают телу кладоцер вертикальную устойчивость при наличии в водоеме выраженного течения. Однако этот вопрос требует дальнейшего исследования с привлечением экспериментальных данных. Расположение «крыльев» на створках у *C. pulchella* может быть использовано в бионике при конструировании плавсредств с повышенной устойчивостью.

#### **Благодарности:**

Выражаю благодарность Анне Николаевне Неретиной за консультацию по проекту, помощь в оформлении работы, и конечно, за вкусную еду, которая придавала сил для реализации проекта, а также Евгении Хамидоловне Зыковой за предоставленные материалы и Shusen Shu за перевод описания *Ceriodaphnia cornigera* с китайского языка на русский.

## Список источников

1. Котов А. А. Морфология и филогения Anomopoda (Crustacea: Cladocera). – Москва : КМК, 2013. – 638 с.
2. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2. Систематическая часть / Коровчинский Н. М., Котов А. А., Синев А. Ю. [и др.]. – Москва : КМК, 2021. – 544 с.
3. Chiang S. C. Freshwater Cladocera. Fauna Sinica. Crustacea / Chiang S. C., Du N.S. – Peking: Science Press, Academia sinica, 1979. – 297 с.

### Зачем водяным блохам шипы?

*Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera), или водяные блохи, – одна из наиболее массовых групп беспозвоночных животных в планктоне континентальных водоемов. На основе коллекционного материала мы описали внешнее строение редкого вида ветвистоусого ракообразного, Scapholeberis erinaceus Daday, 1903, обнаруженного в Самарской области. Данная находка S. erinaceus является первой для Европейской части России. Другие находки S. erinaceus известны из водоемов Западной Сибири, Казахстана, Украины, Польши, Словакии, Румынии и Венгрии. В ходе нашего исследования мы подтвердили наличие у S. erinaceus на голове и створках микроскопических шипиков. Аналогичные шипики известны у еще одного вида, Ceriodaphnia setosa Matile, 1890, который также считается крайне редким. В эксперименте по касанию тела рачка кошачьей вибриссой мы установили, что микроскопические шипики изолируют тело рачка от механических воздействий. Возможно, образование микроскопических шипиков на голове и створках у ветвистоусых ракообразных позволяет изменить свойства поверхности без существенного увеличения ее площади и является эффективным приспособлением для защиты тела ракообразного от соприкосновения с частицами грязи или частями ротового аппарата хищных беспозвоночных.*

**Ключевые слова:** ветвистоусые ракообразные, редкие виды, морфология, шипики, защитные приспособления.

**Введение.** Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera), или водяные блохи, – одна из наиболее массовых групп беспозвоночных животных в планктоне континентальных водоемов [1, 2, 3]. Но эти организмы приспособились не только к обитанию в толще воды. Большинство видов кладоцер ведет бентосно-фитофильный образ жизни, заселяя заросли макрофитов и дно водоемов, причем некоторые кладоцеры способны зарываться в грунт на значительную глубину. Однако встречаются среди кладоцер и гипонейстонные виды, прикрепляющиеся к поверхностной пленке воды. В пищевых цепях водных экосистем ветвистоусые ракообразные, как правило, занимают нишу первичных консументов, отфильтровывая из воды микроскопические водоросли, бактерии и детрит. Однако встречаются среди них хищники и даже трупоеды [1, 2, 3].

Успеху ветвистоусых ракообразных в освоении разных экологических ниш способствовали разнообразие морфолого-анатомических признаков и поведенческая

пластичность [1]. Однако до сих пор далеко не для всех частей тела клadoцер установлено их функциональное значение. Традиционно принято считать, что вооружение тела у бентосно-фитофильных клadoцер различными волосками, шипиками и щетинками предохраняет его от загрязнения частицами грунта. Для ряда планктонных видов показано образование различных отростков и шипиков для защиты от хищников. Однако подобные приспособления у нейстонных видов до сих пор были описаны не достаточно. А единственный «шипастый» представитель гипонейстона, *Scapholeberis erinaceus* Daday, 1903, и вовсе со времен первого описания был практически не уловим для специалистов из-за крайне низкой встречаемости в гидробиологических пробах [3].

Актуальность работы. Впервые *S. erinaceus* был описан Евгением фон Дадаем (Eugen von Daday) в 1903 г. из небольших водоемов у озера Болотон (Венгрия) [4]. Дадай подготовил достаточно детальное описание этого животного и реалистичные рисунки, отражающие общий вид и детали строения (в частности, мелкие шипики на поверхности головы и створок, однако точное их расположение из представленных рисунков остается не ясным) (Daday, 1903: p. 76 – 78, pl. 5, fig. 24 – 33) [4].



Рисунок 1 - *Scapholeberis erinaceus*, общий вид партеногенетической самки (по Daday, 1903).  
Масштабный отрезок не приведен автором

После описания Дадаем, *S. erinaceus* был отмечен в Западной Сибири, Казахстане, Украине, Польше, Словакии, Румынии и Венгрии [5]. Данный вид считается редким, термофильным и приурочен, по-видимому, к степной зоне. Находки *S. erinaceus* были сделаны

в небольших озерах, лужах и болотах, заросших осокой, с гуминовой водой и низким содержанием кислорода [5].

Оригинальный материал Дадая был депонирован в Венгерский музей естественной истории. Поскольку голотип для данного вида при первоописании не был указан, М. Холынская и Р. Холынский выбрали в качестве лектотипа партеногенетическую самку из пробирки с этикеткой «*Scapholeberis erinaceus* Daday, Fonyód, VANGEL, 12/12/1902, Typus, Collectio Dadayana, Cladocera 11-330». Данный экземпляр был выбран из-за его относительно хорошей сохранности, несмотря на то, что размеры его тела отличаются от приведенных в оригинальном описании, а его постабдомен не виден за створками (у остальных экземпляров постабдомены были повреждены) [5].

По наблюдениям зоологов, *S. erinaceus* практически всегда встречается в пробах совместно с *Ceriodaphnia reticulata* (Jurine, 1820); *Daphnia* (*Daphnia*) *longispina* (O.F. Müller, 1776); *Simocephalus exspinosus* (De Geer, 1778); *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1776); *Megafenestra aurita* (Fischer, 1849) и *Pleuroxus aduncus* (Jurine, 1820) [2, 3, 4, 5]. Интересно отметить, что из перечисленных видов шипики на спинной стороне тела образуют виды рода *Daphnia* и *Simocephalus*, однако интенсивность их образования в пробах, содержащих *S. erinaceus*, не была оценена предыдущими авторами [5].

Сходные по строению шипики, расположенные на всей поверхности тела, известны также для *Ceriodaphnia setosa* Matile, 1890 (рисунок 2).

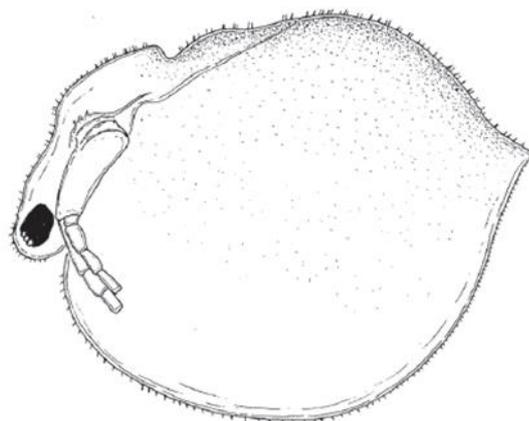


Рисунок 2 - *Ceriodaphnia setosa*, общий вид партеногенетической самки (по Коровчинский и др., 2021б). Без масштабного отрезка

*C. setosa*, также как и *S. erinaceus*, считается крайне редким видом. *C. setosa* была описана из пруда в Царицино П. Матилем в 1890 г. Единичные находки этого вида известны из

водоемов Северной и Центральной Европы, Европейской части России, Кавказа и Западной Сибири. *C. setosa* считается планктонным видом, хотя существуют данные о том, что наиболее вероятны находки этого вида в зарослях макрофитов (Д.Е. Гаврилко, личное сообщение). По-видимому, *C. setosa* приурочена к прудам и лужам с гуминовой водой и низким содержанием кислорода [3].

Таким образом, находки *S. erinaceus* и *C. setosa*, образующих мелкие шипики на теле, крайне редки. При этом в случае данных видов образование шипиков – это важный морфологический признак для определения этих видов в гидробиологических пробах. Образование волосков и щетинок и их строение у бентосно-фитофильных кладоцер из родов *Neothrix* Gurney, 1927, *Cactus* Smirnov, 1976, *Ilyocryptus* Sars, 1862 и некоторых других также является важным таксономическим признаком. В то же время, более мощное развитие шейных шипиков у видов рода *Daphnia* в присутствии хищных личинок комаров по сравнению с *Daphnia*, развивающимися в отсутствие хищников, в качестве диагностического признака не рассматривают и считают защитной реакцией на присутствие в водоеме хищных животных [2, 3].

В 2024 г. популяция *S. erinaceus* была обнаружена Ариной Олеговной Ралдугиной (ИПЭЭ РАН) в неглубоком водоеме на территории Самарской области. В связи с тем, что в распоряжении нашего коллектива появился редкий уникальный материал, цель нашей работы – исследовать особенности внешнего строения *S. erinaceus* в соответствии с современными стандартами, принятыми в кладоцерологии.

Для достижения этой цели были сформулированы следующие задачи:

1. Выполнить переописание морфологии *S. erinaceus* на основе оригинального материала и литературных данных.
2. Проанализировать особенности поверхности, покрытой микроскопическими шипиками.
3. Сделать предположение об эволюционной значимости мелких шипиков на поверхности тела у ветвистоусых ракообразных.

#### **Материал и методы исследования.**

Материалом для данной работы послужила 1 проба, собранная 22 июля 2024 г. Ариной Олеговной Ралдугиной в неглубоком водоеме в зарослях осоки, расположенном на территории Самарской области (N 52.985683°, E 52.000856°). Материал был собран при помощи сачка с диаметром ячеек не более 50 мкм и зафиксирован 96% этиловым спиртом непосредственно после сбора [2].

В лаборатории особей *S. erinaceus* отбирали из пробы пипеткой поштучно под биноклем Olympus SZX2-ZB10 (Olympus Corporation, Япония), перемещали на предметное стекло в каплю глицерина, накрывали сверху покровным стеклом с пластилиновыми ножками и исследовали на прямом микроскопе Leica DM 1000 (Leica, Германия), оборудованном цифровой камерой TouPCam E3ISPM05000KPA (Hangzhou TouPCam Photonics Co, Ltd., Китай) (рисунок 3).

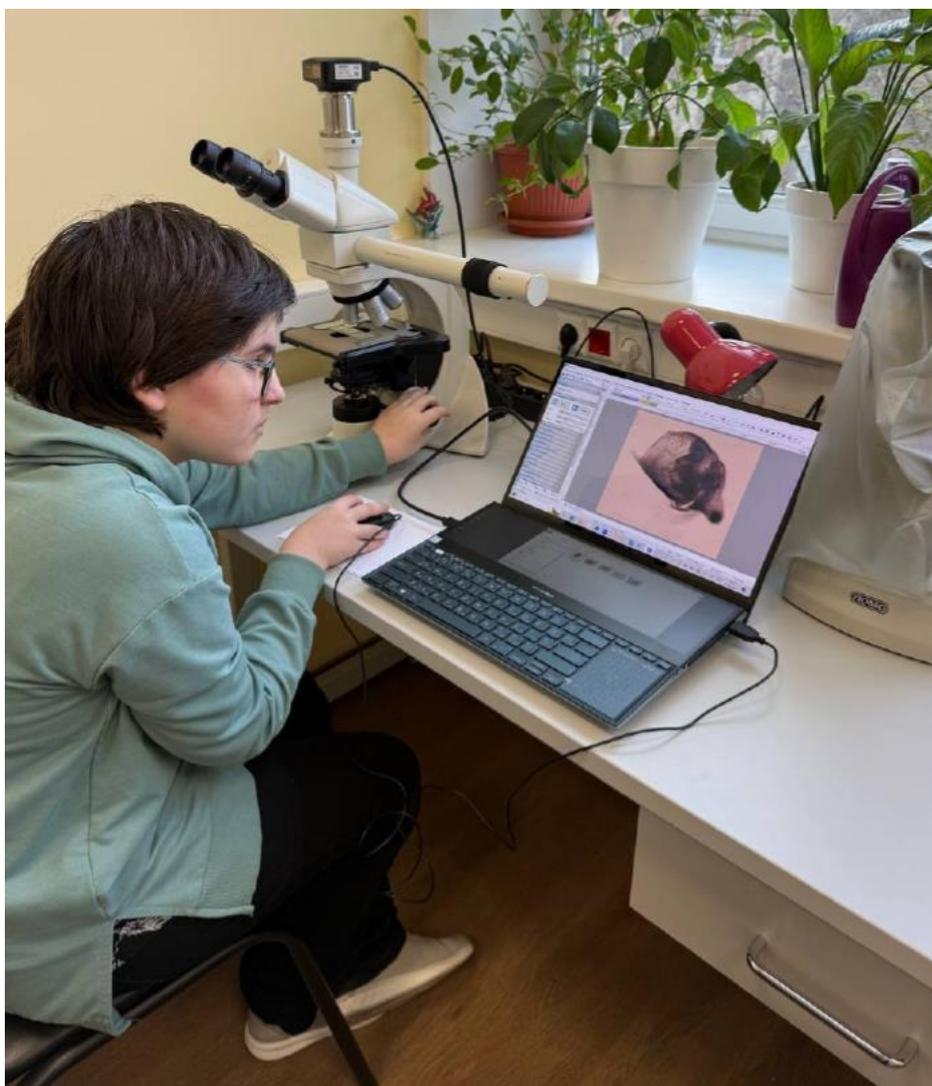


Рисунок 3 - Исследование *S. erinaceus* на световом микроскопе

Несколько особей *S. erinaceus* были подготовлены для исследования на растровом электронном микроскопе. Материал помещали в контейнеры для проводки и дегидратировали в восходящей серии концентраций этилового спирта (30, 50, 70, 96%), ацетона (100%) и гексаметилдисилазана (по 30 минут на серию) [1]. Дегидратированный материал высушивали из гексаметилдисилазана в камере, заполненной гранулами хлористого кальция. Высушенных особей на кошачьей вибриссе, кончик которой был слегка покрыт пластилином, приклеивали на алюминиевые держатели для электронной микроскопии при помощи электропроводного

скотча, напыляли золотом на установке S150A Sputter Coater (Edwards, Великобритания) и исследовали на растровом электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMH (TESCAN, Чехия) при ускоряющем напряжении 10 кВ в режиме вторичных электронов.

На основе фотографий, полученных при помощи светового и растрового электронного микроскопов, на кальке был изготовлен рисунок общего вида *S. erinaceus*. Данный рисунок был отсканирован и обработан в графическом редакторе Adobe Photoshop 7.0. (Adobe, США).

Для анализа свойств поверхности, покрытой микроскопическими шипиками, использовали кошачью вибрирующую пластину, не покрытую и слегка покрытую пластилином. Анализ свойств этой поверхности проводили на модели *S. erinaceus*, выполненной из пластилина.

При описании особенностей морфологии *S. erinaceus* использована терминология, предложенная А.А. Котовым (2013).

Результаты и их обсуждение.

В рамках нашего исследования было проанализировано 20 особей *S. erinaceus* (рисунок 4А–Е).

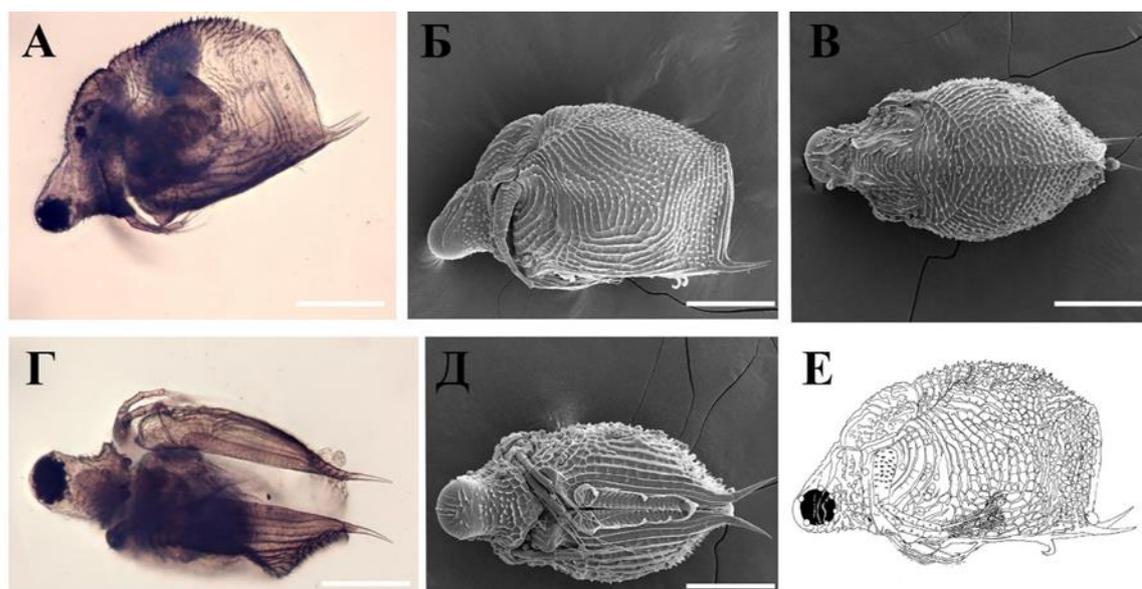


Рисунок 4 - *S. erinaceus*, внешний вид партеногенетической самки (оригинальные данные).

А–Б – вид сбоку; В – вид со спинной стороны; Г–Д – вид с брюшной стороны. Масштабные отрезки на всех фотографиях 0.2 мм. Е – рисунок-схема внешнего вида (без масштабного отрезка)

В нашем материале из Самарской области были встречены только партеногенетические самки *S. erinaceus*. Согласно литературным данным, наша находка *S. erinaceus* является первой находкой данного вида для Европейской части России [3].

Задне-брюшной угол створок у партеногенетических самок *S. erinaceus* с длинным или средней длины мукро (рисунок 4). Покровы головы и раковинки с микроскопическими шипиками различной формы. Передняя сторона рostrума самок, если смотреть снизу, трехлопастная. Антеннулы короткие, не сросшиеся с головой, их основание не выступает за конец рostrума (Рис. 4Г–Д). *S. erinaceus* имеет два глаза (рисунок 4Е). Сложный глаз крупный, сдвинут к переднему краю головы. Простой глазок находится при основании антеннул. Плавательные антенны относительно короткие, покрыты небольшими зубчиками и волосками. К поверхности воды *S. erinaceus* прикрепляется при помощи брюшного края створки (рисунок 4Г–Д). На поверхности тела некоторых особей *S. erinaceus* нами были обнаружены эпибионты – инфузории (рисунок 4Б). Все исследованные особи *S. erinaceus* имели коричневый (меланизированный) вентральный край створки. Накопление меланина может рассматриваться в качестве защиты от действия ультрафиолетового излучения (рисунок 4А, Г) [2, 3].

Для анализа особенностей поверхности тела *S. erinaceus* было проведено два теста. Мы касались тела *S. erinaceus* кошачьей вибриссой с чистым кончиком и кончиком, слегка измазанном в пластилине. В качестве мест прикосновения было выбрано три: голова и створка (покрытые шипиками) и плавательная антенна (не покрытая шипиками).

В ходе тестов было установлено, что ни чистой, ни измазанной в пластилине вибриссой не удалось перенести высушенного для растровой электронной микроскопии рачка на электропроводный скотч. Каждый раз он соскакивал с вибриссы. В случае касания вибриссой плавательных антенн, не покрытых шипиками, особей *S. erinaceus* удавалось без труда перенести на скотч. Таким образом, микроскопические шипики действительно способны изолировать тело ветвистоусого ракообразного от механических воздействий (Рис. 5). В природе в качестве таких воздействий могут выступать частицы грязи или ротовой аппарат хищного беспозвоночного. Полученные результаты могут быть использованы при конструировании новых материалов, устойчивых к ряду специфических механических воздействий.



Рисунок 5 - Пластилиновая модель *S. erinaceus* (оригинальная модель)

Однако мы отметили, что образование микроскопических шипиков не препятствует обрастанию тела *S. erinaceus* эпибионтными организмами, например, инфузориями (рисунок 4Б–В, Д).

На пластилиновой модели *S. erinaceus* можно видеть, что образование мелких шипиков позволяет изменить свойства поверхности без существенного увеличения ее площади. «Шипастая» поверхность не чувствительная к некоторым механическим воздействиям. При этом образование таких структур выглядит менее энергозатратным процессом, по сравнению с образованием шипов и шлемов у видов рода *Daphnia* (рисунок 6), а также длинных мукро у других видов рода *Scapholeberis*, в частности, у *Scapholeberis mucronata* O.F. Müller, 1776 (рисунок 7). И хотя образование мелких шипиков на теле отмечено всего у двух видов ветвистоусых ракообразных, этот признак можно рассматривать в качестве эффективного приспособления для защиты от неблагоприятных механических воздействий.

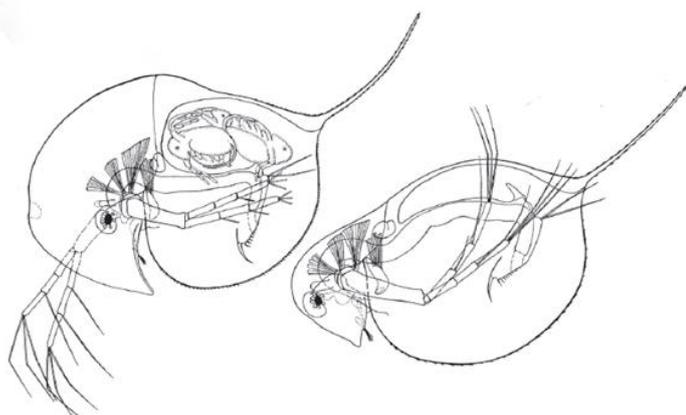


Рисунок 6 - Внешний вид партеногенетических самок *Daphnia (Daphnia) longiremis* Sars, 1862 [3]. Без масштабного отрезка

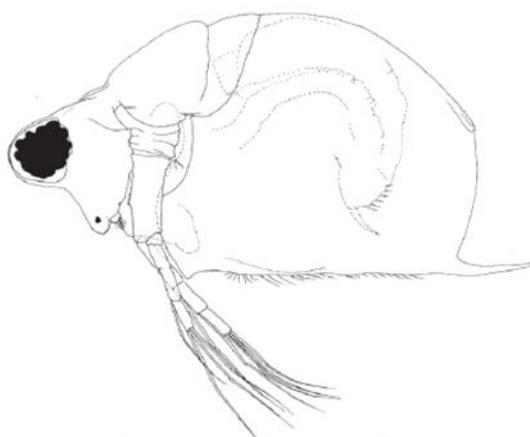


Рисунок 7 - Внешний вид партеногенетической самки *Scapholeberis mucronata* O.F. Müller, 1776 [3]. Без масштабного отрезка

### **Заключение.**

Таким образом, в результате нашей работы:

1. Мы описали особенности внешнего строения *S. erinaceus* при помощи методов световой и растровой электронной микроскопии. Подтвердили наличие микроскопических шипиков на голове и створках у данного вида.

2. В экспериментах по касанию тела рачка кошачьей вибриссой мы установили, что микроскопические шипики действительно способны изолировать тело ветвистоусого ракообразного от некоторых механических воздействий.

3. По-видимому, образование микроскопических шипиков на голове и створках у ветвистоусых ракообразных позволяет изменить свойства поверхности без существенного увеличения ее площади и является эффективным приспособлением для защиты тела ракообразного от соприкосновения с частицами грязи или частями ротового аппарата хищных беспозвоночных.

### **Благодарности.**

Я выражаю благодарность сотрудникам Лаборатории экологии водных сообществ и инвазий ИПЭЭ РАН, Анне Николаевне Неретиной, Елизавете Дмитриевне Варакиной и Арине Олеговне Ралдугиной, за предоставленный материал, помощь в работе и осмыслении полученных данных, а родителям – за понимание и поддержку на всех этапах работы.

### **Список источников**

1. Котов, А. А. Морфология и филогения Anomopoda (Crustacea: Cladocera) / А. А. Котов.– Москва : КМК, 2013. – 638 с.
2. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea:Cladocera) Северной Евразии. Т. 1. Общая часть / Н. М. Коровчинский, А. А. Котов, О. С Бойкова [и др]. – Москва : КМК, 2021. – 481 с.
3. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2. Систематическая часть / Н. М. Коровчинский, А. А. Котов, А. Ю. Синева [и др]. - Москва: КМК, 2021. – 544 с.
4. Daday, E. von. Microscopische Süßwasserthiere der Umgebungen des Balaton / E. von Daday // Zoologische Jahrbücher Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere. – 1903. – Bd. 19. – С. 37–98.
5. Hołynska, M. *Scapholeberis erinaceus* Daday, 1903 (Crustacea: Cladocera) at Rátorliget (Hungary) / M. Hołynska, R. Hołynski // Miscellanea Zoologica Hungarica. – 1989. – Vol. 5. – С. 51–59.

## Исследование травм и кожных повреждений зубатых китов в некоторых районах Атлантического океана

*В данной работе проведён анализ фотоархива, собранного во время 87 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в некоторых районах Атлантического океана. В ходе работы с фотоархивом было выявлено 70 случаев наличия травм и кожных повреждений. В 76% от всех кожных повреждений, были выявлены кожные повреждения механического характера, которые представляли собой шрамы различного происхождения или повреждения спинного и хвостового плавников. Наиболее частым были повреждения спинного плавника (36%), которые в большинстве случаев связаны с запутыванием в рыболовных сетях, наматыванием лески на плавники, столкновения с натянутыми тросами и канатами крепления рыболовных снастей. Так же были обнаружены кожные повреждения естественного происхождения, это следы от зубов других зубатых китов, обрастания представителями отряда морских желудей (*Balanomorpha*), а также различные пятна. Проанализирована литература по теме возникновения травм и кожных повреждений у морских млекопитающих. Приведено описание встреченных повреждений.*

**Ключевые слова:** морские млекопитающие, травмы и кожные повреждения морских млекопитающих, зубатые киты, морские исследования.

Введение. Китообразные и другие морские млекопитающие, имеющие признаки кожных повреждений или травм, встречаются во всём мире. Особенно в районах с высокой антропогенной нагрузкой [1, 2, 3]. Внешне видимые аномалии могут быть индикаторами антропогенных воздействий и могут служить для выявления потенциальных угроз для популяций китообразных [4, 5]. Травмы и поражения могут быть признаком прямых взаимодействий, таких как столкновения с судами или запутывание в рыболовных снастях [3]. Кроме того, кожные повреждения могут служить индикаторами состояния здоровья. [4, 5]. Кроме того, повреждения кожи могут быть связаны и с изменениями условий окружающей среды, такими как температура и солёность воды [6].

Фотография при работе с морскими млекопитающими, является одним из самых популярных и информативных инструментов. Являясь не инвазивным методом, фотография применяется для индивидуального различия особей, а также в некоторых случаях оценки их перемещений. Также было показано, что фотография является полезным инструментом для

регистрации и оценки нарушений физиологических параметров и заболеваний китообразных [1, 4].

#### **Актуальность.**

Как правило, подобные работы проводятся при длительном мониторинге животных у побережий. В открытом океане нет возможности проводить наблюдения постоянно. Материалы, собранные во время экспедиций на больших судах, могут помочь в накоплении базы данных и оценке физиологических параметров животных и антропогенной нагрузки в отдалённых местах Мирового океана.

#### **Цели и задачи исследования.**

**Цель:** проанализировать фотографии морских млекопитающих встреченных во время экспедиции на предмет травм и кожных повреждений

#### **Задачи:**

1. Выявить травмы и кожные повреждения у морских млекопитающих по фотографиям из архива.
2. Разбить по категориям выявленные травмы и кожные повреждения.
3. Дать описание выявленных травм и кожных повреждений.

Материал для данной работы был получен в ходе работ 87 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Наблюдения за морскими млекопитающими проводились специалистами ИПЭЭ РАН и ИО РАН, по маршруту движения судна. Наблюдения проводились в течение светлого времени суток двумя наблюдателями одновременно с левого и правого бортов судна с пеленгаторной палубы, расположенной на высоте 17 м над уровнем моря. В отдельных случаях, при ухудшении погодных условий, наблюдения проводились из ходовой рубки или с крыльев мостика (14 м над уровнем моря). При ветре более 5 баллов по шкале Бофорта и видимости менее 50 м наблюдения прекращались. Время наблюдений было разбито на четырехчасовые вахты, соответствующие судовым. На каждой вахте были заняты два наблюдателя (с левого и правого бортов судна), которые просматривали акваторию в секторе 180 градусов по ходу движения судна (90 градусов с каждой стороны); длительность рассветной и закатной вахт зависела от наступления светлого / темного времени суток. Полоса учёта мусора составляла 50 метров от борта судна, но в основном объекты регистрировались на дистанции 5-30 метров от борта судна. Почти каждую встречу с морскими млекопитающими фиксировали на фотоаппарат с длиннофокусным объективом. В рамках данной работы не было возможности проанализировать весь архив фотографий, собранных за 4 месяца экспедиции по маршруту судна Калининград-Антарктика-Калининград. Поэтому были выборочно проанализированы фотографии, полученные в следующих районах: Северная часть Атлантического океана, Бискайский залив, Северный тропик.

Участникам конкурса были предоставлены архивы с фотографиями, на которых необходимо было найти кожные повреждения и травмы на теле сфотографированных морских млекопитающих. Для анализа использовали фотографии хорошего качества. Каждое животное на фотографии просматривали отдельно на компьютере и искали признаки травм и кожных повреждений, которые сравнивали с литературными источниками. Каждый архив просматривался двумя разными наблюдателями для двойного контроля выбранных объектов и повышения качества анализа.

В результате работы с фотоархивом, было проанализировано 594 фотографии, сделанных наблюдателями во время экспедиции. При анализе изображений, было выявлено 65 фотографий на которых морские млекопитающие имели следы кожных повреждений и травм. В общем было выявлено 70 случаев наличия травм и кожных повреждений (Таблица 1).

Таблица 1. Кожные повреждения и травмы, обнаруженные при работе с фотоархивом

Тип повреждения	Количество
Повреждение спинного плавника	25
Шрам	18
Паразит	9
Следы от зубов	8
Тёмные пятна	4
Повреждение хвостового плавника	2
Необычный окрас	2
Нарушение пигментации	1
Светлые пятна	1

Кожные повреждения и травмы были выявлены в разной степени встречаемости у следующих видов:

- Большелобый продельфин (*Stenella frontalis*).
- Дельфин – белобочка (*Delphinus delphis*).
- Косатка (*Orcinus orca*).
- Кювьеров Клюворыл (*Ziphius cavirostris*).

Виды у которых были обнаружены повреждения, относятся к парвотряду зубатые киты (*Odontoceti*) и все относятся к семейству дельфиновых (*Delphinidae*), за исключением Кювьерова клюворыла, который относится к семейству клюворыловых (*Ziphiidae*). Все обнаруженные кожные повреждения и травмы были разбиты на несколько категорий. Анализ фотографий показал, что большую часть выявленных повреждений составляли механические повреждения, т.е. повреждения плавников и различные шрамы. Повреждения спинного плавника было выявлено в 25 случаях (36%), шрамы неизвестного происхождения в 18 случаях (26%), следы от зубов 8 случаев (11%), повреждение хвостового плавника 2 случая (3%). Таким образом на шрамы и повреждения плавников пришлось 53 случая, что составило 76% от всех выявленных повреждений. Кроме того, в 9 случаях было выявлено наличие обрастаний на плавниках, что составило 13% от общего числа повреждений и находится на втором месте среди выявленных повреждений. Остальные 8 случаев (11%) пришлось на различные пятна и изменения в пигментации кожи (рисунок 1).

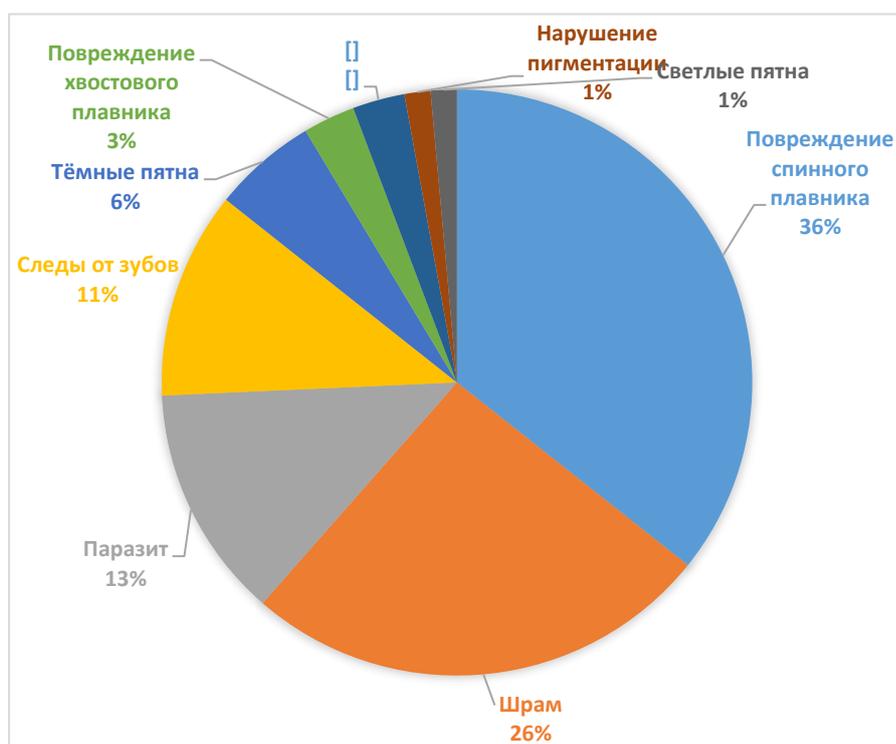


Рисунок 1 - Категории выявленных кожных повреждений и травм

Повреждения спинного, хвостового и грудных плавников в большинстве случаев связаны с запутыванием в рыболовных сетях, наматыванием лески на плавники, столкновения с натянутыми тросами и канатами крепления рыболовных снастей (рисунок 2). Сдавливание плавника, обмотанного леской может приводить к ампутации части плавника, потере крови, нарушению подвижности, а в тяжёлых случаях и к гибели животного [1].



Рисунок 2 - Повреждение спинного плавника у полосатого прodelьфина (слева) и дельфина-белобочки (справа).



Рисунок 3 - Обрастания висающие на грудном плавнике большелобого прodelьфина

Как «паразитов» мы определяли наросты чёрного цвета, висающие на грудных или спинных плавниках (рисунок 3). По всей видимости это *Xenobalanus globicipitis* Steenstrup, 1852, организмы, которые относятся к отряду морских желудей (*Balanomorpha*). Хотя технически эти существа не являются паразитами, для удобства классификации такие случаи фиксировались, как паразиты. Эти животные обитают в тропических, субтропических и умеренных водах по всему миру, прикрепляются к плавникам китообразных и ведут сидячий образ жизни [7].

Шрамы на морских млекопитающих могут иметь различную форму, размер и происхождение. Как правило, к шрамам относят повреждения на коже, которые уже зажили и зарубцевались. Причиной их возникновения могут быть внешние факторы в том числе антропогенного происхождения, например, следы от запутывания в рыболовных снастях и плавающем мусоре, столкновение с судами и т.д. Так же шрамы на теле могут иметь и природное происхождение. Например, следы от укусов акул, кальмаров или следы от зубов других морских млекопитающих. Иногда довольно трудно определить причину

возникновения того или иного шрама [3]. Но следы от зубов других зубатых китов являются кожными порезами имеющие характерный вид и возникают в результате социальных взаимодействий между животными [8]. В связи с тем, что такие повреждения имеют характерные, легкоузнаваемые признаки было решено выделить их в отдельную категорию (рисунок 4).

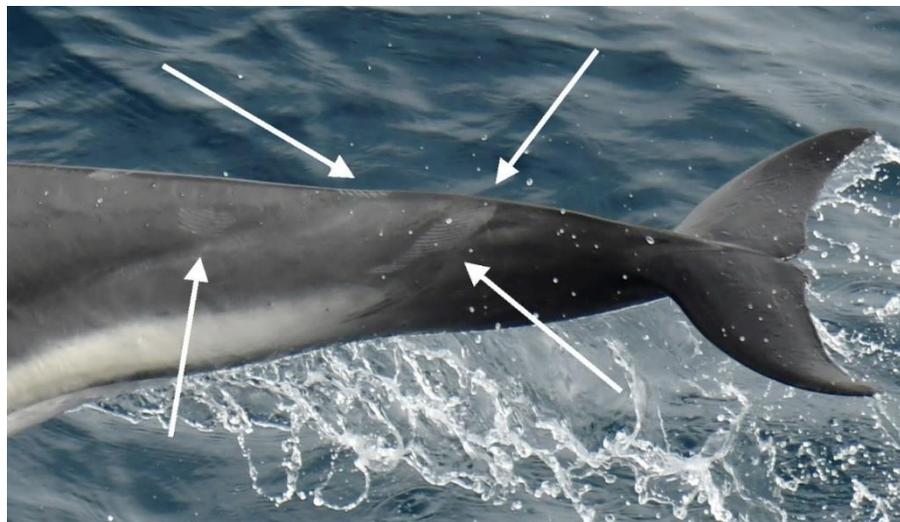


Рисунок 4 - Следы от зубов на теле большелобого продельфина

Тёмные и светлые пятна на коже животных отличающиеся от нормальной окраски, могут возникать в следствии поражения грибковой, вирусной или бактериальной инфекцией. Также, как и нарушение пигментации или необычный окрас, пятна могут иметь врождённый характер и являться естественной вариацией пигментации. Для более точного определения причины возникновения этого повреждения в полевых условиях, необходима серия высококачественных снимков животного с таким типом повреждений. Но провести такую съёмку в формате судовых наблюдений не представляется возможным [2,3].

В связи с тем, что фотографии из разных районов экспедиции были проанализированы не в полном объёме имеющихся в архиве, в рамках данной работы не проводилось сравнение кожных повреждений и травм животных в разных районах Атлантического океана по пути маршрута, а также с животными из других акваторий Мирового океана.

Согласно результатам данной работы, можно сделать следующие выводы:

- При работе с фотоархивом было выявлено 70 случаев наличия травм и кожных повреждений.
- Повреждения спинного плавника было наиболее часто встречающимся видом повреждений у животных (36%).
- 76% всех выявленных повреждений являются механическими и представляют собой шрамы различного происхождения или повреждения спинного и хвостового плавников.

- В 13% случаев были выявлены обрастания представителями отряда морских желудей (Balanomorpha).

#### Список источников

1. Consequences of injuries on survival and reproduction of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along the west coast of Florida / R. S. Wells, J. B. Allen, S. Hofmann [et al] // *Marine Mammal Science*. – 2008. – № 24. – С. 774-794.
2. Epidemiological pattern of tattoo skin disease: a potential general health indicator for cetaceans / M. F. Van Bresseem, K. V. Waerebeek, F. J. Aznar [et al] // *Diseases of Aquatic Organisms*. - 2009. – Vol. 85. – С. 225-237.
3. Herr, H. Injuries, Malformations, and Epidermal Conditions in Cetaceans of the Strait of Gibraltar / H. Herr, P. Burkhardt-Holm, K. Heyer // *Aquatic Mammals*. – 2020. - № 46 (2). - С. 215-235.
4. Dolphin pox: a skin disease of cetaceans / J. R. Geraci, B. D. Hicks, D. J. St. Aubin // *Canadian Journal of Comparative Medicine*. - 1979. – № 43. – С. 399-440.
5. Van Bresseem, M. F. Epidemiology of tattoo skin disease in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the Sado estuary, Portugal / M. F. Van Bresseem, R. Gaspar, F. J. Aznar // *Diseases of Aquatic Organisms*. – 2003. –Vol. 56. – С. 171–179.
6. Skin lesions on commonbottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from three sites in the Northwest Atlantic, USA / L. Hart, D. S. Rotstein, R. S.Wells [el al] // *PLOS One*. – 2012. – № 7. – e33081.
7. Barnacle Bonding: Morphology of Attachment of *Xenobalanus globicipitis* to its Host *Tursiops truncatus*. / M. C. Pugliese, S. A. Böttger, E. Frank [et al] // *Journal of Morphology*. – 2012.– № 273. – С. 453-459.
8. Marley, M. Using tooth rakes to monitor population and sex differences in aggressive behavior in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) / M. Marley, B. Cheney, P. Thompson // *Aquatic mammals*. – 2013. – № 39 (2). – С. 107-115.

## Исследование паразитов *Heterodera schachtii*

*Свекловичная нематода (Heterodera schachtii) является одним из наиболее опасных паразитов сельскохозяйственных культур, особенно сахарной свеклы. Этот микроскопический круглый червь поражает корневую систему растений, вызывая значительное снижение урожайности и качества продукции. В работе рассмотрены биологические особенности нематоды, ее жизненный цикл, а также методы диагностики и контроля заражения. Особое внимание уделено агротехническим, биологическим и химическим способам борьбы с паразитом. Исследования показали, что эффективными мерами являются севооборот с использованием нематодоустойчивых культур, применение биоагентов (например, грибов-паразитов) и современных нематицидов. Выводы работы подчеркивают необходимость комплексного подхода к управлению популяцией нематоды, включающего мониторинг почвы, своевременное выявление очагов заражения и внедрение устойчивых сортов свеклы.*

**Ключевые слова:** *свекловичная нематода, Heterodera schachtii, паразиты растений, сахарная свекла, методы борьбы, севооборот, нематициды, биоагенты, устойчивость растений.*

### **Введение.**

Свекловичная нематода (*Heterodera schachtii*) представляет собой одного из наиболее опасных вредителей сельскохозяйственных культур, особенно сахарной свеклы, которая играет ключевую роль в производстве сахара. Заражение этим паразитом приводит к значительным потерям урожая, что создает угрозу для продовольственной безопасности и экономической стабильности сельхозпроизводителей. В связи с этим изучение методов борьбы с нематодой и разработка эффективных стратегий контроля ее популяции являются важными задачами современной агрономии. Данное исследование направлено на анализ существующих подходов к решению проблемы и предложение новых, более экологически безопасных методов.

**Актуальность.** Свекловичная нематода (*Heterodera schachtii*) является одним из наиболее опасных вредителей сельскохозяйственных культур, особенно сахарной свеклы, которая играет ключевую роль в производстве сахара. Актуальность исследования обусловлена значительными экономическими потерями, которые достигают 30-50% урожая в

зараженных регионах. Это создает угрозу для продовольственной безопасности и экономической стабильности сельхозпроизводителей. Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к изучению проблемы, включая не только традиционные химические методы борьбы, но и современные биологические и агротехнические подходы. В частности, исследование фокусируется на использовании биоагентов, таких как грибы-паразиты и бактерии, а также на разработке нематодоустойчивых сортов свеклы. Эти методы являются более экологически безопасными и устойчивыми в долгосрочной перспективе. Новизна также заключается в предложении интегрированной системы управления популяцией нематоды, которая сочетает мониторинг почвы, профилактику и контроль заражения.

**Цели исследования:** разработка комплексного подхода к борьбе со свекловичной нематодой, включающего современные биологические, агротехнические и химические методы, направленные на снижение экономических потерь и повышение урожайности сахарной свеклы.

**Задачи исследования:**

1. Изучить биологические особенности свекловичной нематоды (*Heterodera schachtii*), включая ее жизненный цикл, механизмы заражения растений и факторы, способствующие ее распространению.

2. Провести анализ существующих методов борьбы с нематодой, оценив их эффективность, преимущества и недостатки, с акцентом на химические, биологические и агротехнические подходы.

3. Исследовать современные биологические методы, такие как использование грибов-паразитов, бактерий и нематодоустойчивых сортов растений, для разработки экологически безопасных стратегий контроля.

4. Разработать интегрированную систему управления популяцией нематоды, которая включает мониторинг почвы, профилактические меры и комплексный контроль заражения.

5. Предложить практические рекомендации для сельхозпроизводителей, направленные на минимизацию ущерба от нематоды и повышение устойчивости сельскохозяйственных систем.

**Методы и материалы исследования.**

Наблюдение, микроскоп, биоматериал (свекловичная нематода).

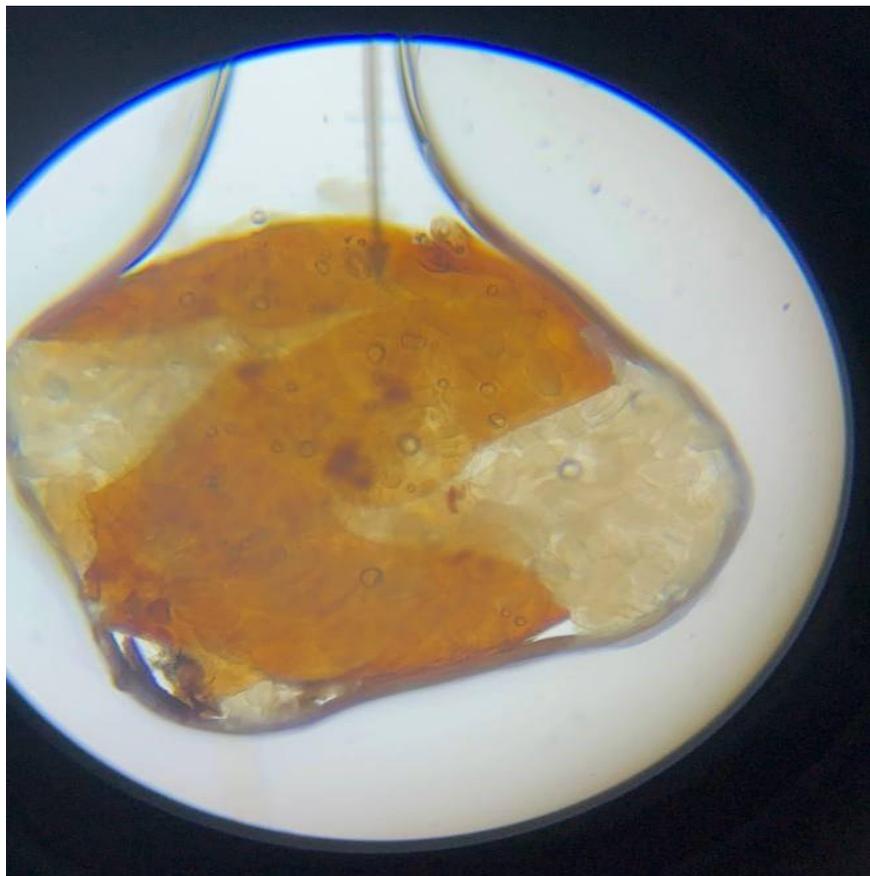


Рисунок 1 - Личинки свекловичной нематоды в лопнувшей цисте

### **Полученные результаты.**

Для решения задач, связанных с борьбой со свекловичной нематодой (*Heterodera schachtii*), был проведен комплексный анализ биологических особенностей паразита, существующих методов борьбы и современных биологических подходов. На основе изучения научной литературы установлено, что жизненный цикл нематоды включает несколько стадий, а заражение растений происходит через корневую систему. Это позволило разработать рекомендации по раннему выявлению заражения, включая регулярный мониторинг почвы и использование диагностических методов, таких как анализ образцов корней и почвы. Сравнительный анализ химических, биологических и агротехнических методов показал, что химические методы, хотя и эффективны, имеют ограничения из-за резистентности нематод и негативного воздействия на окружающую среду. В связи с этим предложено сочетать их с биологическими методами, такими как использование грибов-паразитов (например, *Raecilomyces lilacinus*) и бактерий (например, *Pasteuria penetrans*), которые подавляют развитие нематод. Эти подходы являются более экологически безопасными и устойчивыми в долгосрочной перспективе. Исследование современных биологических методов также включало изучение селекции устойчивых сортов сахарной свеклы. Разработаны рекомендации по внедрению этих методов в сельскохозяйственную практику, что позволяет снизить

зависимость от химических препаратов и повысить экологическую безопасность. Кроме того, предложена интегрированная система управления популяцией нематоды, которая включает мониторинг почвы, профилактические меры (севооборот с устойчивыми культурами) и контроль заражения (использование биоагентов и нематицидов). Эта система позволяет минимизировать ущерб от нематоды и повысить урожайность сахарной свеклы. На основе проведенного анализа разработаны практические рекомендации для сельхозпроизводителей, включающие использование устойчивых сортов, оптимизацию севооборота и внедрение биологических методов. Эти меры способствуют снижению экономических потерь и повышению устойчивости сельскохозяйственных систем. Таким образом, предложенные решения позволяют эффективно бороться со свекловичной нематодой, минимизируя ущерб для урожая и окружающей среды, что особенно важно в условиях роста спроса на сахарную свеклу и необходимости обеспечения продовольственной безопасности.

### **Заключение.**

Проведенное исследование по теме свекловичной нематоды (*Heterodera schachtii*) позволило сделать ряд важных выводов, которые имеют как теоретическое, так и практическое значение. Во-первых, была подтверждена актуальность проблемы, связанной с заражением сахарной свеклы этим паразитом, что приводит к значительным экономическим потерям и угрожает продовольственной безопасности. Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к решению проблемы, включая не только традиционные химические методы, но и современные биологические и агротехнические подходы. Это позволяет предложить более экологически безопасные и устойчивые методы борьбы с нематодой. Анализ степени разработанности темы показал, что, несмотря на достаточное количество исследований, посвященных химическим методам борьбы, альтернативные подходы, такие как использование биоагентов и селекция устойчивых сортов, изучены недостаточно. В данной работе эти методы были рассмотрены подробно, что дополняет существующие знания и открывает новые перспективы для борьбы с нематодой. Теоретическая значимость исследования заключается в систематизации знаний о биологии нематоды, ее жизненном цикле и механизмах заражения растений. Это позволило разработать практические рекомендации, которые могут быть использованы сельхозпроизводителями для снижения ущерба от заражения. Практическая ценность работы состоит в предложении интегрированной системы управления популяцией нематоды, включающей мониторинг почвы, профилактику и контроль заражения. Использование разнообразных источников информации, включая современные научные статьи и данные сельскохозяйственных

исследований, обеспечило достоверность и полноту анализа. Это позволило сделать обоснованные выводы, которые соответствуют поставленным целям и задачам.

Автор проявил высокую степень самостоятельности и творческий подход к работе, предложив инновационные решения, такие как использование биоагентов и устойчивых сортов растений. Это делает исследование актуальным и полезным для практического применения в сельском хозяйстве.

Таким образом, работа вносит значительный вклад в изучение проблемы свекловичной нематоды и предлагает эффективные пути ее решения, что может способствовать повышению урожайности сахарной свеклы и снижению экономических потерь.

#### **Список источников**

1. Белоусова Н. И. Фитопаразитические нематоды и их роль в сельском хозяйстве / Белоусова Н. И., Григорьева Т. М.

2. Соколов М. С. Защита растений от вредителей и болезней / Соколов М. С., Шестаков А. И.

3. Кирьянова Е. С. Паразитические нематоды растений и меры борьбы с ними / Кирьянова Е. С., Кралль Э. Л.

4. Джонс Дж. Т. Нематоды в сельском хозяйстве: проблемы и решения / Джонс Дж. Т., Хейс А. Дж.

## **Авиафаунистическое обследование юго-восточной Чукотки: определение численности и распределения гусеобразных и околотовных птиц по фотоматериалам**

*Проведено исследование по учету гусеобразных и околотовных птиц в юго-восточной части Чукотки. Анализ данных проведен дешифрированием около 1000 фотоснимков, сделанных с легкого самолета СТЕРХ С1 в июле-августе 2023 года. В данной работе проанализирована часть авиаучетов (5-7% всех снимков) Методом дешифрирования фотоснимков для этой части Чукотки получены данные по численности, распределению и ключевым местам обитания 20 видов птиц, из которых - 15 видов из отряда Гусеобразные, 3 вида – из отр. Ржанкообразные. Отмечен тундровый лебедь.*

**Ключевые слова:** *Авиаучет, водоплавающие птицы, гусеобразные, чайки, дешифрирование фотоснимков, юго-восточная Чукотка.*

Введение. Основные объекты нашего изучения – это виды представители отряда Гусеобразных или Пластинчатоклювых (Anseriformes). В России встречаются представители только одного подотряда гусиных (Anseres), в котором в фауне России около 50 видов. Группа довольно однородна и представлена у нас одним семейством утиных Anatidae, включающим всех обитающих в нашей стране птиц с характерным обликом лебедей, гусей и уток.

Гусеобразные – важнейший элемент арктических экосистем, что привлекает к ним внимание биологов всего мира. Для многих коренных народов Севера и сегодня гусеобразные птицы являются важным источником пропитания. Основным определяющим их фактором динамики численности и ареалов арктических видов гусей и казарок является влияние человека, т. е. охоты

В настоящее время численность большинства видов мигрирующих гусеобразных, 80–100% мировых популяций которых гнездится в России, неуклонно снижается, особенно в азиатской части ареалов [1, 2].

Для эффективного сохранения мигрирующих птиц важно понимать характер их распределения, динамику численности и расположение ключевых мест, особенно в районах размножения.

Для выполнения последней задачи необходимо проведение в относительно короткие сроки авиаобследования на больших площадях.

Авиаучеты гусеобразных широко применяются только в странах Северной Америки. Впервые масштабные координированные авиаучеты водоплавающих птиц в местах размножения были начаты весной 1955 года сотрудниками службы FWS<sup>8</sup>

При участии американских специалистов в России в 1990-х гг. был осуществлен масштабный проект по оценке численности птиц восточного сектора Российской Арктики [3]. С тех пор попытки оценки численности и моделирования распространения водоплавающих и околоводных птиц предпринимались по данным авиаучетов [4, 5, 6, 7], проводимых с 2010 г. в разных регионах Российской Арктики.

**Актуальность данной работы** – «знание о состоянии популяций гусеобразных» обусловлена ее важностью для охраны природы России. Из всех птиц именно гусеобразные играли и играют важную роль в жизни человека, прежде всего в качестве ценного пищевого ресурса. Для многих коренных народов Севера и сегодня гусеобразные птицы являются важнейшим источником пропитания. Очевидно, что использование такой важной для человека группы птиц должно вестись на научной основе.

**Актуальность темы** продиктована и тем, что для обоснования создания ООПТ для сохранения птиц необходимы не только знания по динамике численности и гусеобразных, но также выявление ключевых участков.

Актуален и район исследования юго-восточная Чукотка, с уникальной авиафауной, представленных 15 видами Гусеобразных.

#### **Цели и задачи исследования.**

Основная цель данной работы является отработка методов оценки численности 20 видов гусеобразных и околоводных птиц на Юго-Востоку Чукотке.

1. Основными задачами нашей работы — получить сведения о распределении, численности гусеобразных (см карту на рис 2).
2. Выявление мест концентрации гусеобразных и околоводных птиц на приморских и озерных территориях.
3. Апробировать оценку численности гусеобразных и околоводных птиц с помощью дешифрирования фотографий, полученных со сверхлегкого самолета.
4. Решение этих задач необходимо для выявления мест охраны местообитаний, важных для выживания всех водоплавающих птиц в районе юго-восточной Чукотки.

#### **Характеристика района исследования.**

Район нашего исследования находится в Анадырском районе Чукотского автономного округа. Основная часть материала собрана в Мейныпильгинской озерно-речной системе. Этот

---

<sup>8</sup> Служба охраны рыбных ресурсов и диких животных) в США. <https://www.fws.gov/waterfowlsurveys/welcome.jsp>

район представляет обширную приморскую низменность с озерами лагунного типа, отграниченных от моря галечными косами. К низменности прилегают моренные холмы и низкогорья. Озера расположены во впадинах в месте бывших ледников гор Корякии. Между озерами в предгорьях распространены моренные холмы. Реки берут начало с Мейныпильгинского горного узла. Одной из уникальных особенностей природы Чукотки является анклав типичных или средних гипоарктических тундр в пределах подзоны южных гипоарктических тундр на северо-восточном побережье Корякского нагорья – в окрестностях озер Пекульнейского и Ваамочки, чуть севернее 62° с.ш. Это кустарничковые, луговые, ивковые и болотные тундры и пионерная растительность на галечных косах на краю морских террас [8].

### **Методы исследования.**

Авиаучеты проводились С.Б. Розенфельд и Г.В. Киртаевым в июле-августе 2023 г. на гидросамолете СТЕРХ 1С с двухпорным поплавковым шасси (рисунок 1). Эта модель идеально подходит для учетов, поскольку обладает следующими характеристиками: обзор 180°: верхнее крыло, застекленная кабина с открывающимися боковыми окнами; крейсерская скорость около 120 км/ч, что обеспечивает небольшой радиус разворота (200–250 м на маневр); минимальная скорость управляемого полета менее 70 км/ч, что дает возможность лететь на одной скорости с птицами; надувные поплавки, что дает возможность приземления практически на любом водоеме, а также на лед и снег [5].

Ещё одно несомненное преимущество лёгких самолётов — низкий уровень шума, создаваемого при работе мотора, что важно для максимального уменьшения фактора беспокойства для птиц при полётах на малых высотах. Использование лёгких самолётов позволяет значительно повысить точность определения видов птиц и качество учётов.



Рисунок 1 - Фото гидросамолета СТЕРХ 1С, с которого проводили авиаучет и фотографирование на территории юго-восточной Чукотки.



Рисунок 2 - Карта Чукотки с указанием района работ

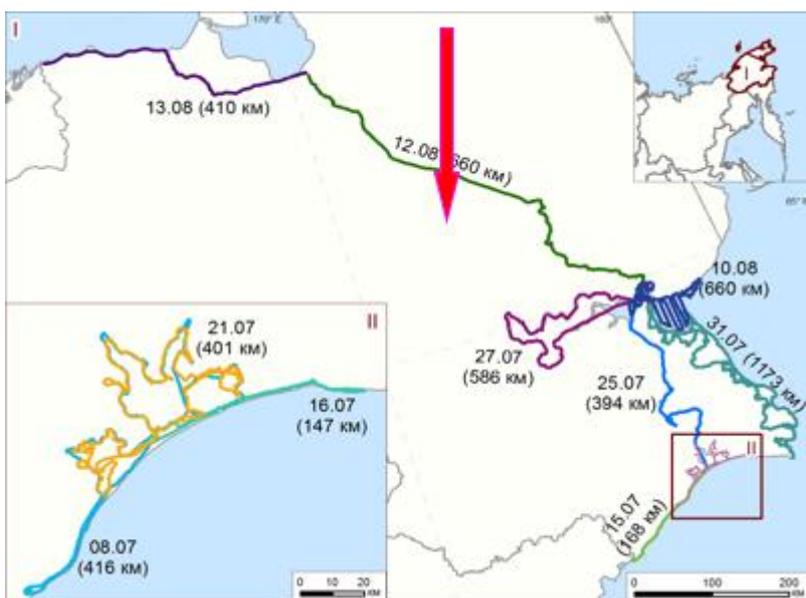


Рисунок 3 - Авиачеты на Чукотке в 2023 году и район нашей работы (II)

Сроки авиаучетов в гнездовой период были спланированы С.Б. Розенфельд в соответствии со сроками линьки и вылупления гусеобразных. (рисунок 3).

Трек полета записывали с помощью GPS Garmin. Во время учета скорость движения самолета составляла 70–120 км/час, а высота полета – 15-50 м. Учет проводили в полосе 800 м с каждого борта самолета. Фотоидентификацию и картирование птиц проводили с помощью фотокамеры Canon MARK IV со встроенным GPS с объективом Canon 77 (100-400 мм). Для определения видов птиц и расчета их долей в стае, подлетая к ней, снижали высоту до 15–20 м для фотографирования.

Автор участвовал в экспедиции РОСИП по учету птиц в юго-восточной Чукотке в 2022 году и в дешифрировании 1000 снимков, отснятых С.Б. Розенфельд в июле-августе 2023 года. Определение птиц проводили с использованием определителя В.К. Рябицева «Птицы Сибири» [9].

### **Результаты авиаучетов и дешифрирования.**

Всего проанализировано около 1000 фотографий, из них 787 фотографий с птицами, отмечено 20 видов птиц (таблица 1).

Каждая фотография была привязана к координатам с точностью до 0001 градуса. Подсчет числа птиц и доли видов в скоплениях осуществляли путем непосредственного подсчета птиц на фотоснимках (рисунок 4). Точки регистрации каждого конкретного вида на аэроснимке наносилась в программе Google Earth Pro, что позволило выяснить треки встреч видов (рисунки 10-15).



Рисунок 4 - Пример подсчета птиц в кадре – горбоносого турпана



Рисунок 5 - Озеро Пикульнейское (фото М.Л. Рыбаловой)



Рисунок 6 - Морская галечная коса вдоль Берингового моря (фото М.Л. Рыбаловой)

Основные места обитания Гусеобразных и Ржанкообразных птиц в районе исследования (рисунки 5 и 6)

Таблица 1 - Число птиц, полученное при дешифрировании фотографий

	Название вида	Число фотографий	Число особей
	<b>Отр. Гусеобразные</b>		
1	Горбоносый турпан ( <i>Melanitta deglandi</i> )	159	<b>1182</b>
2	Белолобый гусь ( <i>Anser albifrons</i> )	164	<b>454</b>
3	Каменушка ( <i>Histrionicus histrionicus</i> )	21	<b>237</b>
4	Американская синьга ( <i>Melanitta americana</i> )	21	<b>165</b>
5	Морская чернеть ( <i>Aythya marila</i> )	27	<b>121</b>
6	Гага обыкновенная ( <i>Somateria mollissima</i> )	19	<b>67</b>
7	Свизь ( <i>Anas penelope</i> )	12	<b>54</b>
8	Гуменник ( <i>Anser fabalis</i> )	20	<b>37</b>
9	Шилохвость ( <i>Anas acuta</i> )	19	<b>29</b>
10	Краснозобая гагара ( <i>Gavia stellata</i> )	36	<b>28</b>
11	Морянка ( <i>Clangula hualensis</i> )	6	<b>15</b>
12	Длинноносый крохаль ( <i>Mergus albellus</i> )	10	<b>12</b>
13	Чернозобая гагара ( <i>Gavia artica</i> )	6	<b>5</b>
14	Гусь белошей ( <i>Anser canagicus</i> )	8	<b>2</b>

	Название вида	Число фотографий	Число особей
15	Малый лебедь ( <i>Cygnus bewickii</i> )	4	2
	<b>Отр. Ржанкообразные</b>		
16	Серебристая чайка ( <i>Larus argentatus</i> )	60	429
17	Моевка ( <i>Rissa tridactyla</i> )	13	118
18	Сизая чайка ( <i>Larus canus</i> )	6	8
	<b>Отр. Журавлеобразные</b>		
19	Канадский журавль ( <i>Grus canadensis</i> )	16	6
	<b>Отр. Воробьинообразные</b>		
20	Ворон ( <i>Corvus corax</i> )	1	1

Выявлено 10 массовых и обычных видов гусеобразных и 2 массовых вида чаек.

Предпочитаемые местообитания наиболее массовых и обычных видов Гусеобразных:

1. Горбоносый турпан в основном держится вдоль побережья Берингового моря.
2. Белолобый гусь в основном отмечен в больших количествах вдоль озер.
3. Каменушка отмечена только на прибрежных косах и на побережье Берингового моря.
4. Морская чернеть отмечена как на побережье моря, так по краям озер (Ваамочки).
5. Американская синьга в основном отмечена на небольших озерах.
6. Гага обыкновенная отмечена как вблизи у моря, так и у краев озер.
7. Гуменник в основном отмечался вдоль небольших озер, иногда у моря.
8. Шилохвость отмечалась только на небольших озерах.
9. Краснозобая гагара в основном держится вдоль морского побережья Берингового моря, иногда на озерах.
10. Свиззь в районе исследования обнаружена только вдоль побережья озера Ваамочка.

Предпочитаемые местообитания чаек:

10. Серебристая чайка в основном отмечалась вдоль побережья моря, единично встречалась и у озер.

11. Моевка отмечалась только вдоль моря.

Примеры дешифрирования видов, треков авиаучета и приуроченности видов к местности.

Горбоносый турпан (*Melanitta deglandi*). (рисунки 7-8)



Рисунок 7 - Реальные фотоснимки стаи горбоносого турпана в ю-в Чукотке



Рисунок 8 - Встречи горбоносого турпана. Горбоносый турпан в основном держится вдоль морского побережья



Белолобый гусь (*Anser albifrons*)

(рисунки 9-10)

Рисунок 9 – Реальные авиаснимки белолобого гуся



Рисунок 10 - Встречи белолобого гуся. Белолобый гусь в основном отмечен вдоль озер (Ваамочки) и очень редко на морском побережье



Каменушка (*Histrionicus histrionicus*) (рисунок 11)

Рисунок 11 - Встречи каменушки. Каменушка отмечена только на прибрежных морских косах и на побережье моря



Морская чернеть (*Aythya marila*) (рисунок 12)

Рисунок 12 - Встречи морской чернети. Морская чернеть отмечена как на побережье моря, так по краям озер (Ваамочки)



Краснозобая гагара (*Gavia stellata*) (рисунок 13)

Рисунок 13 - Встречи краснозобой гагары. Краснозобая гагара в основном отмечалась вдоль морского побережья Берингового моря, и иногда на озерах



Серебристая чайка (*Larus argentatus*)  
(рисунок 14)

Рисунок 14 - Встречи серебристой чайки. Серебристая чайка в основном отмечалась вдоль побережья моря, единично у озер

### **Заключение.**

Впервые для юго-восточной Чукотки С.Б. Розенфельд проведен авиаучет гусеобразных и околоводных птиц с использованием сверхлегкого самолета СТЕРХ 1С.

Используя материалы авиаучетов (это около 5-7% всех аэроснимков) нами было проведено дешифрирование 1000 аэроснимков, из которых 787 аэроснимков были с птицами.

На снимках было обнаружено 20 видов птиц (таблица 1), из которых 15 видов – отряда Гусеобразных, 3 вида – Ржанкообразных, 1 вид Журавлеобразных, 1 вид – Воробьинообразных.

Среди Гусеобразных наиболее массовыми видами (более 100 экз на аэроснимках) были: горбоносый турпан (1182 экз), белолобый гусь (454 экз), каменушка (237 экз) американская синьга (165 экз) и морская чернеть (121 экз).

Среди Гусеобразных обычными видами в этом районе (с числом особей 20-70 экз) были: гага обыкновенная (67 экз), свиязь (54 экз), гуменник (37), шилохвость (29) краснозобая гагара (28).

На снимках и на земле отмечены два экземпляра редкого вида – малого лебедя.

Для всех массовых видов на карте обозначены географические точки их встреч, что показывает места их постоянного обитания (рис. 8-14).

По полученным данным можно оценить численность видов в данном районе, а это позволит судить о биологических ресурсах данного участка юго-восточной Чукотки.

### **Список источников**

1. Syroechkovskiy, E. E. Jr. Long-term declines in Arctic goose populations in eastern Asia / E. E. Jr. Syroechkovskiy // Waterbirds around the world. – Edinburgh, 2006. – С. 649–662.

2. Розенфельд, С. Б. Арктические гуси (*Anser*) и казарки (*Branta*) Евразии: анализ факторов динамики численности и ареалов / С. Б. Розенфельд, И. С. Шереметьев // Журнал общей биологии. – 2016. – Т. 77, № 1. – С. 16-37.

3. Поярков, Н. Д. Атлас распределения птиц в приморских тундрах северо-востока Азии (по материалам авиаучетов 1993–1995 годов) / Н. Д. Поярков, Д. Ходжес, В. Эддридж // Центр охраны дикой природы. – 2000. – С. 1-88.

4. Оценка пространственно-биотопического распределения гусеобразных птиц в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском округе (опыт использования сверхлегкой авиации) / С. Б. Розенфельд, М. Ю. Соловьев, Г. В. Киртаев [и др] // Зоологический журнал. – 2017. – Т. 96, № 2. – С. 201-221.

5. Оценка состояния популяций и условий обитания гусеобразных птиц Гыданского заповедника (Россия) и на прилегающих территориях с применением сверхлегкой авиации / С. Б. Розенфельд, Г. В. Киртаев, Н. В. Рогова [и др] // [Nature Conservation Research. Заповедная наука](#). – 2018. – Т. 3, № S2. – С. 76-90.

6. Перспективы организации мониторинга гусеобразных птиц в Ненецком автономном округе в период осенней миграции с целью их эффективной охраны / С. Б. Розенфельд, Н. В. Рогова, Г. В. Киртаев [и др] // [Казарка : бюллетень Рабочей группы по гусеобразным Северной Евразии](#). - 2021. – № 23. – С. 84-100.

7. Опыт оценки численности и распределения гусей и казарок на полуострове Таймыр методом авиаучета / С. Б. Розенфельд, А. Б. Поповкина, М. Ю. Соловьев [и др] // Труды Зоологического института РАН. – 2023. – Т. 327, №. 4. – С. 643-658.

8. Беликович, А. В. Растительный покров северной части Корякского нагорья / А. В. Беликович. – Владивосток : Дальнаука, 2001. – 415 с.

9. Рябицев, В. К. Птицы Сибири : справочник-определитель / В. К. Рябицев. – Москва ; Екатеринбург : Кабинетный ученый, 2021. – 890 с.

## Определение плодовитости золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* в условиях Московской области

*Настоящая работа посвящена изучению природно-климатических характеристик Московской области и их влиянию на развитие золотистой картофельной нематоды (ЗКН). Проведен анализ температурного режима, уровня осадков, почвенных и водных ресурсов региона, а также рассмотрена структура растительного мира. Особое внимание уделено оценке пригодности условий для развития ЗКН, включая температуру почвы, кислотность и влажность воздуха. Отмечена высокая плодовитость ЗКН, обусловленная полиэмбрионией, а также её способность сохранять жизнеспособность при значительных потерях влаги. Приведены данные о количестве яиц и личинок ЗКН в исследованных образцах цист. Работа подчеркивает важность мониторинга и контроля распространения данного паразита на территории Московской области.*

**Ключевые слова:** *картофель, нематода, золотистая картофельная нематода, численность, плодовитость, цисты, яйца, личинки.*

В мировом производстве растительных пищевых продуктов картофель (*Solanum tuberosum*) занимает четвертое место после основных зерновых культур — пшеницы, кукурузы и риса.

Согласно глобальной базе данных статистики сельского хозяйства, управляемой Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединённых Наций (ФАО) Россия занимает пяток место в мире по выращиванию картофеля. [1].

Картофель в России является одним из основных продуктов питания, важнейшим сырьем для перерабатывающей промышленности, а также кормом для животных. Благодаря высокой питательной ценности и продуктивности картофель, называемый в нашей стране «вторым хлебом», и является стратегически важнейшей сельскохозяйственной культурой.

Согласно данным Росстата, в 2024 году российские хозяйства всех категорий собрали 17,83 миллиона тонн картофеля. Диаграмма 1 демонстрирует распределение долей регионов страны по выращиванию этой культуры. Московская область заняла пятую позицию по объему производства картофеля, обеспечив 5% от общего показателя [2].

Из-за наиболее часто используемого вегетативного размножения это растение сильно подвержено заражению различными грибковыми, бактериальными и вирусными патогенами. Инфекционные болезни картофеля распространены повсеместно, их вредоносность

постоянно возрастает, что отрицательно сказывается на урожайности. Расчетная потенциальная продуктивность культуры в оптимальных условиях может составлять 60-100 т/га, но практически никогда не достигается. По данным, опубликованным ФАО, мировые потери урожая картофеля от болезней ежегодно составляют 88,9 млн т или 11,6% валового сбора, что в 2 раза превышает потери зерновых культур, овощей и сахарной свеклы [3].

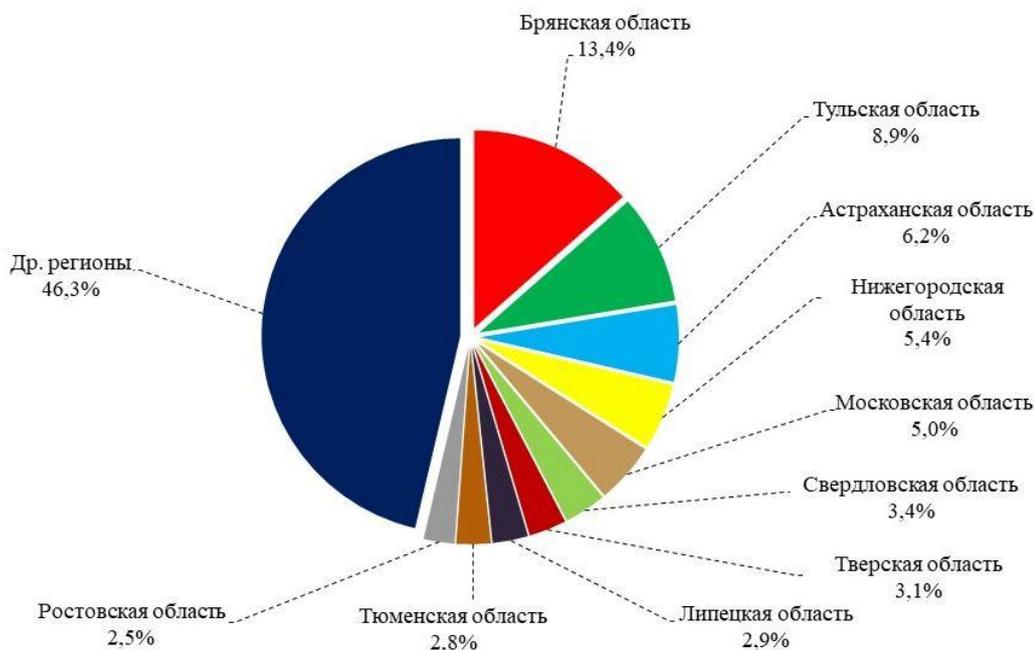


Диаграмма 1 - Доля регионов РФ в общем объёме валовых сборов картофеля в сельскохозяйственном секторе в 2024, % [2]

Картофель поражается с заметным экономическим ущербом примерно 54 видами фитопатогенных грибов, 39 видами вирусов, 19 видами нематод, 3 видами фитоплазм, 11 видами бактерий. Наибольшую экономическую проблему среди карантинных болезней картофеля для России представляет - глободероз. Глободероз — это болезнь голодания надземных органов: они не получают достаточного количества воды и питательных веществ для роста и развития из-за паразитирования нематод в корневой системе. Из-за паразитов, поврежденные корни становятся мочковатыми, растение низкорослые и чахлые, обычно не цветут; листья хлоротичной окраски, сморщиваются и усыхают, начиная с нижних ярусов; клубни мелкие, их количество не превышает 2-3 штук или они вовсе отсутствуют. На корнях пораженных растений легко обнаруживаются шаровидные белые, золотистые или коричневые цисты диаметром около 1 мм. На рисунке 1 представлено поврежденное растение.

Возбудителем глободероза, являются два вида цистообразующих нематод: золотистой картофельной нематодой *Globodera rostochiensis* (Woll,1923) Behrens, 1975 и бледной картофельной нематодой *Globodera pallida* (Stone,1977) Behrens, 1975. Золотистая

картофельная нематода (далее - ЗКН) при сильном поражении растений может снижать урожай товарных клубней картофеля до 90%, в зависимости от степени заражения почвы и устойчивости сортов. [3].



Рисунок 1 - Внешний вид поражения (рисунок автора)

На территории России в 50 субъектах установлены карантинные фитосанитарные зоны общей площадью 509 344,793 га по карантинному объекту – ЗКН [4]. В таблице 1 представлены данные Управления Россельхознадзора по городу Москва, Московской и Тульской областям по установленным карантинных фитосанитарных зон на территории Московской области [5].

Таблица 1 - Установленные карантинные фитосанитарные зоны на территории Московской области

Название карантинного организма	Административный район	Площадь в пределах установленной карантинной фитосанитарной зоны (га)	Дата и № приказа об установлении карантинной фитосанитарной зоны
1	2	3	4
Золотистая картофельная нематода ( <i>Globodera rostochiensis</i> (Woll.) Behrens.)	Люберецкий р-н	12	303 от 15.07.2014
	Люберецкий р-н	10	302 от 15.07.2014
	Люберецкий р-н	46,85	592 от 13.07.2021
Итого		68,85	

На территории Московской области золотистая картофельная нематода впервые обнаружена в 1967 году. А в целом по России вид впервые был обнаружен в 1949 году на территории Калининградской области. С этого момента площадь распространения нематоды возросла более чем в две тысячи раз [6].

#### **Актуальность.**

В связи с этим, большое практическое значение приобретают вопросы управления численностью, а, следовательно, и ограничением вредоносности возбудителя глободероза - золотистой картофельной нематодой.

**Цель работы** – оценить плодовитость ЗКН, распространенных на территории Московской области.

В задачи исследования входило:

1. изучение жизненного цикла и способа размножения золотистой картофельной нематоды;
2. на основе литературных источников определить факторы влияющие на продуктивность ЗКН;
3. определить численность яиц и личинок в цистах ЗКН;
4. экспериментальным путем определить, какое количество влаги могут терять яйца и личинки в цистах ЗКН.

**Объект исследования** – цисты *G. rostochiensis*.

**Предмет исследования** – подсчет количества яиц и личинок находящихся в цистах ЗКН с целью определения плодовитости ЗКН на территории Московской области.

#### **Методы и материалы исследования.**

Для изучения жизненного цикла и способа размножения золотистой картофельной нематоды и определения факторов, влияющих на продуктивность ЗКН использовались научные публикации, электронные информационные ресурсы и учебные пособия, полный перечень которых, представлен в разделе Список литературы, настоящей работы.

Перед началом эксперимента, проба зафиксированных в спирте цист ЗКН визуально осматривалась на наличие случайных загрязнений, выявленные загрязнения удалялись при помощи лабораторного шпателя и пинцета.

Для определения количества влаги, которое могут терять яйца и личинки в цистах ЗКН, зафиксированные в спирте цисты, взвешивались на весах, вместе с тарой. Для размачивания пробы - использовалась дистиллированная вода. Воду, в количестве 0,1 мл добавляли к пробе и оставляли на 1 час для набора влаги. Далее, крышка емкости открывалась, проба

подсушилась естественным путем при температуре воздуха в помещении (+26°C) до исчезания в массе пробы видимых капель и подтеков воды (примерно 5,5 часов) и повторно взвешивалась. Цисты доставались из тары для дальнейшего эксперимента, а опустошенная тара взвешивалась. Количество цист в исследуемой пробе было посчитано визуальным методом, при помощи деления зоны расположения пробы на квадраты, полученные сведения заносили в журнал.

Для подсчёта количество яиц и личинок, находящихся в цистах, использовался визуальный метод. Зафиксированные в спирте цисты, ранее размоченные в дистиллированной воде (что бы оболочка становилась эластичнее) перемещались на предметное стекло, накрывалась покровным стеклом с нажатием, таким образом, что раздавить оболочку цисты. После этого, стекло устанавливали на предметный столик микроскопа и рассматривали каждую цисту и ее содержимое в отдельности. Производили визуальный подсчёт яиц и личинок, при помощи деления зоны расположения пробы на квадраты, полученные сведения заносили в журнал. Далее при помощи программы Excel, производили статистическую обработку полученных данных.

Входе эксперимента были использованы следующие материалы: центрифужная пробирка объемом 1,5 мл, проба зафиксированных в спирте цист ЗКН, пипетка пластмассовая, дистиллированная вода, аналитические весы, микроскоп, аналитические весы, пинцет, лабораторный шпатель, предметные и покрывные стекла (обезжиренные), химический стаканчик емкостью 30 мл, стеклянная палочка, персональный компьютер. Предметные стекла (обезжиренные)

Всего проведено 70 измерений и наблюдений.

*Краткая характеристика природно-климатических условий Московской области.*

Московская область расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины и занимает площадь 45,8 тыс. км<sup>2</sup>. Рельеф области преимущественно равнинный с небольшими холмистыми участками.

На территории Московской области преобладающим типом почв являются почвы подзолистого типа и представлены: подзолистыми, дерново-подзолистыми, дерново-подзолистыми болотными, подзолисто-глеевыми, подзолисто-глееватыми, торфянисто-, торфяно-, перегнойно-подзолисто-глеевыми, дерново-подзолистыми глееватыми. В силу длительного антропогенного влияния типы дерново-подзолистых почв зачастую слабо отличаются друг от друга. Подзолистые почвы характеризуются кислой и сильнокислой реакцией (рН сол. 3,5–5,0)

Серые лесные почвы сформировались под широколиственными лесами и распространены к югу от Оки и в восточной части Москворецко-Окской равнины. Различают

светло-серые, серые и тёмно-серые лесные почвы; на увлажнённых участках встречаются серые лесные глееватые почвы, изредка даже серые лесные глеевые. Чернозёмные почвы (сильно оподзолены и выщелочены) распространены мало и имеют место лишь к югу от Оки. Реакция среды в гумусовом горизонте серых лесных почв кислая или слабокислая (рН сол.4,8-5,7).

По долинам крупных рек расположены полосы аллювиальных почв различной ширины, особенно широкие в долинах рек Оки, Москвы и Клязьмы. Наиболее распространённые типы таких почв — аллювиальные дерновые и аллювиальные глееватые и глеевые [9]. Реакция среды аллювиальных почв кислая или слабокислая (рН сол 4–5).

Московская область находится в пределах лесной полосы (крайний юг таёжной зоны, зоны хвойно-широколиственных и широколиственных лесов) и лесостепной зон. Леса занимают свыше 40 % территории региона; в некоторых районах (преимущественно на западе, севере области и на крайнем востоке) залесённость превышает 80 %. Большая часть территории области входит в зону смешанных лесов. В зону широколиственных лесов входят территории, располагающиеся к югу от Оки. Серебряно-Прудский район, относится к лесостепной зоне.

Климат Московской области представляет собой переходный тип между мягким морским характерным для Западной Европы, и резко континентальным климатом Азиатского материка. Главным климатообразующими факторами области является её положение в зоне умеренных широт, удаленность от океанов и крупных горных поднятий, поступление солнечной радиации, циркуляция воздушных масс, а также подстилающая поверхность (рельеф, растительность, болота, снежный покров). Годовой ход прямой солнечной радиации области четко определяется сезоны года и основные типы погоды Подмосковья. Продолжительность солнечного сеяния наибольшая в летние месяцы (51-57%) и наименьшая в зимние месяцы (11-22%) от возможного. Рассеянная радиация за год составляет примерно 70-80% от прямой солнечной радиации.

В течение года в Московской области приходят различные типы воздуха: морской умеренный со стороны Атлантики, морской и континентальной со стороны Арктики, континентальной и умеренный из Сибири, а также морской и континентальной тропический со стороны Средиземноморья и Ирана. Преобладающими во все сезоны года является континентально-умеренные воздушной массы (до 40-45%), которые также называются «местными», формирующими в основном в центральных районах Русской равнины. Этот воздух отличается низкой температурой зимой и сравнительно высокой летом, умеренность сухостью и запылённостью морские и континентальные арктические массы воздуха имеют повторяемость до 20-30%. Для них характерны низкие температуры, сухость и прозрачность.

В повторяемости ветров различных направлений, просматривается преобладание во все сезонные года ветра юго-западных (18%), и западных румбов (15%). Это связано с частым вхождением холодных циклонов с Атлантического океана. Наибольшая среднемесячная скорость ветра в области -5,3 м/с (Кашира) и среднегодовая -3,7 м/с (Егорьевск).

Среднегодовая величина атмосферного давления в Подмосковье 757-761 мм. Средняя величина давления январе около 763 мм и в июле 759 мм.

Среднегодовая температура воздуха Московской области от 3,8°C (Дмитров) до 5,7 °С (Балчуг). Самый холодный месяц - январь. Среднемесячная температура составляет -10,8 °С (Коломна). Самый теплый месяц в году- июль. Среднемесячная температура на территории области колеблется от 17,4 °С (Можайск) до 18,3 °С (Черусти). Многолетние наблюдения показывают, что отрицательные температуры могут быть практически во все месяцы года, кроме июля. Период с положительной среднесуточной температурой длится в среднем 206-216 дней (переход температуры через 0 С к более высоким значениям весной происходит в пентоде апреля, к более низким - в первой пентоде ноября). Наименьшая продолжительность этого периода - 160 дней, наибольшая - 230 дней. Безморозный период длится 120-140 дней, в отдельные годы 65-180 дней.

Среднегодовая абсолютная влажность составляет 8,7 мм. Максимум приходится на июль (14,3 мм) и минимум – на февраль (2,8 мм). Среднегодовая влажность составляет 79%. Самый высокий ее показатель приходится на ноябрь-декабрь 87-88%. Число пасмурных дней в области 100-110 за год.

Московская область относится к зоне достаточного увлажнения. Годовая сумма осадков в среднем 520-660 мм, с колебанием в отдельные годы примерно от 270 до 900 мм. Две трети осадков в году выпадает в виде дождя, одна треть - в виде снега. В теплую часть года преобладают дожди средней интенсивности, хорошо увлажняющие почву. Ливневые дожди нередко сопровождаются грозами, а иногда и градом. В среднем за теплый период бывает 21-25 дней с грозой и один-два с градом. В холодное время года осадки выпадают в виде снега. От годовой нормы всех видов запасы воды в снежном покрове составляют примерно 20-24%.

Сумма осадков за период активной вегетации в большинстве районов составляет в среднем 250-270 мм. Весной, за период перехода средней суточной температуры воздуха через 5° С до перехода ее через 15° С, выпадает 90-110 мм осадков. В летний период, с температурами выше 15° С, сумма осадков составляет 160-180 мм. В каждый из летних месяцев (июнь - август) и среднем выпадает 70-80 мм осадков, что в целом обеспечивает достаточное увлажнение. Однако, количество осадков в отдельные месяцы из года в год очень различно, и их сумма значительно отклоняется от средней величины.

Средняя продолжительность снежного покрова составляет 137-145 дней. Средняя высота его колеблется в пределах 30-53 см. Снеготаяние на территории области начинается в среднем 17-24 марта. По всей территории области снеготаяние проходит довольно быстро и в среднем длится примерно 15-20 дней. Характерной особенностью климата области являются туманы. В отдельные годы наблюдаются до 161 дня с туманами. наибольшее их количество приходится на октябрь- март до 104 дней и наименьшая в апреле-ноябре – до 77 дней.

Московская область делится на три агроклиматические зоны по теплу, влагообеспеченности, рельефу местности, типу почвы, среднему минимуму температур и длительности безморозного периода: Южную, Центральную и Северную. На рисунке 2 представлена карта разделения Московской области на агроклиматические зоны.

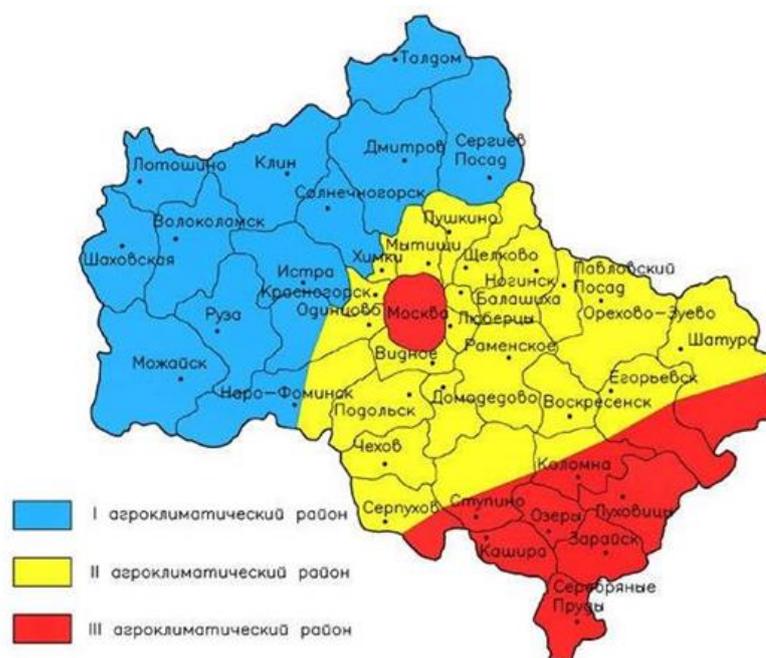


Рисунок 2 - Агроклиматические особенности Московской области

Первый (I) агроклиматический район занимает северо-западную часть территории. Сумма среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации растений составляет в этом районе 1800-1900 С. Гидротермический коэффициент равен 1,5-1,6. Продолжительность периодов с температурой почвы выше 15 градусов 59–67 дней.

Второй (II) агроклиматический район занимает центральную часть области. Сумма среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации изменяется от 1900 С на северо-западе до 2100 С на юго-востоке и востоке района. Гидротермический коэффициент равен 1,3-1,4. По разновидностям почв II район можно разделить на два подрайона; Па - с суглинистыми почвами и Пб - с песчаными и супесчаными почвами. Продолжительность периодов с температурой почвы выше 15 градусов 65–84 дня.

Третий (III) агроклиматический район самый теплый занимает юго-восток области. Сумма средних суточных температур за период вегетации растений составляет 2100-2200 С. Гидротермический коэффициент равен 1,2-1,3. Продолжительность периодов с температурой почвы выше 15 градусов 77–88 дней. В соответствии с классификациями предложенной Г.Т. Селяниновым (1887—1966) [9] по гидротермическому коэффициенту увлажнения территорию всю Московской области можно отнести к зоне избыточного увлажнения, или зоне дренажа ( $ГТК > 1.3$ ). На территории Московской области в начале вегетации, запасы влаги в почве в большинстве лет бывают хорошие и составляют в метровом слое на суглинистых почвах 180-200мм, на супесчаных – 120-140мм.

Температура почвы в Московской области зависит от сезона и глубины залегания. В среднем, температура почвы на глубине 20 см колеблется следующим образом:

Весна: от +5°C до +15°C;

Лето: от +15°C до +25°C;

Осень: от +10°C до +5°C;

Зима: от 0°C до -5°C (на поверхности может опускаться ниже).

Эти показатели являются ориентировочными и могут варьироваться в зависимости от конкретных погодных условий каждого года. Наибольшая глубина промерзания почв — 75 см, в отдельные годы может достигать 150 см.

Указанные климатические условия способствовали акклиматизации и распространению золотистой картофельной нематоды на территории Московской области.

Жизненный цикл и способ размножения золотистой картофельной нематоды.

Золотистая картофельная нематода происходит из Анд Южной Америки. Впервые в Европе найдена в 1913 году в Германии вместе с импортированным картофелем [6]. Также распространена в Северной Америке, Африке, Азии и Австралии. *Globodera rostochiensis* как включена в список ТОП-100 самых опасных инвазионных видов России. ЗКН поражает не только картофель, но и более 170 видов растений из семейства паслёновых, включая томаты и баклажаны.

Золотистая картофельная нематода (ЗКН) – это круглый червь, принадлежащий к семейству разнокожих нематод. В таблице 2 представлена классификация вида.

Таблица 2 - Научная классификация ЗКН

<b>Царство</b>	Животные
<b>Тип</b>	Круглые черви
<b>Класс</b>	Chromadorea
<b>Отряд</b>	Tylenchida
<b>Семейство</b>	Heteroderidae
<b>Род</b>	Globodera
<b>Вид</b>	Золотистая картофельная нематода

ЗКН имеет следующие особенности:

1. полное развитие по нематодному типу;
2. двуполое размножение;
3. появление 1–2 поколений в год, в зависимости от климатических условий;
4. формирование цист, в которых зимуют яйца.

Взрослые особи – черви размером от 380 до 1270 мкм. Самки и самцы заметно отличаются друг от друга.



Рисунок 3- Самка-циста  
(рисунок автора)



Рисунок 4 - Циста  
(рисунок автора)



Рисунок 5 - Самец (рисунок автора)

Самки шаровидной формы (рисунок 3). Головной конец червеобразно вытянут; задний - округлый. Кутикулярная стенка цисты плотная. Длина тела колеблется от 0,13 до 1 мм и более, ширина от 0,1 до 0,96 мм. Цвет сначала белый, затем золотистый, а к осени, когда самка

превращается в цисту, наполненную - яйцами (от 45 до 1300 шт. в одной цисте) с частично развившимися в них личинками 1, а затем 2 возраста (рис. 4), постепенно переходит в бурый до темно-коричневого. Самцы червеобразной формы с круглым хвостом, бесцветные, прозрачные, длина тела от 0,9 до 1,23 мм, ширина 0,025 - 0,030 мм (рис. 5). Яйца овальной формы с притуплёнными концами, длина 0,09 - 0,12 мм, ширина 0,04 - 0,06 мм, прозрачные. Самец ЗКН не питается, от только участвует в оплодотворении, сразу после которого гибнет.

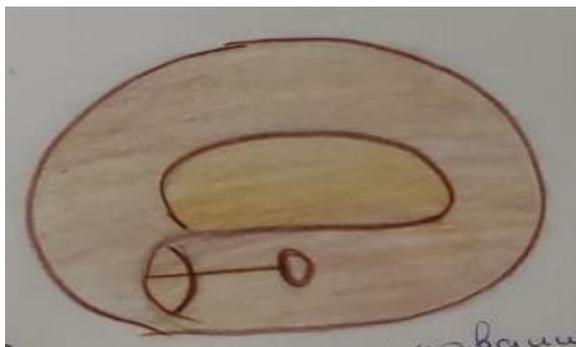


Рисунок 6 - Яйцо с личинкой  
(рисунок автора)



Рисунок 7 - Личинка (рисунок автора)

Личинки типичной червеобразной формы (рис 7), в яйцах свернуты (рис. 6), только что вылупившиеся имеют длину 0,35 - 0,52 мм при ширине 0,018 - 0,025 мм, прозрачные.

Развитие яиц и личинок нематод во внешней среде.

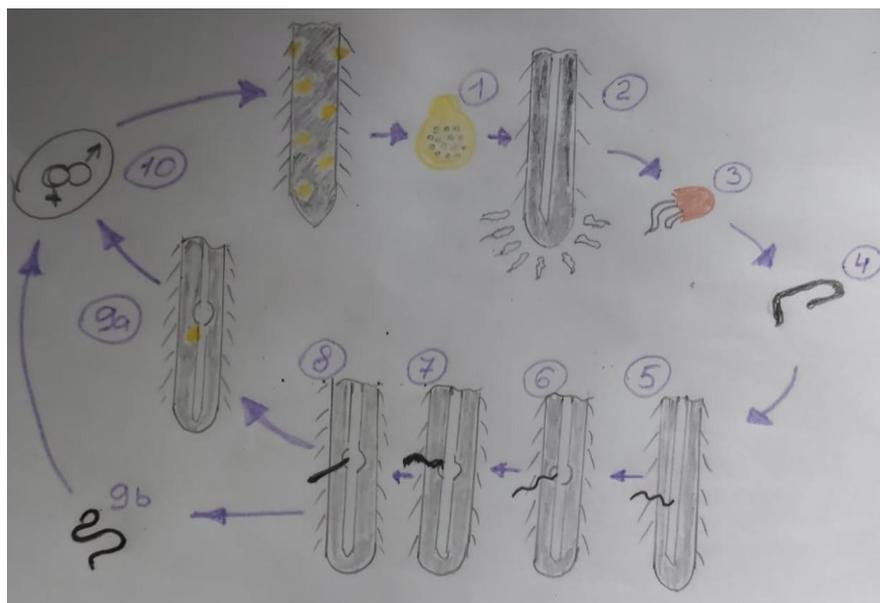


Рисунок 8 - Схематичное изображение жизненного цикла золотистой и бледной картофельных нематод (рисунок автора)

Описание жизненного цикла золотистой и бледной картофельных нематод.

*1* — в цисте находятся сотни яиц, в которых развиваются личинки первого возраста и после этого линяют в личинок второго возраста; *2* — корни растения-хозяина выделяют вещества, стимулирующие вылупление личинки второго возраста (*3*); *4* — личинки второго возраста перемещаются по почве в поисках корня растения-хозяина; *5* — проникновение инвазионной личинки в корень, а именно — к его перициклу; *6* — личинка стимулирует формирование синцития, линяет и становится личинкой третьего возраста (*7*), а затем снова линяет, достигая четвертого возраста (*8*); *9* — личинка линяет либо во взрослую самку (*a*), если уровень питательных веществ высокий, либо во взрослого самца (*b*), если уровень питательных веществ низкий; *10* — самцы находят самок по феромонам и спариваются с ними; *11* — после оплодотворения самки набухают, твердеют и образуют цисты, содержащие яйца.

Зимует нематода в стадии яиц и личинок, заключенных в оболочку старой самки (цисты) в почве. Весной, при благоприятных температурных условиях из цист, находящихся в пахотном горизонте, выходят инвазионные личинки. У них хорошо развита ориентация на выделения корней поражаемых растений. Передвигаться они могут лишь во влажной почве на расстояние до 30-100 см. Находят растение «хозяина» и инвазируют его, приступая к усиленному питанию (прокалывая стилетом стенки клеток). Стенки окружающих нематоду клеток растворяются, формируется гигантская клетка-синцитий. В корнях они становятся неподвижными, линяют и развиваются в личинок 3 и 4 возрастов, а затем во взрослых особей (белых самок или прозрачных самцов). Самцы через разрыв коры корня выходят в почву, находят и оплодотворяют самок, затем погибают. Самки по мере развития в них яиц раздуваются и становятся круглыми, кожа клубня из-за этого разрывается. Задний конец тела самок выступает наружу, а головной остается погруженным в растительную ткань. После окончания продуцирования яиц внутренние органы самок отмирают, кутикула затвердевает, самки превращаются в цисты, которые отпадают от корней в почву, где и сохраняются.

Продолжительность жизненного цикла зависит от температуры: при оптимальной температуре (18–20 °С) цикл развития занимает 38–48 дней, при средней температуре 15–17 °С цикл удлиняется до 50–60 дней, в северных регионах продолжительность цикла составляет уже 65–80 дней.

Благоприятными условиями для выхода личинок нематоды из цист являются: температура почвы от 15 °С до 25 °С, влажность 70–80% от полной полевой влагоемкости и слабощелочная почва с рН 6. Наиболее подходящими для развития нематод являются участки, где картофель выращивается ежегодно без соблюдения севооборота.

Стадии покоя у *G. rostochiensis* - отсутствует, поэтому в благоприятных условиях можно получить до семи генераций в год.

На территории Московской области, с учетом ее природно-климатических особенностей, условия для развития ЗКН являются частично благоприятными. Так, периоды с температурой почвы выше 15°C составляют от 59 до 84 дней, преобладают кислые и слабокислые почвы, а среднемесячный показатель влажности воздуха в июле, самом теплом месяце, равен 73%. Это позволяет развиваться одному поколению ЗКН ежегодно, иногда — двум.

Выживаемость яиц и личинок нематод во внешней среде.

ЗКН, как и другие паразиты, отличается высокой плодовитостью, что получило название «закона большого числа яиц». Это явление обусловлено полиэмбрионией — процессом, при котором из одного яйца развивается много зародышей. Такая стратегия помогает виду выживать в условиях постоянной борьбы за существование. Когда возникают благоприятные условия, личинки начинают массово и быстро вылупляться. Примерно половина внедрившихся личинок достигает взрослого состояния. Если растение-хозяин отсутствует, из цист выходит лишь небольшая доля личинок, которые затем гибнут. Остальные личинки остаются жизнеспособными внутри цист до 8-9 лет. Недостаточная влажность, низкие температуры, плохая аэрация почвы - препятствуют выходу личинок наружу.

Пути распространения.

Картофельная нематода не обладает естественными механизмами распространения; личинки второго возраста способны перемещаться в почве на ограниченное расстояние, ориентируясь на выделения корней растений. Цисты распространяются через заражённые клубни картофеля, частицы инфицированной почвы, прилипающие к корнеплодам, луковицам, укоренённому посадочному материалу, декоративным и прочим растениям, а также через тару, сельскохозяйственный инвентарь, обувь людей и лапы животных. Возможен перенос цист с загрязнённой почвой посредством транспортных средств и водой.

Собственные исследования. Результаты взвешивания и определение количества влаги, которое теряют яйца и личинки в цистах ЗКН (рисунки 9-12, фотографии).



Рисунок 9 -  
Результаты  
взвешивания пустой  
тары



Рисунок 10-  
Результаты  
взвешивания тары с  
находящейся в ней  
законсервированной  
пробой



Рисунок 11 -  
Результаты  
взвешивания тары с  
находящейся в ней  
размоченной пробой



Рисунок 12 -  
Результаты  
взвешивания тары с  
находящейся в ней  
подсушенной  
пробой после  
замачивания в воде

Результаты взвешивания цист представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты взвешивания цист

Наименование	Масса, г
Масса пустой тары	0,9610
Общая масса тары с находящейся в ней законсервированной пробой	0,9741
Чистая масса законсервированной пробы	0,0131
Общая масса тары с находящейся в ней размоченной пробой	1,0713
Общая масса тары с находящейся в ней подсушенной пробой после замачивания в воде	1,0230
Чистая масса подсушенной пробы	0,0620
Масса влаги набранной пробой	0,0489

Проведен подсчет количества зафиксированных в спирте цист, составляющих исследуемую пробу, при помощи деления зоны расположения пробы на квадраты (рисунок 13), результаты представлены в таблице 4.



Рисунок 13 - Результаты взвешивания тары с находящейся в ней размоченной пробой (фото)

Таблица 4 - Результаты пересчета количества цист составляющих исследуемую пробу

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	3	7	7	7	12	10	5	6
2	4	4	9	7	5	11	15	14	10	6
3	5	6	28	19	32	25	3	30	21	7
4	7	7	9	9	23	24	12	20	10	7
5	13	4	15	6	13	10	5	33	10	9
6	9	16	12	10	19	13	12	19	11	3
7	4	8	13	14	12	3	5	5	7	4
8	7	9	4	5	8	5	3	6	3	2
Всего	822									

Примерное количество цист, утерянных в процессе опорожнения тары, разрушившихся в процессе работы (15 шт. - прилипло к скотчу; примерно 20 шт. - осталось в таре; примерно 20 шт - разрушено) составляет примерно 50-60 шт. таким образом общее количество цист составляющих исследуемую пробу составляет -880 шт., с учетом возможной неточности в

подсчете количества утерянных цист можно принять, что общее количество цист составляющих исследуемую пробу равно 900 шт.

Для определения масса одной цисты, общую массу делили на количество цист. Результаты расчёта средней массы одной цисты представлен в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты расчёта средней массы одной цисты

Наименование	Масса, мкг*
Масса одной цисты в сухом состоянии (законсервированной пробы)	14,5
Масса одной цисты, набравшей воду	68,9

*\*При расчёте не учитывалась разница в размере зерен*

Расчет потери влаги яйцами и личинками находящими в произведен по формуле:

$$x = \frac{m - m_1}{m} \times 100 ,$$

где:

x – потеря влаги (%);

m — Масса одной цисты в сухом состоянии (граммы);

m<sub>1</sub>— Масса одной цисты, набравшей воду (граммы).

$$x = ((0.0000689/0.0000145) / 0.0000689) * 100 = 78,95\%$$

Таким образом, яйца и личинки ЗКН находящие в цистах могут терять 78,95% при этом сохранять свою жизнеспособность. Эта адаптация позволяет ей переживать неблагоприятные условия, такие как засуха или отсутствие подходящего растения-хозяина.

Для сравнения, потеря человеком даже 20% воды является критической и часто смертельной, поскольку вода играет ключевую роль в поддержании всех жизненно важных функций организма.

Рекордсменом по выживанию являются – тихоходки (Tardigrada) является экстремофилами (рисунок 14). В процессе ангидробиоза, они втягивают в тело конечности, уменьшаются в объёме и принимают форму бочонка (рисунок 15). Поверхность покрывается восковой оболочкой, препятствующей испарению. При анабиозе их метаболизм падает до

0,01 %, а содержание воды падает до 1 % от нормального. В таком состоянии они могут находиться десятки лет, а попадая в благоприятную среду, начинают оживать.



Рисунок 14 - Тихоходка  
(рисунок автора)

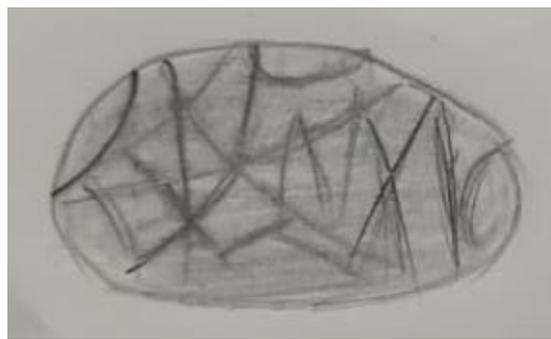


Рисунок 15 - Тихоходка в обезвоженном состоянии (рисунок автора)

В клетках хотоходках был обращен белок CAHS (англ. Cytoplasmic-Abundant Heat Soluble). Эти белки начинают в больших количествах синтезироваться при обезвоживании, внутрeклеточная жидкость заменяется на на внутриклеточный гель, распространяется по всему пространству клетки, сохраняя ее форму и структуру вместо воды, защищая беки от повреждений. А когда вода возвращается – гель растворяется [8].

Определение численности яиц и личинок в цистах ЗКН. Для подсчёта численности яиц и личинок из размоченных и подсушенных цист, были отобраны наиболее крупные особи в количестве 50 шт. Результаты подсчета приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты подсчета численности яиц и личинок в исследуемых цистах

<b>N</b>	<b>кол-во, шт.</b>								
<b>1</b>	160	<b>11</b>	163	<b>21</b>	236	<b>31</b>	174	<b>41</b>	239
<b>2</b>	193	<b>12</b>	175	<b>22</b>	206	<b>32</b>	182	<b>42</b>	197
<b>3</b>	180	<b>13</b>	199	<b>23</b>	155	<b>33</b>	194	<b>43</b>	186
<b>4</b>	215	<b>14</b>	230	<b>24</b>	208	<b>34</b>	231	<b>44</b>	176
<b>5</b>	222	<b>15</b>	150	<b>25</b>	184	<b>35</b>	164	<b>45</b>	207
<b>6</b>	204	<b>16</b>	167	<b>26</b>	203	<b>36</b>	181	<b>46</b>	152
<b>7</b>	154	<b>17</b>	218	<b>27</b>	225	<b>37</b>	189	<b>47</b>	221
<b>8</b>	187	<b>18</b>	190	<b>28</b>	238	<b>38</b>	210	<b>48</b>	182
<b>9</b>	212	<b>19</b>	166	<b>29</b>	159	<b>39</b>	219	<b>49</b>	224
<b>10</b>	233	<b>20</b>	196	<b>30</b>	223	<b>40</b>	235	<b>50</b>	239

Общее количество яиц и личинок ЗКН в изученных образцах цист составило 9827 штук. Среднее арифметическое значение – 197 штук, минимальное количество яиц и личинок в исследуемых цистах составило – 150 штук, а максимальное – 239 штук.



Рисунок 16 - Циста с личинками (фото автора)

#### Моделирование заражения золотистой картофельной нематодой на примере г.о. Жуковский

Предположим, что отобранные нами образцы для подсчёта яиц и личинок, в количестве 50 шт., были просыпаны в одном месте на картофельном поле, расположенном в границах г.о. Жуковский, Московской области. Территория г.о. Жуковский относится ко второму (II) агроклиматическому району, подрайону Па, с дерново-сильнопodzolistыми почвами, для которых характерна кислая и сильнокислая реакция ( $pH = 4,0-5,5$ ). Продолжительность периода с температурой почвы выше 15 градусов 65–84 дней.

При наступлении благоприятных условия, из цист вылупятся личинки в количестве 9827 шт., из которых предположим 40% будут составлять мужские особи и 60% женские. Так же учтем безвозвратных потерь в количестве 50%, получим что к концу вегетационного периода, на зараженной площади будет находится 2948 цист. Которые, уже в следующем году, смогут преобразоваться в 247640 цист, при условии аналогичной плодовитости.

Согласно ГОСТ 2430-2019 [9], степень заражённости почвы золотистой картофельной нематодой характеризуется следующими значениями:

1. свыше 5000 личинок на 100 см<sup>3</sup> почвы — высокая степень заражённости;
2. до 5000 личинок — средняя степень;
3. менее 1000 личинок — низкая степень.

Таким образом, степень зараженности участка, будет классифицироваться высокой степенью зараженности, а потери урожая картофеля составят 70%.

## Заключение:

1. Московская область расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины и характеризуется умеренно-континентальным климатом. Температурный режим: Средняя температура января колеблется от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $-12^{\circ}\text{C}$ , июля — от  $+17^{\circ}\text{C}$  до  $+19^{\circ}\text{C}$ . Зима холодная, лето теплое. Среднегодовое количество осадков составляет около 600–700 мм, большая часть выпадает летом в виде дождей. Высокая, особенно весной и осенью, что способствует частым туманам. Четко выражены четыре сезона: зима, весна, лето и осень. Равнинный, с небольшими холмистыми участками и низменностями. Область богата реками (Ока, Москва-река, Клязьма) и озерами, а также многочисленными прудами и водохранилищами. Преобладают дерново-подзолистые и серые лесные почвы, которые используются в сельском хозяйстве. Смешанные леса (сосна, ель, береза, осина) занимают значительную часть территории, чередуются с луговыми пространствами и болотами.

2. На территории Московской области, с учетом ее природно-климатических особенностей, условия для развития ЗКН являются частично благоприятными. Так, периоды с температурой почвы выше  $15^{\circ}\text{C}$  составляют от 59 до 84 дней, преобладают кислые и слабокислые почвы, а среднемесячный показатель влажности воздуха в июле, самом теплом месяце, равен 73%. Это позволяет развиваться одному поколению ЗКН ежегодно, иногда — двум.

3. *Globodera rostochiensis* как включена в список ТОП-100 самых опасных инвазионных видов России. На территории Московской области, в 2025 года установлены 3 фитосанитарных карантинных зоны по данному паразиту.

4. ЗКН отличается высокой плодовитостью, за счет полиэмбрионии — процесса, при котором из одного яйца развивается много зародышей.

5. В результате определения количества влаги, которое теряют яйца и личинки в цистах ЗКН, было установлено, что они могут терять 78,95% влаги и при этом сохранять свою жизнеспособность. Эта адаптация позволяет ей переживать неблагоприятные условия, такие как засуха или отсутствие подходящего растения-хозяина до 8-9 лет.

6. В ходе исследования было установлено, что общее количество яиц и личинок ЗКН в изученных образцах цист составило 9827 штук. Среднее арифметическое значение составило 197 штук, Минимальное количество яиц и личинок в исследуемых цистах составило — 150 штук, а максимальное — 239 штук.

7. На основе проведенного моделирования заражения золотистой картофельной нематодой (ЗКН) на участке картофельного поля в городском округе Жуковский Московской области можно предположить, что внесение 50 цист на картофельное поле приведёт к появлению 2948 цист к концу вегетационного периода. К следующему сезону количество цист увеличится до 247640 штук. Согласно классификации по ГОСТ 2430-2019, этот уровень

заражения соответствует высокой степени заражённости почвы ЗКН (более 5000 личинок на 100 см<sup>3</sup> почвы), а прогнозируемые потери урожая картофеля на данном участке могут достичь 70%.

### Список источников

1. Топ 10 стран-производителей картофеля // Свое фермерство : [сайт]. — URL: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/news/top-10-stran-proizvoditelej-kartofelja> (дата обращения: 25.03.2025).

2. Картофель : площади, сборы и урожайность в России в 2024 году // АБ центр : [сайт]. — URL: <https://ab-centre.ru/news/kartofel-ploschadi-sbory-i-urozhaynost-v-rossii-v-2024-godu> (дата обращения: 25.03.2025).

3. Передовые методы диагностики патогенов картофеля / Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (ФГБНУ "Росинформагротех"), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А. Г. Лорха" ; С. В. Жевора [и др.]. – Москва : ФГБНУ , 2019. – 96 с.

4. Национальный доклад о карантинном фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации в 2023 году. – Москва : Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, 2024. – 33 с.

5. Информация об установлении карантинных фитосанитарных зон и наложении карантина // Россельхоз : [сайт]. - URL: <https://777.fsvps.gov.ru/files/informacija-ob-ustanovlenii-karantinnyh-fitosanitarnyh-zon-i-nalozhenii-karantina-na-territorii-moskovskoj-oblasti/> (дата обращения: 25.02.2025).

6. Пименова, Ирина Михайловна. Мониторинг популяций золотистой картофельной нематоды и изучение почвоочищающей способности различных по устойчивости сортов картофеля : диссертация ... канд. сельскохозяйственных наук : 06.01.11 / Пименова Ирина Михайловна ; [Место защиты: Рос. гос. аграр. ун-т]. – Москва, 2009. – 172 с.

7. Экология подмосковья : энциклопедическое пособие / ред. совет: Б. С. Рябушкин [и др]. - 1-е изд. – Москва : Современные тетради, 2004. – 583 с.

8. Васильев, Сергей. Ученые раскрыли секрет защиты тихоходок от полного пересыхания / Сергей Васильев // Naked science : [сайт]. — URL: <https://naked->

science.ru/article/biology/sekret-zashhity-tihohodok-ot-peresyhaniya (дата обращения: 15.03.2025).

9. ГОСТ 12430-2019. Карантин растений. Методы и нормы отбора образцов подкарантинной продукции при карантинном фитосанитарном досмотре и лабораторных исследованиях : межгосударственный стандарт : дата введения 2020-06-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. - Москва : Стандартинформ, 2020. - 45 с.

10. Прогноз динамики ареала картофельной цистообразующей нематоды *globodera rostochiensis* (wollenweber, 1923) (nematoda, heteroderidae) в условиях глобального изменения климата на территории России / М. В. Приданников, С. В. Зиновьева, Е. А. Худякова [и др] // Российский журнал биологических инвазий. – 2022. - № 3. - С. 25.

11. Лиманцева, Людмила Алексеевна. Золотистая картофельная нематода *Globodera rostochiensis* в Северо-Западном регионе РФ: состав популяции, источники и доноры устойчивости : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 06.01.07 / Лиманцева Людмила Алексеевна ; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед. ин-т защиты растений РАСХН]. - Санкт-Петербург, 2010. – 21 с.

## Рентабельность выращивания свекловичных культур с точки зрения влияния на них свекловичной нематоды *Heterodera schachtii*

*В данной работе проведен анализ рентабельности выращивания свекловичных культур в Московской области с точки зрения благоприятности обитания нематоды *Heterodera schachtii* в условиях данного региона (т. е. способности наносить ущерб культурам) путём подсчёта её плодовитости по цистам. Результат исследования показал, что условия являются вполне благоприятными, что делает выращивание не очень рентабельным.*

**Ключевые слова:** *Heterodera schachtii*, Московская область, нематода, урожайность.

Введение.

Нематоды представляют серьёзную угрозу сельскохозяйственным культурам. В связи с этим очень важным является мониторинг их плодовитости и уровня заражения ими растений в том или ином регионе. Актуальной темой для России является определение угроз и защита от поражения свекловичных культур фитопаразитами. Поэтому целью данной работы является определение плодовитости нематоды *Heterodera schachtii* в условиях проживания в Московской области. *Heterodera schachtii* – свекловичная цистообразующая нематода семейства Heteroderidae. Была выдвинута гипотеза о благоприятности условий Московской области для её обитания. Для её проверки поставлены задачи рассчитать плодовитость нематоды в условиях обитания в Московской области по отобраным цистам, затем сравнить полученные данные с аналогичными показателями для районов, благоприятных для проживания *Heterodera schachtii*. В данной работе использовался аналитический метод – определение плодовитости по цистам нематоды. Также был определён ареал обитания и плодовитость в его благоприятных районах. Работы данного типа для Московской области не проводились.

Нематода *Heterodera schachtii* является серьёзным врагом свекловичных культур. *Heterodera schachtii* была впервые обнаружена в Калифорнии в 1907 году в округах Лос-Анджелес и Монтерей [1]. Она является очень плодовитой, при высоком уровне численности свекловичной нематоды в почве урожайность корнеплодов сахарной свеклы может снизиться на 65 %, что делает нерентабельным её выращивание [2]. Ареал обитания нематоды – все территории с умеренным климатом, однако наибольшую вредоносность (по Л. А. Гуськовой) она имеет в западных районах нашей страны, в том числе в Московской области. Раз на западе

нашей страны нематода довольно сильно поражает культуры, значит, скорее всего, эти места являются благоприятными для её проживания и размножения, следовательно, плодовитость должна примерно совпадать с нормальной для этого вида нематод. С опорой на эту гипотезу была проведена исследовательская работа по определению плодовитости нематоды с помощью цист, взятых в Раменском районе Московской области в октябре 2024 года из почвы. Этот метод позволяет довольно быстро, легко, а главное достаточно точно определить плодовитость нематоды, в то время как вороночный метод Бермана, использовавшийся в работах прошлых лет (и позволяющий выделить из почвенных образцов подвижных фитопаразитических почвенных нематод, питающихся в прикорневой зоне растений, а также виды из других трофических групп, участвующих в формировании сообщества почвенных нематод) является не столь быстрым и легким [3]. По различным данным в одной цисте может находиться от 80 до 200 яиц. В проведённой работе средний показатель составил 94 яиц. По результатам работы был сделан вывод, что условия Московской области являются благоприятными для обитания *Heterodera schachtii*.

По результатам исследования средняя плодовитость нематоды составила 94 яйца на цисту, что является стандартным для неё показателем в благоприятных условиях.

#### Список источников

1. Caswell E. P. Geographic distribution of *Heterodera schachtii* in the Imperial Valley of California from 1961 to 1983 / Caswell E. P., Thomason I. J. // *Plant Disease*. – 1985. – № 69, – С. 1075-1077.
2. Chitambar J. J. *Plant Parasitic Nematodes in California Agriculture* / J. J. Chitambar, B. B. Westerdahl, S. A. Subbotin // *Plant Parasitic Nematodes in Sustainable Agriculture of North America*. Vol. 1. – Springer, 2018. – 250 с.
3. Scheck H. J. California Pest Rating Proposal for *Heterodera schachtii* A. Schmidt, 1871. – California : CDFA, 2022.
4. Калатур Е. А. Свекловичная цистообразующая нематода на рапсе / Калатур Е. А., Половинчук А. Ю. // *Защита и карантин растений*. – 2013. – №10, – С.14-15.
5. Волкова М. В. Почвенные нематоды плодовых агроценозов Крыма / Волкова М. В., Таболин С. Б., Волков Я. А. // *Бюллетень ГНБС*. – 2023. – Вып. 148, – С. 136-142.

## **Исследование морского мусора в некоторых районах Атлантического океана**

*В данной работе проведён анализ фотоархива, собранного во время 87 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в некоторых районах Атлантического океана. В ходе работы с фотоархивом было обнаружено 53 объекта морского мусора. Весь обнаруженный морской мусор был разбит на категории. Около 90% выявлено морского мусора было из пластика. Большую часть выявленного морского мусора составляли куски пластика различного размера, разного рода упаковка и поплавки/буи для сетей. Проанализирована литература по теме на предмет выявления основных источников поступления мусора в Мировой океан.*

**Ключевые слова:** *морской мусор, загрязнение окружающей среды, морские исследования.*

### **Введение.**

В настоящее время, загрязнение океана морским мусором является серьёзной проблемой. В первую очередь это касается загрязнения пластиком. Ежегодно тонны отходов попадают в Мировой океан, превращая моря в водные полигоны. Массовое производство пластмасс началось в 1950-х гг. и с каждым годом увеличивалось. Так мировое производство пластмасс начиная с 50-х от 1,5 млн т в год достигло 299 млн т к 2013 г., а в 2021 г. составило уже 390,7 млн т в год [1, 2]. Несмотря на то, что пластик составляет около 10% по массе от всех твёрдых отходов, 80% встречающегося мусора в океанах и на побережьях являются пластиком [3]. По некоторым оценкам на поверхности Мирового океана присутствует по меньшей мере 5 трлн пластиковых частиц разного размера общим весом более 268 тыс. т. и по оценкам экспертов эта цифра ежегодно увеличивается [4, 5]. В основном мусор попадет со стоком рек и далее переносится, и рассеивается по водной поверхности под воздействием ветра и течений. Источники морского мусора можно разделить на две большие группы: наземные (80 %) и морские (20 %) [1]. К наземным источникам относятся:

1. полигоны (свалки), расположенные на побережье;
2. сброс неочищенных городских сточных вод, в т.ч. ливневые стоки (и случайные сбросы);
3. промышленные объекты (твёрдые отходы со свалок и неочищенные сточные воды);
4. туризм (отдыхающие на побережье);

К основным морским источникам морского мусора относятся:

1. торговое, пассажирское и иное судоходство;
2. рыболовецкие суда;
3. аквакультурные установки;
4. морские и нефтегазовые платформы;

#### **Актуальность.**

В настоящее время морской мусор, особенно состоящий из пластика, является одной из наиболее актуальных проблем воздействия на морскую среду в глобальном масштабе [6]. Исследования данной проблемы проводятся сравнительно недавно. Любые полученные данные, особенно из труднодоступных районов помогают в накоплении базы данных и понимания данной проблемы. И хотя масштабы негативного воздействия на морские экосистемы и здоровье человека ещё до конца не ясны, основные его последствия заключаются в следующем: запутывание морских обитателей, что приводит к травмам и гибели; проглатывание живыми существами предметов мусора, что также влечёт за собой их гибель, перенос инвазивных видов на значительные расстояния; снижение рекреационной привлекательности пляжей, приводящее к экономическим потерям [7]. Кроме того, при разрушении пластика в окружающую среду могут выделяться токсичные химические вещества [8].

**Цель:** выявить наличие морского мусора в разных районах Атлантического океана

#### **Задачи:**

1. Выявить основные источники поступления мусора в Мировой океан.
2. Провести анализ фотографий на предмет морского мусора.
3. Определить материал, из которого изготовлены объекты.
4. Отнести к разным категориям встреченный мусор.

#### **Методика и материалы исследования.**

Материал для данной работы был получен в ходе работ 87 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Наблюдения за морским мусором проводились специалистами ИПЭЭ РАН и ИО РАН, попутно выполнявшими наблюдения за морскими млекопитающими и птицами по маршруту движения судна. Наблюдения проводились в течение светлого времени суток двумя наблюдателями одновременно с левого и правого бортов судна с пеленгаторной палубы, расположенной на высоте 17 м над уровнем моря. В отдельных случаях, при ухудшении погодных условий, наблюдения проводились из ходовой рубки или с крыльев мостика (14 м над уровнем моря). При ветре более 5 баллов по шкале Бофорта и видимости менее 50 м наблюдения прекращались. Время наблюдений было разбито на четырехчасовые

вахты, соответствующие судовым. На каждой вахте были заняты два наблюдателя (с левого и правого бортов судна), которые просматривали акваторию в секторе 180 градусов по ходу движения судна (90 градусов с каждой стороны); длительность рассветной и закатной вахт зависела от наступления светлого / темного времени суток. Полоса учёта мусора составляла 50 метров от борта судна, но в основном объекты регистрировались на дистанции 5-30 метров от борта судна. Весь встреченный мусор фотографировался на фотоаппарат с длиннофокусным объективом.

В рамках данной работы не было возможности проанализировать весь архив фотографий, собранных за 4 месяца экспедиции по маршруту судна Калининград-Антарктика-Калининград. Поэтому были выборочно проанализированы фотографии, полученные в следующих районах: Северная часть Атлантического океана, Северное море, пролив Ла-Манш, Бискайский залив, район экватора и Южного тропика.

Участникам конкурса были предоставлены архивы с фотографиями, на которых необходимо было идентифицировать морской мусор, определить материал, из которого он сделан, а также разделить на разные категории. Каждый архив просматривался двумя разными наблюдателями для двойного контроля выбранных объектов и повышения качества анализа.

В данной работе под понятием «морской мусор» подразумевается любой объект антропогенного происхождения, оказавшийся в морской акватории.

### **Полученные результаты.**

В результате работы с фотоархивом, было проанализировано 200 фотографий, сделанных наблюдателями во время экспедиции. При анализе изображений, было выявлено 46 фотографий на которых было обнаружено 53 объекта морского мусора (Таблица 1).

Таблица 1 - Материал изготовления встреченного обнаруженного морского мусора

<b>Материал</b>	<b>Количество</b>
Пластик	47
Дерево	3
Неидентифицированный объект (н/о)	3

В основном, мусор встречался единичными объектами, не образуя крупных скоплений. В нескольких случаях отмечался мусор, застрявший в скоплениях саргассовых водорослей. Анализ встреченного мусора показал, что большая часть объектов изготовлена из пластика, так же встречались объекты из дерева и несколько объектов, материал которых не был

идентифицирован (н/о) (рисунок 1). Объекты природного происхождения, деревья, ветки, листья и т.д., как мусор не учитывались.



Рисунок 1 - Соотношение материалов изготовления обнаруженного морского мусора

Весь встреченный мусор был отнесён к нескольким категориям, которые включали куски пластика различного размера, разного рода упаковку, поплавки/буи применяющиеся для обозначения сетей или других объектов на водной поверхности, обработанную древесину, пенопласт, бутылки, верёвки, а также несколько объектов у которых не удалось идентифицировать категорию (таблица 2, рисунок 2).

Таблица 2 - Категории встреченного морского мусора

Категория мусора	Количество
Кусок пластика	23
Упаковка	11
Поплавки/буи	8
Неидентифицированный объект	4
Обработанная древесина	3
Пенопласт	2
Бутылка	1
Верёвка	1



Рисунок 2 - Примеры обнаруженного морского мусора

Наиболее часто встречались куски пластика разного размера (43%), упаковка которая чаще всего была представлена полиэтиленовыми пакетами и плёнкой (21%), а также поплавки/буи которые были сорваны с сетей или других объектов, к которым они были закреплены (15%). Таким образом, на эти три категории приходится 79% всех проанализированных объектов (рисунок 3).



Рисунок 3 - Категории встреченного мусора

В связи с тем, что фотографии из разных районов экспедиции были проанализированы не в полном объёме имеющихся в архиве, в рамках данной работы не проводилось сравнение разных районов Мирового океана на предмет встречаемости плавающего мусора.

#### **Заключение.**

Согласно результатам данной работы, можно сделать следующие выводы:

1. Согласно литературным данным, 80% мусора поступает в Мировой океан из наземных источников.
2. При работе с фотоархивом, было выявлено 53 объекта морского мусора.
3. Около 90% выявленного морского мусора было из пластика.
4. Большую часть выявленного морского мусора составляли куски пластика различного размера, разного рода упаковка и поплавки/буи для сетей.

#### Список источников

1. Li, W. C. Plastic waste in the marine environment : a review of sources, occurrence and effects / W. C. Li, H. F. Tse, L. Fok // *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 566–567. – С. 333–349.
2. Plastics – the Facts 2022 : an analysis of European plastics production, demand, conversion and end-of-life management // *Plastics Europe* : [сайт]. – URL: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>.
3. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments / D. K. A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson [et al] // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2009. - № 364. – С. 1985–1998.
4. Plastic pollution in the World's Oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250 000 tons afloat at Sea / M. Eriksen, L. C. M. Lebreton, H. S. Carson [et al] // *PLOS One*. – 2014. – № 9 (12). – e111913.
5. Plastic waste inputs from land into the ocean / J. Jambeck, R. R. Geyer, C. Wilcox [et al] // *Science*. – 2016. – № 347 (6223). – С. 768–771.
6. Kershaw, Peter J. Marine Plastic Debris and Microplastics Global lessons and research to inspire action and guide policy change / Peter J. Kershaw. – UNEP, 2016.
7. Gregory, M. R. Environmental implications of plastic debris in marine settings entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions / M. R. Gregory // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2009. – № 364 – 2013–2026.
8. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife / E. L. Teuten, J. M. Saquing, D. R. U. Knappe [et al] // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2009. – № 364, С. 2027-2045.

### Воздействие разводов на психическое состояние детей

*Актуальность исследования обусловлена ростом числа разводов и их негативным влиянием на психическое состояние детей, особенно подростков. Развод родителей оставляет глубокий след в психике ребенка, вызывая стресс, тревогу, чувство вины и другие эмоциональные переживания, что может привести к долгосрочным психологическим проблемам. Цель работы — анализ специфики воздействия разводов на психическое состояние детей. В исследовании выдвинуты две гипотезы: родители отмечают негативное влияние развода на детей, включая снижение уровня коммуникации и ухудшение взаимоотношений; дети испытывают стресс и негативные эмоции в связи с разводом родителей. Методология исследования включает авторское анкетирование 55 родителей и 43 подростков, переживших развод. Опросники содержали закрытые и открытые вопросы, направленные на выявление эмоционального состояния детей и их отношения к ситуации развода. Результаты показали, что 63% разводов инициированы женщинами, а дети чаще остаются с матерями. Родители отмечают негативное влияние развода на детей, при этом 40% признают наличие психотравм у детей. Дети, в свою очередь, испытывают тревогу, обиду и негативные эмоции, связанные с разводом, при этом 69% считают, что развод оказал на них негативное влияние. Исследование подтвердило обе гипотезы, выявив значительное негативное влияние развода на психическое состояние детей. Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций для родителей и специалистов по поддержке детей в ситуации развода, а также в планировании дальнейших исследований и создании методических пособий для работы с такими семьями.*

**Ключевые слова:** *психическое состояние детей, детско-родительские отношения, развод, психодиагностика, негативные эмоции, психотравма.*

В современных исследованиях остро стоит вопрос работы с такими семьями, в частности с детьми (работы Г.С. Аbugалиевой, С.Б. Каировой [1], Л.И. Савиновой, Е.В. Кузнецовой [2] и др.). Понимания специфику переживания ситуации развода и отношения детей к семейной ситуации (в частности, в системе детско-родительских отношений) становится важным глубинно исследовать воздействие разводов на психическое состояние детей. Дополнительно важно усилить актуальность выполняемого исследования аргументом в пользу

статистических данных, показывая тем самым остроту складывающейся проблемы разводов. По официальным данным (согласно официальным данным Федеральной службы государственной статистики [3]) - это приблизительно 60%, а в крупных городах 2 брака из 3 распадаются, в результате чего от 300 до 500 тыс. детей остаются с одним из родителей, в основном с мамой. Воспитание ребенка без отца имеют явную специфику и кардинально отличаются от жизни ребенка, проживающего в полной семье.

**Актуальность** работы обусловлена активным ростом количества разводов в последние десятилетия, а соответственно, и числа детей, которые воспитываются в таких семьях. Опираясь на исследования психотравмирующего влияния бракоразводного процесса и распада семьи на ребенка, можно утверждать, что развод родителей оставляет значительный след в психической сфере ребенка и, как следствие, влияет на его дальнейшую жизнь (работы К.А. Белкиной [4], В.В. Лобач, Ю.М. Морозовой, К.А. Гулаковой, П.А. Побокиной [5], Н.В. Головки [6] и др.).

Опираясь на исследования (работы Л.М. Чепелевой, М.В. Верстовой, В.В. Верстова [7], Т.А. Адмакиной [8], Л.С. Паламарчук, А.С. Абдулаевой [9], К.В. Кустриной [10], Г. Фигдор [11] и др.) психотравмирующего влияния бракоразводного процесса и распада семьи на ребенка, можно утверждать, что развод родителей оставляет значительный след в психической сфере ребенка и, как следствие, влияет на его дальнейшую жизнь. Он перестаёт воспринимать родителей как единое целое, и учится разделять взаимоотношения с каждым из родителей. Это может стать серьезным переживанием и впоследствии привести к развитию посттравматического стресса и неразрешённым психологическим проблемам. Период развода и после него сопровождается эмоциональными переживаниями, стрессом, дестабилизацией, нервно-психическим напряжением.

**Цель работы:** анализ специфики воздействия разводов на психическое состояние детей.

**Задачи:** изучить материал по теме психических особенностей подростков переживших развод родителей; провести опрос столкнувшихся с бракоразводным процессом взрослых и подростков.; оценить результаты и сделать выводы.

Так как исследовательский интерес направлен в сторону исследования воздействия развода на психическое состояние детей со стороны как родителей, так и детей (для формулирования деструктивной формирующей функции развода для семьи), было выдвинуто две рабочие гипотезы:

1. Отмечается негативное влияние развода на детей в результате анкетирования родителей. Родители отмечают снижение уровня коммуникации с детьми, снижается уровень позитивных взаимоотношений, подчеркиваются негативные проявления в общении с детьми.

2. Отмечается негативное влияние развода на детей в результате анкетирования детей. Дети испытывают стресс, переживают в процессе коммуникации с родителями. Эмоциональный фон и восприятие развода негативное.

**Объект:** психическое состояние детей.

**Предмет:** специфика психического состояния детей в ситуации развода родителей (глазами детей; глазами родителей).

**Методика:** авторская методика – анкетирование с закрытыми и открытыми вопросами для родителей / для детей (составлена на основе методик: Методика диагностики родительского отношения (ОРО) А.Я. Варга, В.В. Столин; –клинический опросник для выявления и оценки невротических состояний (Д. М. Менделевич); шкала нервно-психического напряжения НПН (Т. А. Немчин). Цель методики: выявление отношения к разводу со стороны родителей и детей. Составлено 2 авторских опросника (с закрытыми и открытыми вопросами).

**Методы:** статистические методы обработки численной и словесной информации (расчет средних показателей; кодирование словесной информации; расчет рангов, медианы, моды); теоретические методы (контент анализ, логические методы обработки информации, аналитико-синтетические методы); ассоциативный эксперимент (выполнение расчетов по составлению ядерной структуры социальных представлений о разводе со стороны детей по методике Вержеса); использование пакета программ: Excel; Word; PowerPoint, GoogleForm.

Ссылка на опросник в приложении 1.

Мы провели авторский опрос, среди 55 родителей от 30 до 42 лет, и 43 подростков в возрасте от 14 до 18 лет. Респонденты были взяты из нашего круга общения, родственников и интернета. Опрос для родителей содержал 26 вопросов, с кратким или развернутым ответом, а также с выбором ответа. Опрос для детей содержал 21 вопрос, с кратким или развернутым ответом, а также с выбором ответа.

### **Полученные результаты.**

#### *Теоретическое исследование психических особенностей подростков переживших развод родителей.*

Данный раздел основной части выстроен на основе анализа следующих источников: работы, направленные на исследование специфики развода (работы следующих авторов: К.А. Белкина [4], Н.В. Головки [6] и др.); работы, направленные на исследование специфики детско-родительских отношений / воздействие разводов на детей (работы следующих авторов: К.А. Гулакова, В.В. Лобач, Ю.М. Морозова, П.А. Побокин [5], С.С. Мацкевич, Г.А.

Епанчинцева [12], К.Ю. Бутримова [13], Р.Р. Хуснутдинова [14], А.Ф. Фаррахова, Р.А. Ахметшина [15], Е.Ю. Елисеева [16], К.В. Кустрина [10], Г. Фигдор [11], А.С. Абдуллаева, Л.С. Паламарчук [9], А.А. Унарова [17] и др.); работы, направленные на исследование психических особенностей подростков, оказавшихся в ситуации развода родителей (работы следующих авторов: О.В. Коваленко [18], Д.А. Моисеев [19] и др.); работы, направленные на применение практических инструментов при диагностике / психолого-коррекционной работе с родителями и детьми (работы следующих авторов: Л.И. Савинов, Е.В. Кузнецова [2], С.Б. Каирова, Г.С. Аbugалиева [1], К.А. Воробьева [20] и др.).

Подростковый возраст — стадия онтогенетического развития между детством и взрослостью, которая характеризуется качественными изменениями, связанными с половым созреванием и вхождением во взрослую жизнь.

В этот период индивид имеет повышенную возбудимость, импульсивность, на которые накладывается, часто неосознанное, половое влечение. Подросток начинает оценивать более критично слова и поступки взрослого, у него неизмеримо возрастают требования к поведению и отношению взрослого, к его социальной позиции и гражданскому облику. И наряду с этим должна неизмеримо возрастать ответственность взрослого за свое собственное поведение, за свои нравственные качества и отношения. Не менее важно и другое - знать своего ребенка. Знать его жизнь, интересы, друзей, характер их взаимоотношений, его радости и обиды, тревоги и заботы. Только зная все это, можно своевременно прийти ему на помощь, когда она понадобится. Знание своего ребенка поможет вам занять правильную позицию во взаимоотношениях с ним.

Ситуация развода родителей невольно заставляет ребёнка-подростка совсем иначе взглянуть на самого себя и на своих родителей, теперь уже живущих порознь. Собственное «Я» подростка очень сильно страдает в ситуации развода родителей. Он начинает винить себя за распад семьи. Начинает критиковать себя. Именно из-за него, по его мнению, это случилось. Причем, чем младше возраст, тем сильнее тенденция к самообвинению. И это не случайно. Ребенок по природе своей эгоцентричен.

Он чувствует себя центром Вселенной и просто не может себе представить, что что-либо в этом мире происходит без его участия. Одна из реакций, связанная с разводом у подростка - шок и отказ верить в случившееся. Она возникает тогда, когда ребенок не осознает всей глубины проблемы и не верит в то, что произошло. Дети обычно так реагируют из-за того, что не видели, как их родители ссорятся, не знали о проблемах и конфликтах. Для детей — это крушение картины мира, потеря безопасности и любви. Другая реакция - страх, тревога и неуверенность в будущем. Так же подростки могут испытывать гнев и враждебность по отношению к тому из родителей, на которого возлагается вина за развод, или по отношению к

обоим. Подросток может обвинять отца или мать в том, что они бросили семью, заявлять, что он их ненавидит, никогда не простит и т.п. В работах отмечается важность исследования именно взгляда подростка на ситуации развода, чтобы более глубоко диагностировать психических особенности и восприятие состояния развода со стороны самого ребенка (для выстраивания траектории психологической работы с ним).

Еще сложнее подростку привыкать к отсутствию одного из родителей в родном доме, в обыденной жизни и т.д. Если разведенный родитель вступает в новый брак, что обычно и происходит, то подросток сталкивается с необходимостью приспособливаться к мачехе или отчиму. Чтобы облегчить подростку переживание распада семьи, нужно открыто говорить с ним об этом, помня, что подросток позиционирует себя, как взрослый, и хочет к себе должного отношения.

Расставание подростка с одним из родителей увеличивает вероятность возникновения у ребенка психических и личностных проблем, также может вырабатываться негативное отношение к родителям и необходимость в консультации психолога или психиатра. Существует взаимосвязь между конфликтами в семье и склонностью подростков к совершению правонарушений, снижением мотивации к учебе, низким уровнем профессиональных устремлений. В семейных конфликтах дети часто выступают в роли посредников, пытаясь примирить родителей, также беря ответственность за их ссоры на себя.

Также, формальные поводы родительских конфликтов нередко связаны именно с вопросами воспитания ребенка – именно в этой точке легализуются взаимные претензии друг к другу. И когда ребенок видит, что родители ссорятся из-за него, конечно же он уверен, что именно он является основной причиной их ссор. Поэтому, можно говорить, что агрессия ребенка проистекает не только из разочарования, ярости или детских страхов, а в большой степени она порождается чувством вины.

Существуют факторы, от которых зависит, насколько сильно развод родителей повлияет на личность подростка - поведение родителей, климат в семье, переживания родителей, наличие или отсутствие заботы по отношению к ребенку до и после распада семьи, обстоятельства и причины развода, степень вовлеченности ребенка в конфликт между родителями, вопрос об опеке. Подростки, пережившие развод родителей подвержены большему риску столкнуться с психологическими проблемами, чем подростки, растущие в крепких семьях. Теплота отношений, стиль родительской опеки, климат в семье оцениваются более позитивно подростками, которые не сталкивались с разводом родителей.

Ситуация, когда родители пытаются вовлечь ребенка в конфликт и принять чью-либо сторону, является наиболее травмирующей. Когда подросток попеременно живет то с матерью, то с отцом, между которыми отсутствует взаимопонимание, часто по этой причине

у него возникает чувство вовлеченности в их конфликт. Но если родители действуют согласованно, вероятность вовлеченности детей в их конфликт невелика, даже если подросток находится в близких отношениях с обоими родителями. Если процесс развода проходит мирно, то он может оказать положительное воздействие и на родителей, и на детей, снижая уровень конфликтности в семье. Было проведено множество исследований, где сравнивали детей из разведенных семей и детей из полных семей (см. выше список авторов). Так, например, среди 18–22-летних молодых людей, переживших развод родителей, 40% обращались за помощью к психологу, 25% бросили школу в старших классах, 65% имели плохие отношения с отцами, а 30% — с матерью.

По данным И.С. Кона, дети, выросшие без отца, часто имеют пониженный уровень притязаний, у них выше уровень тревожности, чаще встречаются невротические симптомы, мальчики с трудом общаются со сверстниками, хуже усваивают истинно мужские роли, но гипертрофируют некоторые мужские черты: грубость, драчливость. Часто ребенок начинает бунтовать против крайней зависимости от матери, либо вырастает пассивным, вялым, физически слабым.

Юноши-подростки в семьях, из которых ушел отец, чаще всего активно принимают на себя роль главы семьи, в таких семьях реже происходят конфликты, чем в тех, где семья осталась без матери. А девочки, оказавшиеся в подобной ситуации, начинают чаще ссориться с матерями, их самооценка заметно понижается. Есть так же данные касательно влияния развода в период становления и взросления детей.

После учета всех демографических, психологических и экономических особенностей было выяснено, что дети разведенных родителей в два раза чаще сталкиваются с проблемами в собственном браке, чем дети неразведенных. Одной из причин данных проблем является разрушение идеала любовных отношений на примере родителей. Особенно большое влияние этот идеал имеет в подростковом возрасте, когда дети находятся на пике эмоционального состояния. Такие данные, по результатам анализа более 25 источников литературы, указывают на важность исследования специфики воздействия разводов на психическое состояние детей с целью описания особенностей и дальнейшей разработки практических рекомендаций для работы.

#### *Результаты практического исследования воздействия разводов на психическое состояние детей.*

По результатам выполнения теоретического исследования психических особенностей подростков переживших развод родителей сделан вывод, что развод родителей оставляет значительный след в психической сфере ребенка и вследствие влияет на его дальнейшую жизнь. Рассмотрев различные методики опроса разных авторов детей и родителей после

бракоразводного процесса, были выявлены особенности данных опросов (методические особенности проведения, правила составления закрытых/открытых вопросов и т.д.). Далее, был разработан опросник для родителей и детей для выполнения поставленной цели и проверки гипотез.

### **Результаты опроса родителей.**

63% случаях инициатором развода были женщины. Респонденты называли следующие причины: абьюз, агрессия, испортились отношения, работа, измена и т.д. Анализируя срок брака, были получены разные результаты.

В большей степени, срок брака составлял до 15 лет, когда было принято решение развестись; реже всего разводились люди со сроком брака от 15 лет и выше. Рассматривая ответы на вопросы касаясь отношений с ребенком, в целом, наблюдалась позитивная тенденция. Важно также отметить, что есть определенный элемент проекции собственных ожиданий родителей в сторону ребенка. Родители отметили, что развод негативно повлиял на ребенка.

По ответам родителей мы видим, что большая часть осознаёт, что втягивали ребенка в свой конфликт, это указывает на то, что в почти половине опрошенных семей дети стали участниками активного процесса развода родителей. При этом, 60% родителей ответили, что у ребенка не осталось психотравм после развода, стоит взять во внимание, что 40% ответили иначе. Так же отмечается, что родители оказывали поддержку детям в процессе развода.

По результатам исследования, можно сделать вывод, что родители в целом показывают близость со своими детьми. С одновременным наличием требований, оказывается их поддержка, что возможно может быть формированием позитивного фона. При этом, отмечается высокий уровень рефлексии у родителей по вопросам влияния негативного развода на детей.

### **Результаты опроса детей.**

В анкетировании детей мы выявили, что большая часть после развода остаются жить с мамой и проводят с ней больше времени, чем с отцом. При диагностике отношений с мамой и папой, 49% ответили, что отношения с отцом плохие. В большей степени, положительное отношение наблюдается (в сравнении) по отношению к матери. При этом, 35% ответили, что не относятся к родителям с уважением. При этом, в ответе на вопрос «самое главное, чтобы родители были счастливы, даже если они будут не вместе», 75% выразили согласие.

В блоке вопросов на диагностику отношения к разводу со стороны детей отмечаются негативные проявления. 69% детей ответили утвердительно на вопрос «считаешь ли ты, что развод оказал на тебя негативное влияние?»; 74% ответили утвердительно на вопрос

осуждения родителей за их решение развестись; у 65% респондентов есть обида на родителей после развода; 35% детей втягивали в процесс развода родители. Большая часть детей чувствуют себя тревожными после распада семьи. Одновременно с этим, дети не винят себя за развод.

Так же, важно отметить, что дети чувствовали поддержку от родителей во время развода, при этом, 56% ответили, что взаимоотношения с родителями до развода были плохие. Вероятно, это связано с ограничениями действий детей, 53% ответили утвердительно на вопрос «родители не особо ограничивают меня в моих действиях. На открытый вопрос «Здесь ты можешь написать любые комментарии касаясь развода родителей» было получено много обратной связи. Мы распределили ее по трем группам. Можно отметить, что преимущественно комментарии несли негативный окрас (48%) и нейтральный окрас (35%). 17% высказались с позитивным впечатлением касаясь развода родителей.

В результате математической обработки была представлена структура социальных представлений восприятия развода глазами детей ответов на вопрос ««Что ты почувствовал, когда узнал о разводе родителей». В результате можно сформировать общее заключение касаясь психического состояния детей. В ядро попали такие ассоциации, как: шок, агрессия, удивление, обида, трудности, жалость, страх, горечь, принятие, отрицание и т.д. (Приложение 3). По результатам исследования, можно сделать вывод, что дети находятся или находились в негативном, тревожном состоянии в процессе развода родителей.

В процессе проекта нами были поставлены задачи, которые мы раскрывали и решали. Поэтому мы изучили значение развода, его причины и последствия. Особое внимание мы уделили подросткам, пережившим развод родителей и их психическим особенностям, и травмам.

Мы изучили различные методики опроса, и создали свою авторскую методику опроса детей и родителей после бракоразводного процесса, на выявление посттравматического состояния. Опрос был проведен среди 55 детей и 43 родителей. Полученные результаты были обработаны (математическая обработка, построение диаграмм, проведение ассоциативного эксперимента, проведение частотного анализа и др.)

В результате проведенного исследования специфики воздействия разводов на психическое состояние детей, подтверждены выдвинутые гипотезы: отмечается негативное влияние развода на детей в результате анкетирования родителей и детей. Так же можно сделать вывод, что дети находятся или находились в негативном, тревожном состоянии в процессе развода родителей.

Практическая работа подтвердила наши предположения о том, что развод родителей в семье с ребенком подросткового возраста очень опасен для становления личности ребенка. Родителям необходимо поддерживать детей при разводе, точно также необходимо развитие

отношений, направленных на сотрудничество в после разводном периоде между родителями и их детьми. любая деформация родительской семьи приводит к отрицательным последствиям в развитии личности ребенка.

**Практическая значимость и перспектива исследования:** планируется проведение анкетирования с увеличением, планируется разработка практического инструмента работы с детьми, оказавшихся в ситуации развода родителей (разработка пособия).

Цели и задачи работы выполнены. Гипотезы подтверждены.

#### Список источников

1. Каирова, С. Б. Психологическая работа с детьми, пережившими развод родителей / С. Б. Каирова, Г. С. Аbugалиева // Концепт. - 2016. - Т. 50. - С. 90-97.
2. Савинов, Л. И., Социальная работа с детьми в семьях разведенных родителей : учеб. пособие / ред. проф. Л. И. Савинов, Е. В. Кузнецова. – Москва : Дашков и К, 2004. - 216 с.
3. Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. – Москва. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 12.11.2024).
4. Белкина, К. А. История понятия развода и прекращения брака в России / К. А. Белкина // Синергия наук. – 2019. - № 41. – С. 409-413. – URL: <http://synergyjournal.ru/archive/article4792?ysclid=mbemxncgf5103362006> (дата обращения: 12.11.2024).
5. Воздействия разводов родителей на психическое состояние детей / К. А. Гулакова, В. В. Лобач, Ю. М. Морозова // Смоленский медицинский альманах. – 2021. – № 4. – С. 167-169. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-razvodov-roditeley-na-psihicheskoe-sostoyanie-detey/viewer> (дата обращения: 12.11.2024).
6. Головкин, Н. В. Психологические аспекты развода в семье: Причины и последствия / Н. В. Головкин // Universum: психология и образование. – 2023. – № 12 (114). – С. 23-25. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/psihologicheskie-aspekty-razvoda-v-semie-prichiny-i-posledstviya/viewer> (дата обращения: 12.11.2024).
7. Чепелева, Л.М. Особенности отношений с родителями детей в ситуации открытого родительского конфликта по материалам судебно-психологических экспертиз / Л. М. Чепелева, М. В. Верстова, В. В. Верстов // Гуманитарные науки. - 2022. – № 3 (59). – С. 121-128.
8. Адмакина, Т.А. Проективные показатели эмоциональной дестабилизации у детей в практике психолого-педагогической экспертизы / Т. А. Адмакина // Вестник КемГУ. – 2021. – № 1 (85). – С. 105-112.

9. Абдуллаева, А. С. Особенности конфликтов между родителями в ситуации определения проживания детей при проведении судебной экспертизы / А. С. Абдуллаева, Л. С. Паламарчук // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. – 2023. – Т. 12, – № 11-1. – С. 216-221. – DOI 10.34670/AR.2023.20.85.029.

10. Кустрина, К. В. Развод родителей как один из факторов неблагоприятного влияния на психологическое здоровье детей / К. В. Кустрина // Психологическое здоровье: ожидания и ресурсы : сборник материалов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Армавир, 10 октября 2024 года. – Киров : Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2024. – С. 112-114.

11. Фигдор, Г. Дети разведенных родителей: между травмой и надеждой / Г. Фигдор. – Москва : Наука, 1995. - 375, [1] с. - ISBN 5-02-012260-2.

12. Мацкевич, С. С. Влияние развода родителей на психологическое состояние детей / С. С. Мацкевич, Г. А. Епанчинцева // Цивилизационные изменения современного мира, образования и человека : сборник материалов Международной научно-практической конференции, Оренбург, 18–19 апреля 2024 года. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2024. – С. 402-405.

13. Бутримова, К. Ю. Влияние развода на взаимоотношения между ребенком и родителями / К. Ю. Бутримова, Е. А. Федурин // Смальта. - 2017. - № 3. - С. 68- 70.

14. Хуснутдинова, Р. Р. Проблема влияния ситуации развода на психологическое состояние детей / Р. Р. Хуснутдинова // Фундаментальные и прикладные проблемы начального общего образования : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Елец, 24–25 октября 2019 года. – Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2019. – С. 77-80.

15. Ахметшина, Р. А. Проблема влияния ситуации развода на психологическое состояние детей/ Р. А. Ахметшина, А. Ф. Фаррахова // Образование и культура : сборник материалов Международной научно-практической конференции, Набережные Челны, 10 марта 2020 года / отв. ред. А. Г. Мухаметшин, Н. М. Асратян, Э. Р. Ганиев. – Набережные Челны : Набережночелнинский государственный педагогический университет, 2020. – С. 34-36.

16. Елисеева, Е. Ю. Исследования проблемы насилия и жестокого обращения с детьми в зарубежной психологии / Е. Ю. Елисеева // Здоровье нации - залог государственной безопасности : труды Международной научно-практической конференции. – Москва : ИИУ МГОУ, 2015. – С. 67-69.

17. Унарова, А. А. Влияние развода родителей на психологическое состояние / А. А. Унарова, З. Н. Платонова // Актуальные вопросы современной науки : сборник статей по

материалам XII Международной научно-практической конференции, Томск, 23 мая 2018 года : в 3 ч. Ч. 3. – Томск : Дендра, 2018. – С. 158-162.

18. Коваленко, О. В. Психические состояния подростков, переживших развод родителей / О. В. Коваленко // Молодой ученый. - 2021. - № 7 (349). - С. 191-193

19. Моисеев, Д. А. Особенности психического состояния подростков с родителями в разводе / Д. А. Моисеев // Человек в условиях социальных изменений : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 18 апреля 2024 года. – Уфа : Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, 2024. – С. 679-689.

20. Воробьева, К. А. Влияние развода родителей на психологическое здоровье подростков / К. А. Воробьева // Воспитание школьников. – 2016. - № 7. – С. 55-60.

## Список участников конкурса

1. Александров Максим Дмитриевич, ученик 10 «Х» класса ГБОУ Школа имени Маршала В.И. Чуйкова
2. Андреева Юлианна Андреевна, ученица 10 «Х» класса ГБОУ Школа имени Маршала В.И. Чуйкова
3. Аршавский Никита Романович, ученик 10 «Ч» класса ГАОУ Школа № 548
4. Астафьева Диана Артемовна, ученица 9 «Д» класса ГБОУ Школа № 1158
5. Ашрапов Данияр Далерович, ученик 10 «Б» класса ГБОУ Школа №1900
6. Буров-Стаськов Игнат Алексеевич, ученик «10» класса МУДО ЦДО «МАН Импульс»
7. Бутримайте Александра Андрюсовна, ученица 8 «Б» класса ГБОУ Школа № 67
8. Вавулин Владимир Леонидович, ученик 8 «Г» класса ГБОУ «Курчатовская школа»
9. Выборнова Милослава Игоревна, ученица 7 «И» класса ГБОУ школа № 1158
10. Зарубин Фёдор Дмитриевич, ученик 10 «Б» класса ГБОУ Школа №1900
11. "Зиброва Марья Юрьевна, ученица 7 «Е» класса ГБОУ Школа № 2089
12. Иванов Максим Алексеевич, ученик 10 «Г» класса ГБОУ Школа № 67
13. Иванова Анастасия Кирилловна, ученица 10 «Х» класса ГБОУ Школа имени Маршала В.И. Чуйкова
14. Каппушева Асият Ахматовна, ученица 10 «Г» класса ГБОУ Школа № 67
15. Качанов Денис Юрьевич, ученик 9 «Д» класса ГБОУ школа №1158
16. Колбасова Мария Дмитриевна, ученица 10 «Х» класса ГБОУ Школа имени Маршала В.И. Чуйкова
17. Комкова Вероника Антоновна, ученица 9 «Д» класса ГБОУ Школа № 1158
18. Кузнецова Елизавета Витальевна, ученица 9 «П» класса ГБОУ Школа № 1158
19. Кузякина Ксения Андреевна, ученица 8 «И» класса ГБОУ Школа № 1158
20. Курбонов Азиз Илхомджонович, ученик 10 «Н» ГБОУ Школа № 1158
21. Майданова Варвара Алексеевна, ученица 10 «Э» класса ГАОУ Школа № 548
22. Мельников Юрий Сергеевич, ученик 10 «Г» класса ГБОУ Школа № 67
23. Мельниченко Дмитрий Андреевич, ученик 7 «В» ГБОУ Школа № 1158
24. Мякутина Юлия Андреевна, ученица 10 «Х» класса ГБОУ Школа имени Маршала В.И. Чуйкова
25. Никитин Макар Александрович, ученик 8 «Е» класса ГБОУ Школа № 2089
26. Овадовский Дмитрий Александрович, ученик 8 «Г» класса ГБОУ «Курчатовская школа»
27. Ожерельева Александра Андреевна, ученица 8 «Е» класса ГБОУ Школа № 2089
28. Павлюк Илья Олегович, ученик 9 «Д» класса ГБОУ школа №1158

29. Полковская Авиталь Алексеевна, ученица 10 «Х» класса ГБОУ Школа имени Маршала В.И. Чуйкова
30. Попель Дмитрий Александрович, ученик 10 «Ч» класса ГАОУ Школа № 548
31. Рыбалова Мария Леонидовна, ученица 11 «Д» класса ГБОУ Школа № 171
32. Сараев Артём Олегович, ученик 11 «Х» класса, ГБОУ Школа на Юго-Востоке имени Маршала В.И. Чуйкова»
33. Сиднев Иван Иванович, ученик 8 класса ГБОУ Школа № 2007 ФМШ
34. Скрябина Варвара Сергеевна, ученица 8 «Е» класса, ГБОУ Школа №2089
35. Фёдорова Дарья Сергеевна, ученица 9 «Д» класса ГБОУ Школа № 1158
36. Федченко Валерия Павловна, ученица 8 класса МБОУ СОШ №8 г.о. Жуковский
37. Фросина Дарья Сергеевна, ученица 11 «А» класса ГБОУ Школа № 1287
38. Черных Артём Александрович, ученик 10 «Г» класса ГБОУ Школа № 67
39. Шашура Валентин Максимович, ученик 10 «Г» класса ГБОУ Школа № 67
40. Шрамова Надежда Павловна, ученица 10 «Г» класса ГБОУ Школа № 67
41. Юцикова Мария Александровна, ученица 9 «Ч» класса ГАОУ Школа № 548

## Список научных кураторов

1. Бессонова Татьяна Александровна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник учебно-научного центра «Биоинформатика» Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук, научный сотрудник лаборатории функциональной геномики прокариот Института биофизики клетки Российской академии наук, научный сотрудник лаборатории сравнительной и функциональной геномики регуляторных систем Института общей генетики им. Н. И. Вавилова Российской академии наук
2. Докучаев Александр Яковлевич, ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий Рудно-петрографическим сектором-музеем Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук.
3. Глазов Дмитрий Михайлович, ведущий инженер, заместитель руководителя программы «Белуха – белый кит» Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук, постоянно действующей экспедиции Российской академии наук, член правления Совета по морским млекопитающим.
4. Горбан Алёна Сергеевна, магистр физико - математических наук, инженер отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований Российской академии наук.
5. Егоров Александр Анатольевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории лесного болотоведения Института лесоведения Российской академии наук.
6. Зайцев Максим Андреевич, младший научный сотрудник отдела физики планет и малых тел солнечной системы Института космических исследований Российской академии наук.
7. Захаров Евгений Игоревич, инженер отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований Российской академии наук.
8. Золотарёв Роман Викторович, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Института астрономии Российской академии наук.
9. Иванова Анастасия Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник отдела физики планет и малых тел солнечной системы Института космических исследований Российской академии наук.
10. Казнадзей Анна Денисовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук.
11. Котов Михаил Алтаевич, кандидат физико-математических наук, ученый секретарь Института проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.

12. Кузовчикова Анна Сергеевна, инженер отдела физики планет и малых тел солнечной системы Института космических исследований Российской академии наук.
13. Кучуков Артур Вадимович, конструктор отдела физики планет и малых тел солнечной системы Института космических исследований Российской академии наук.
14. Лаврова Анна Николаевна, кандидат филологических наук, старший специалист по связям с общественностью Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
15. Лысиков Андрей Борисович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории лесной геоботаники и лесного почвоведения Института лесоведения Российской академии наук.
16. Лиманцева Людмила Алексеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Лаборатории фитопаразитологии Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
17. Малков Олег Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий Отделом физики звездных систем Института астрономии Российской академии наук.
18. Маслов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории лесной геоботаники и лесного почвоведения Института лесоведения Российской академии наук.
19. Матюхин Андрей Андреевич, инженер отдела проектирования и экспериментальной отработки бортовой и специализированной аппаратуры и комплексов Института космических исследований Российской академии наук.
20. Машонкина Людмила Ивановна, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий Отделом нестационарных звезд и звездной спектроскопии Института астрономии Российской академии наук.
21. Медведева Мария Андреевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории лесного болотоведения Института лесоведения Российской академии наук.
22. Мучник Евгения Эдуардовна, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории экологии широколиственных лесов Института лесоведения Российской академии наук.
23. Неретина Анна Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Лаборатории экологии водных сообществ и инвазий Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
24. Петров Александр Валентинович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории лесной зоологии Института лесоведения Российской академии наук.

25. Розенфельд Софья Борисовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
26. Самсонова Анастасия Станиславовна, младший научный сотрудник отдела анализа научно-исследовательских и научно информационных работ, Председатель совета молодых ученых Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук.
27. Сапунова Ольга Владимировна, младший научный сотрудник отдела физики плазмы Института космических исследований Российской академии наук.
28. Соктин Андрей Александрович, сотрудник Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук, педагог дополнительного образования МУДО ЦДО «МАН Импульс».
29. Спиридонов Сергей Эдуардович, доктор биологических наук, заведующий Лабораторией систематики и эволюции паразитов Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
30. Сухов Артем Дмитриевич, студент Московского физико-технический института по специальности Компьютерная безопасность, старший лаборант Института проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.
31. Тутукина Мария Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Сколковского института науки и технологий, ведущий научный сотрудник Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук.
32. Чукмасов Павел Викторович, младший научный сотрудник Лаборатории поведения и поведенческой экологии млекопитающих Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
33. Яцук Александра Алексеевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Лаборатории почвенной зоологии и общей энтомологии Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.

## Список экспертов конкурса

1. Бессонова Татьяна Александровна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник учебно-научного центра «Биоинформатика» Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук, научный сотрудник лаборатории функциональной геномики прокариот Института биофизики клетки Российской академии наук, научный сотрудник лаборатории сравнительной и функциональной геномики регуляторных систем Института общей генетики им. Н. И. Вавилова Российской академии наук.
2. Вибе Дмитрий Зигфридович, Профессор Российской академии наук, доктор физико-математических наук, заведующий Отделом физики и эволюции звёзд Института астрономии Российской академии наук.
3. Гарибян Петр Григорьевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник Лаборатории экологии водных сообществ и инвазий Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
4. Гонгальский Константин Брониславович, Профессор Российской академии наук, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук.
5. Зелёный Лев Матвеевич, академик Российской академии наук, научный руководитель Института космических исследований Российской академии наук
6. Ковалева Дана Александровна, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе Института астрономии Российской академии наук.
7. Макарова Юлия Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент факультета биологии и биотехнологии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», председатель методической комиссии Всероссийской олимпиады «Высшая проба» по биологии, куратор Всероссийского конкурса исследовательских и проектных работ школьников «Высший пилотаж» по направлению «Биология».
8. Марченко Александра Александровна, ведущий инженер кафедры зоологии позвоночных биологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.
9. Мучник Евгения Эдуардовна, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории экологии широколиственных лесов Института лесоведения Российской академии наук.
10. Поняев Сергей Александрович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией физической газодинамики Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

11. Птичников Андрей Владимирович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Отдела физической географии и проблем природопользования Института географии Российской академии наук.
12. Савчук Артём Маркович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры фундаментальной и прикладной математики, заместитель декана по учебной работе факультета космических исследований Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.
13. Садовский Андрей Михайлович, учёный секретарь Института космических исследований Российской академии наук.
14. Суворова Ирина Юрьевна, кандидат психологических наук, доцент кафедры социальной психологии Московского психолого-социального университета.
15. Шустов Борис Михайлович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, научный руководитель Института астрономии Российской академии наук.
16. Якуш Сергей Евгеньевич, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.

## Рецензия на сборник научных работ ученого секретаря Библиотеки по естественным наукам РАН, кандидата технических наук Е.В. Шалыгиной

В 2024 г. Библиотека по естественным наукам РАН (БЕН РАН) выступила с инициативой подготовить и реализовать инновационный для библиотеки пилотный проект по популяризации научных знаний среди учащихся школ Москвы и Московской области на базе НИУ Российской академии наук. Пилотный проект входил в Программу мероприятий БЕН РАН по празднованию 300-летия Российской академии наук и был реализован в формате конкурса исследовательских проектов по естественным наукам «Наука и исследования: открытия каждый день». Конкурс был приурочен к Десятилетию науки и технологий в рамках инициативы «Школьники в научно-технической среде».

Организаторами конкурса выступили 9 учреждений: БЕН РАН (как основной организатор), Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Институт лесоведения РАН, Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институт космических исследований РАН, Институт астрономии РАН, Институт проблем передачи им. А.А. Харкевича РАН.

Перед организаторами конкурса стояли непростые задачи, как повышение интереса школьников к научным знаниям и исследованиям, развитие научного творческого потенциала, инициативности и самореализации, сохранении преемственности научного знания, поддержание и развитие культурных и научных ценностей, патриотического воспитания и повышение интеллектуального и культурного развития молодежи.

В проекте приняли участие 109 учащихся из 10 школ Москвы и Московской области. В основном, это учащиеся 7-11 классов. Конкурс проводился с сентября 2024 г. по апрель 2025 г. Не все учащиеся, подавшие заявку на участие в конкурсе, дошли до его финала. Однако, результаты для пилотного проекта, проводившегося впервые за всю историю БЕН РАН, впечатляющие: из 109 заявок 41 конкурсант из 9 школ успешно подготовили и защитили 34 научных проекта.

Уникальность конкурса заключается в том, что школьникам была предоставлена возможность проводить свои исследования на площадках и в настоящих лабораториях научно-исследовательских учреждений Российской академии наук под руководством ведущих ученых. Под их непосредственным кураторством конкурсантами были выбраны актуальные направления исследований в области экологии, биотехнологии и медицины, психологии, космических технологий и астрономии, газо- и аэродинамике, ботаники, биологической океанографии, зоологии, растениеводства и сельского хозяйства.

Были затронуты такие проблемы, как исследование последствий COVID-19 на здоровье человека и провоцирование таких заболеваний как болезни Альцгеймера и Паркинсона, рассмотрены вопросы совершенствования процессов добычи нефти и мониторинга нефтяных месторождений, экологии и защиты окружающей среды, космологических исследований, подняты актуальные проблемы по изучению Марса, Венеры и других космических объектов, проведены исследования кумулятивной струи и подъемной силы крыла, а также проведены исследования в области социальной психологии по сохранению полноценной семьи, как ячейки общества.

Все научные проекты после получения положительного экспертного заключения от ученых из ведущих научных и образовательных учреждений прошли официальную защиту.

Примечательно, что после завершения конкурса ребята продолжили дальнейшие исследования и уже с новыми полученными результатами приняли участие в научных конференциях среди школьников, а также решили связать свою дальнейшую жизнь с наукой. Это подтверждает факт реализации основной цели конкурса – повышение заинтересованности молодежи в получении новых научных знаний, ее вовлечение в процесс научных исследований и повышение интеллектуального уровня молодого поколения.

**Рецензия на сборник научных работ младшего научного сотрудника Отдела анализа научно-исследовательских и научно-информационных работ, председателя Совета молодых ученых Всероссийского института научной и технической информации РАН  
А.С. Самсоновой**

Сборник представляет собой публикацию работ школьников 7–11 классов, участвовавших в конкурсе научно-исследовательских проектов по естественным наукам «Наука и исследования: открытия каждый день», организованном Библиотекой по естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН) при поддержке ведущих научных институтов РАН. Конкурс приурочен к 300-летию РАН и Десятилетию науки и технологий, что подчеркивает его значимость в популяризации науки среди молодежи.

Проект выполняет важную миссию: популяризирует науку среди молодежи, показывая, что исследования могут быть увлекательными и доступными; развивает навыки научного мышления (от постановки гипотез до анализа результатов и внедрения их в практику); поддерживает инициативу «Школьники в научно-технической среде», формируя новое поколение исследователей.

Представлены работы по широкому спектру естественнонаучных направлений: математико-статистическая обработка информации (ВИНИТИ РАН); космические исследования (ИКИ РАН и ИНАСАН); экология и биология (ИПЭЭ РАН); генетика и биоинформатика (ИППИ РАН); механика и физика (ИПМех РАН); лесное хозяйство и почвоведение (ИЛАН РАН).

Каждая работа свидетельствует о серьезной подготовке участников, их умении работать с научными методами и анализировать данные. Особенно ценно, что школьники получили возможность взаимодействовать с ведущими научными институтами и выполнять проекты, взаимодействуя напрямую с учёными.

Этот проект подтверждает, что наука начинается не в вузе, а гораздо раньше – с детского интереса к миру и стремления его изучать. Важно, что конкурс демонстрирует, как современные научные учреждения могут эффективно работать с образовательными учреждениями, создавая мостик между школой и академической наукой.

Сборник «Наука и исследования: открытия каждый день» – важный шаг в поддержке молодых исследователей. Он не только фиксирует достижения школьников, но и вдохновляет новых участников на научные открытия.

Издание будет полезно учащимся и педагогам (как пример успешных исследовательских проектов), организаторам научных конкурсов (для анализа эффективных форматов вовлечения молодежи в науку), библиотекам и научным центрам (как методический материал для работы со школьниками).