

Краснодарский край, г. Сочи

МБУ ДО "Эколого-биологический центр имени С.Ю. Соколова"

Адрес: 354000, Краснодарский край, город Сочи, ул. Альпийская, дом 5

Телефон/факс: 8 (862) 262-22-17

Всероссийский конкурс юные исследователи окружающей среды  
«Открытия 2030»

Тема работы:

Изучение возможности использования смывов листьев древесных растений как индикатора влияния тропосферного озона при загрязненном воздухе

Секция: «Ботаника и экология растений»

*Солтани Софья Фаимовна*

*учащаяся, МБУ ДО "Эколого-биологический центр имени С.Ю. Соколова"*

*Научный руководитель:*

*Баланюк Татьяна Ивановна, зам. директора МБУ ДО "Эколого-биологический центр имени С.Ю. Соколова", педагог дополнительного образования,*

*объединение «Садоводство в субтропиках»*

*Работа выполнена в 2022г.*

Сочи, 2022г

## Содержание

Введение	3
Теоретическая часть	5
Выделительные (секреторные) ткани, их функции, строение, классификация	5
Аллелопатические свойства растений	6
Тропосферный озон и его воздействие на растения	14
Условия, объекты, методы исследования	16
Результаты исследования	17
Отбор растений для исследований	17
Секреторные структуры исследуемых растений	18
Моделирование дождевых смывов листьев	19
Ростовые реакции растений на смывы листьев	20
Лабораторные исследования влияния озона на листья	23
Выводы	25
Благодарности	25
Список использованной литературы	25
Приложение	27

## Введение

Озоновый слой в стратосфере, на высоте 10-40 км, защищает нас от ультрафиолетового излучения и является необходимым для существования высших форм жизни на Земле. Тропосферный озон, содержащийся на высоте до 10 км, оказывает пагубное воздействие на биосферу в целом.

Озон является парниковым газом, и возрастание его концентраций в тропосфере усиливает парниковый эффект. А отрицательное воздействие озона на растения ведет к снижению поглощения ими углерода, что еще больше усугубляет парниковый эффект и нарушает природное равновесие. Влияние тропосферного озона усиливается при загрязнении воздуха автомобильными выбросами.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) отнесла озон к веществам беспорогового действия, то есть любые концентрации этого газа в воздухе опасны для здоровья человека. Озон оказывает общетоксическое, раздражающее, канцерогенное, мутагенное, генотоксическое действие, вызывает усталость, головную боль, тошноту, рвоту, раздражение дыхательных путей, кашель, расстройство дыхания, хронический бронхит, эмфизему легких, приступы астмы, отек легких, гемолитическую анемию (разрушение эритроцитов). Ученые считают, что озон отрицательно влияет на здоровье даже тогда, когда человек не чувствует никаких признаков его воздействия.

Содержание озона в воздухе можно измерить с помощью газоанализаторов. Но, современные исследования показывают, что некоторые растения, содержащие секреторные клетки, являются чувствительными к воздействию высокой концентрации тропосферного озона и могут служить индикаторами даже небольшого превышения его концентрации.

Повреждения растений могут возникать уже при концентрациях, лишь немного превышающих фоновые уровни. Это имеет огромное значения для сельского и лесного хозяйства и оказывает значительное влияние на

естественные экосистемы, изменяя аллелопатические взаимодействия между древесными и травянистыми растениями в биоценозах.

**Цель исследований:** изучение влияния загрязнения воздуха на аллелохимику растений.

**Задачи:**

- изучить секреторные ткани растений;
- исследовать аллелопатические свойства растений;
- проверить возможность использования смывов листьев на прорастание семян, как тестовую систему загрязнения воздуха.

**Актуальность.** Проблема тропосферного озона является одной из актуальных экологических проблем современности. Выявлением растений-индикаторов загрязненного воздуха занимаются ученые разных стран.

**Практическая значимость.** Поиск доступных диагностических технологий для определения качества воздуха будет способствовать экологической информированности населения.

**Гипотеза.** Древесные растения могут служить биоиндикаторами загрязнения воздуха.

## 1. Теоретическая часть

### 1.1. Выделительные (секреторные) ткани, их функции, строение, классификация

В процессе жизнедеятельности в растениях образуется ряд веществ, не участвующих в дальнейшем метаболизме. Это побочные или конечные продукты обмена веществ, подлежащие выделению или изоляции внутри растения. Их химическая природа разнообразна. Иногда они выполняют функцию защиты от насекомых, от поедания животными, предохраняют от загнивания древесины.

Структурные образования, способные активно выделять из растений или изолировать в его тканях продукты метаболизма и капельно-жидкую воду принято называть секреторными (выделительными) тканями [4].

Выделительные ткани классифицируют на:

*ткани внутренней секреции* – выделяют и накапливают вещества, остающиеся внутри растения: секреторные вместилища (схизогенные, лизигенные, схизолизигенные) и млечники (млечные трубки)

*ткани наружной секреции* – выделяют секретируемые вещества в окружающую среду: желёзки, железистые волоски, гидатоды, нектарники.

Секреторные вместилища – полости внутри тела растения, заполненные секретом. Схизогенные вместилища образуются вследствие расхождения клеток и формирования крупного межклетника, выстланного живыми эпителиальными клетками, которые образуют вещества, заполняющие полость вместилища. Могут представлять собой длинные вытянутые каналы, образующие связную систему в теле растения (смоляные ходы хвойных, эфирномасличные каналы зонтичных). Встречаются и короткие вместилища схизогенного происхождения (эфирномасличные вместилища в листьях эвкалипта, слизевые вместилища).

Лизигенные вместилища образуются в результате растворения смешанной группы клеток после накопления ими веществ (эфирномасличные вместилища в околоплоднике цитрусовых, листьях эвкалипта).

Схизолизигенные вместилища смешанного происхождения.

Млечники – живые клетки, содержащие в вакуолях млечный сок, или латекс. Латекс представляет собой эмульсию белого, реже оранжевого цвета. В состав млечного сока входят углеводы (крахмальные зерна у молочайных, сахара у сложноцветных), белки (у фикуса), жиры, слизи, дубильные вещества, эфирные масла, каучук.

Желёзки отличаются от волосков отсутствием ножки или очень короткой ножкой и всегда многоклеточной головкой.

Железки имеют характерное строение для определенных систематических групп.

Выделительные (секреторные) клетки накапливают различные группы соединений: эфирное масло, слизи, дубильные вещества, кристаллы кальция оксалата и др. Это могут быть отдельные клетки, рассеянные среди других тканей в качестве идиобластов, или они могут образовывать слои.

Локализация вторичных метаболитов в растениях зависит от их вида, класса вторичного метаболита, его функции и действия внешних факторов. Вторичные метаболиты растительного происхождения проявляют биологическую активность и могут воздействовать на микроорганизмы, животных и человека [2].

## **1.2. Аллелопатические свойства растений**

Несмотря на то, что растения лишены подвижности, природа наделила их множеством приспособлений, помогающих выжить в условиях жестокой внутри и межвидовой борьбы. К ним относятся разнообразные органические вещества, которые растение выделяет в воздух и почву в целях самозащиты.

Вещества эти и их роль в жизни растений составляют суть аллелопатии – влияния растений друг на друга путем различных выделений в окружающую среду.

Выделяемые вещества не только защищают своего донора от врагов. Они играют и регулирующую роль в природе.

Аллелопатия (от др.-греч. Allelon)— взаимно и pathos — страдание) — свойство одних организмов выделять химические соединения, которые тормозят или подавляют развитие других. Каждое растение, выделяя различные продукты обмена, создает вокруг себя специфическую среду, которая для соседних организмов может оказаться токсичной, благоприятной или нейтральной (Гродзинский, 1965). Аллелопатия – природное явление, которое оказывает значительное влияние на функционирование биоценозов. Наиболее интересны активные выделения (аллелохимикалии) высших растений.

Несмотря на то, что растения лишены подвижности, природа наделила их множеством приспособлений, помогающих выжить в условиях жестокой внутри и межвидовой борьбы. К ним относятся разнообразные органические вещества, которые растение выделяет в воздух и почву в целях самозащиты.

Вещества эти и их роль в жизни растений составляют суть аллелопатии – влияния растений друг на друга путем различных выделений в окружающую среду.

Выделяемые вещества не только защищают своего донора от врагов. Они играют и регулирующую роль в природе.

Природа не для того создавала многообразие видов, чтобы дать возможность какому-то одному из них занять всю землю. Она предусмотрела удивительный механизм: растение выделяет не только защитные, но и вредные для себя вещества. Один экземпляр вырабатывает совсем немного подобных веществ. Но выделений тысяч, десятков тысяч растений одного вида, выросших и расцветших на ограниченной площади, достаточно, чтобы «отравить» почву для самих себя.

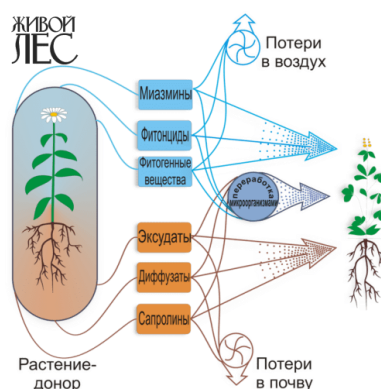
На следующий год семена «запрессованных» растений либо вовсе не прорастают, либо чувствуют себя угнетенными и дают рахитичное потомство. Одновременно с этим вещество, подавляющее рост, для семян другого растения оказывается стимулятором. И позволяет ему проявить свою активность и стать доминантой.

Это явление лежит в основе так называемого почвоутомления. Оно проявляется не только в диких травостоях, но и в огороде, в саду и даже в лесу.

Чтобы избежать «утомления» почвы, в растениеводстве и применяют севооборот, или плодосмен. На одной и той же грядке одна культура сменяет другую, а та, в свою очередь, третью. В итоге каждая чувствует себя прекрасно и дает максимальный урожай.

Явления аллелопатии были замечены уже в глубокой древности. Ученый Древнего Рима Плиний Старший отмечал в своих записках отрицательное воздействие капусты на виноградную лозу. Лоза уклонялась от гряды с капустой в противоположную сторону, становилась угнетенной, ухудшался вкус винограда.

На рис. 1 показаны основные группы веществ, выделяемых растением-донором в окружающую среду.



**Рис. 1 Основные группы веществ, выделяемых растением [5]**

Эти выделения бывают:

- *водорастворимыми и летучими;*
- *прижизненными и посмертными.*

Прижизненные делятся на:

- *активные, обусловленные нормальной жизнедеятельностью растений;*
- *пассивные, происходящие, например, вследствие вымывания веществ из листьев осадками. Такое вымывание случается, в частности, в процессе гуттации – выделения листьями капельной жидкости.*

У некоторых деревьев (липы, конского каштана) гуттация наблюдается в момент распускания почек. Аллелопатическое значение ее можно представить следующим образом: капли, появляющиеся на листьях, стряхиваются ветром на почву, на листья, расположенные ниже, и высыхают или впитываются. Вещества, растворенные в них, помимо легко выявляемых кальция, магния, калия, натрия, фосфора содержат и множество сложных физиологически активных веществ: аминокислот, алкалоидов, витаминов. Оказавшись в почве, они существенно меняют ее свойства.

Мы воспринимаем многие из этих соединений как запах. Сильно пахнут распускающиеся почки тополя, молодая хвоя ели, кора черемухи. Эти ароматические вещества не только выделяются в воздух, окутывая невидимым туманом собственное растение и распространяясь на все окружающие, но и растворяются в дождевых каплях и росе, чтобы потом попасть на листья подлеска и подроста, на травы под пологом леса и, наконец, оказаться в почве.

С листовым опадом в почву также вносится большое количество соединений самой различной природы, обладающих разнообразным биологическим действием, начиная от минеральных солей вплоть до веществ, которые Джулиан Гексли в 1935 году назвал «наружными гормонами».

Органические вещества, выделяемые в окружающую среду при разложении растительных остатков, помимо того, что используются другими организмами в качестве пищи, могут также и непосредственно влиять на состояние всего биогеоценоза. Известно, что глюкозиды, которые содержатся в опавших листьях ив, тополей, ясеня, конского каштана быстро разрушаются, превращаясь в высокоактивные аглюконы. Последние и обуславливают значительную фитотоксичность опада этих растений.

Большое количество водорастворимых органических соединений выделяют в почву и сами корни. В корневых выделениях имеются органические вещества различной природы: фенольные соединения, аминокислоты, органические кислоты, ферменты, витамины.

Среди них немало биологически активных, стимуляторов или ингибиторов роста. Они достигают корней расположенных рядом растений (как своих, так и других видов) и оказывают на них определенное воздействие.

Порой такие вещества уникальны и выявляются лишь у какой-то одной породы. Так, в листьях и ветвях тисса обнаружен глюкозид диметилэфира флороглюцина таксикатина. Возможно, наличием именно этого глюкозида и обусловлена высокая устойчивость тисса к хвоегрызущим насекомым.

В аллелопатии имеют значение все выделения растений. Совместно они образуют своеобразную биохимическую защитную сферу вокруг продуцирующих их растений, чем-то напоминая защитную роль крепостных стен вокруг древнего города.

Рассматривая приведенную выше схему, следует учесть, что на ней изображено лишь одно направление действий: от растения-донора к растению-акцептору. На самом деле в любом фитоценозе каждое растение является одновременно и донором, и акцептором. Так что схему следовало бы дополнить зеркальным отображением.

Летучие выделения листьев и тонкой коры делят на три типа:

- *фитогенные – выделения неповрежденных органов;*
- *фитонциды – выделения поврежденных тканей;*

Аллелопатия довольно детально изучена на примере травянистых растений. Полученные результаты во многих случаях используются практиками. Что же касается древесных, то в силу их долголетия аллелопатические влияния одних пород на другие выявить сложнее.

Выявлен механизм губительного воздействия грецкого ореха на рядом расположенные растения. Такое воздействие объясняется свойствами сока, каплями падающего с дерева. Он обладает токсическим воздействием на соседние плодовые растения. Именно поэтому молодые посадки яблони и груши вблизи ореха плохо растут, а иногда даже погибают.

Рост яблони и груши могут подавлять конский каштан, пихта, сирень, роза, чубушник. В то же время замечено, что яблони и груши хорошо растут в соседстве с тополем, кленом, дубом, липой, березой [5].

Известно, что в природных условиях происходит естественная смена лесных древесных пород. Лесоводы связывают это явление климатическими условиями, пожарами, биологическими особенностями растений. Наряду с температурным, водным и световым режимами, химическими и физическими свойствами почвы важным фактором, определяющим подобные смены пород, может быть и аллелопатия.

Раскопки корней в насаждении лиственницы показали: к растениям своей популяции она направляла в 2 раза меньшее количество корней, чем в сторону поляны [5].

Очень высокой активностью отличается водный экстракт опавшей хвои и корней лиственницы. В опытах он существенно задерживал рост своих же сеянцев, особенно корневой системы.

В растворе из ткани лиственницы с трудом прорастали семена ели и сосны [5]. Это не удивительно, поскольку известно, что с растительными остатками лиственницы в почву поступают в довольно большом количестве флавоноиды, дубильные вещества, кумарины, сапонины.

В высоких концентрациях выделения лиственницы полностью подавляли прорастание семян салата и редиса.

В одном из опытов сравнивали аллелопатическую активность катальпы, каштана конского, альбиции и софоры. Наибольшей активностью отличилась катальпа. Высокой активностью обладали вытяжки из плодов софоры и семян каштана. Листовой опад альбиции оказал стимулирующее воздействие на прорастание семян софоры, в то время как выделения собственных листьев тормозили прорастание этих семян. Да и сама альбиция ленкоранская – дерево-пионер, хорошо растущее в моно- и смешанных посадках, – оказалась подверженной аллелопатическому воздействию со стороны других растений. Отмечен случай, когда правильно пересаженная из питомника

альбиция через год погибла, поскольку была высажена внутри круга из самшита, где не приживались и многие другие растения.

По химическому составу аллелопатические вещества варьируют от простых углеводов до сложных полициклических ароматических фенолов, терпенов, флавоноидов, полиацетиленов, жирных кислот. Флавоноиды играют многофункциональную роль в защите растений. Однако в результате микробиологической трансформации аллелохимикатов образуются новые продукты с иными биологическими свойствами.

Феномен аллелопатии включает различные типы химических взаимодействий между организмами и осуществляется путем образования и выделения ими в среду метаболитов, обладающих аллелопатической активностью.

Эти соединения воздействуют на физиологические функции растений на всех структурных уровнях организации и на всех этапах онтогенеза. На молекулярном уровне это может проявляться, например, в накоплении в клетке активного кислорода под действием катехина и других фенолов и хинонов. На клеточном и тканевом уровнях — это и блокирование ферментов запасных веществ, и влияние на митоз (кумарины, транс-коричная кислота, скополетин), и изменение величины устьичной щели листа (хлорогеновая кислота).

Изучение аллелопатической активности растительных выделений усложняется тем, что на количестве и качестве химических веществ, образуемых растением, сказываются и генетические особенности растений, и условия окружающей среды. Состав и концентрация аллелохимикалий в тканях растения различаются в зависимости от возраста, локализации в органах и видовой принадлежности, при этом в зависимости от климатических и эдафических (почвенных) условий произрастания аллелопатический потенциал растения будет меняться.

В экспериментах по выявлению аллелопатических свойств растений необходимо обращать внимание на следующие факторы: способ и

продолжительность выделения аллелохимикалий в окружающую среду; ответную реакцию целевого вида (реципиента) на действие одного (или нескольких) соединений, выделяемых растением-донором; устойчивость и активность продуктов их деградации; прямое или косвенное действие аллелохимикалий на целевое растение (они могут влиять на биотические и абиотические факторы среды обитания).

Выявление аллелопатических взаимодействий начинается, как правило, с простых, недорогих, быстрых и надежных (хорошо воспроизводимых) биотестов, при этом для их проведения важно, чтобы целевые растения были достаточно чувствительны, а статистически значимые результаты — применимы к широкому спектру видов-мишеней [7]. Существует уже множество биотестов, и для каждого из них разрабатываются конкретные требования: подбираются доноры аллелохимических агентов и соответствующие виды растений, на которые направлена фитотоксическая активность, определяются состав сред, стадии развития тестируемых объектов, параметры, по которым оценивается аллелопатический потенциал, и т.д.

При проведении биотестов необходимо соблюдать определенные условия. Во-первых, важно избегать взаимодействия исследуемых соединений с компонентами среды и не допускать заражения микробами, которые могут, с одной стороны, вызвать деградацию испытуемых веществ, с другой, проявить активность собственных компонентов и т.д. Для соблюдения этих условий мы использовали в экспериментах исключительно стерильные субстраты, протравленные семена, дистиллированную воду. Во-вторых, для биотестов желательно использовать в качестве доноров виды с высоким уровнем аллелопатического потенциала.

Биологическая активность водорастворимых выделений листьев, опада, корней проявляется при очень низких концентрациях. В лабораторных условиях её оценивают на семенах тестовых, быстро прорастающих растений – редиса и кресс-салата. Доля прорастающих семян, помещенных в вытяжку из опытных растений, свидетельствует о степени аллелопатического воздействия последних.

### 1.3. Тропосферный озон и его воздействие на растения

Озон ( $O_3$ ) является важным компонентом атмосферы и оказывает влияние на все живые организмы. В небольших количествах он необходим для жизненных процессов. Негативное влияние тропосферного озона связано с загрязнением воздуха в результате промышленных и автомобильных выбросов. При превышении допустимой концентрации озона в тропосфере в 3-4 раза возрастает поступление на земную поверхность ультрафиолетовой радиации. Это приводит к изменению климата и началу деградации экосистем в целом, а также вызывает ослабление иммунной системы и увеличение количество раковых заболеваний у человека.

Озон токсичен, и его увеличение в тропосфере имеет негативные последствия. Концентрация озона 100 млрд-1 (сто частей на миллиард) уже является повышенной и вызывает необратимые изменения в органах дыхания человека через 1 час. При концентрациях более 50 млрд-1 озон оказывает угнетающее действие на растения [3]. В последние десятилетия интерес к проблеме атмосферного озона растет, поскольку постоянно увеличивается его количество в тропосфере и периодически уменьшается в стратосфере. Первоначально предполагалось, что основным источником тропосферного озона является перенос из стратосферы.

Имеющиеся литературные данные немногочисленны и относятся, в основном, к измерению накопления озона в приземном слое и его влияния при длительном воздействии на рост, развитие листьев и их повреждение.

В биоценозах превышение содержания  $O_3$  в приземном слое изменяет аллелопатические взаимодействия между древесными и травянистыми растениями [6]. Отмечены изменения роста растений и повреждения листьев и фотосинтетической активности при продолжительном воздействии озоном в природных условиях.

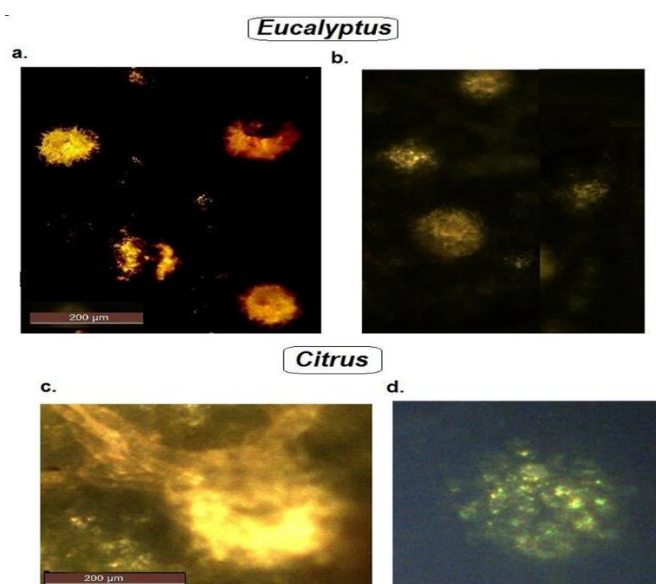
В зависимости от продолжительности и интенсивности воздействия  $O_3$  изменяются характеристики клеток листьев и состав их смывов, цвет и

автофлуоресценция секреторных клеток, а также влияние смывов листьев на прорастание семян.

Схема взаимодействия озона с растительной клеткой продолжает оставаться не до конца исследованной областью. Аллелопатически активные растения, содержащие вторичные метаболиты являются мишенями для озона [8].

Автофлуоресценция вторичных метаболитов является биосенсорной реакцией растений. Ее резкие изменения являются клеточным сигналом растений к выживанию в неблагоприятных условиях.

Например, автофлуоресценция листьев эвкалипта *Eucalyptus*, хорошо видимая в контроле, после обработки самой высокой дозой озона исчезла [10]. Напротив, у мандарина *Citrus unshiu*, у которого нет флуоресценции в контроле, после воздействия озона возникла интенсивная эмиссия (рис.2).



**Рис. 2. Влияние озона на состояние желёз (а и с) контроль, (b и d) 0.7 мкл/л за 10 мин [10].**

Секреторные клетки аллелопатически активных видов растений содержат соединения, которые участвуют в химических взаимодействиях при биоценозе, и их эффекты обусловлены содержанием аллелохимических веществ в дождевых смывах.

В биоценозах смывы из аллелопатически активных деревьев и кустарников воздействуют на травянистые растения, растущие поблизости или под их пологом, что влияет на взаимодействие компонентов экосистемы.

## 2. Условия, объекты, методы исследования

Исследования проводили в условиях Сочинского Причерноморья. Экспериментальные участки (рис.3) были расположены в зоне высокого загрязнения выхлопными газами автомобилей (ул. Донская д. 84-90) и в зоне низкого загрязнения – на границе с Сочинским национальным парком в садовом товариществе «Вишневый». Экспериментальные участки находятся в одном административном районе Сочи.



**Рис.3 Экспериментальные участки –**

**автодорога ул. Донская (слева) и садовое товарищество (справа)**

Модельные эксперименты проводились в лабораторных условиях на базе Института биофизики клетки РАН (г. Пущино).

Для проведения исследования отбирались пары видов, которые произрастают вдоль автомагистрали и на границе лесного участка.

По результатам наблюдений было отобрано 7 видов, которые являлись объектами наблюдений: бирючина блестящая, бирючина обыкновенная, инжир колхидский, лавр обыкновенный, лох колючий, олеандр обыкновенный, орешник обыкновенный.

Эксперимент проводился в модельной системе: древесные виды (доноры аллелопатических веществ) – травы (акцепторы аллелохимикатов).

Донором аллопатических веществ являлись свежесобранные листья взрослых древесных растений. В сентябре собирались по 15 листьев с каждого растения. На электронных весах отмерялось по 3 гр. Свежесобранных листьев.

Для тестирования аллопатической активности древесных растений использовались водные экстракты – модели дождевых смывов листьев.

Смывы готовились из мало поврежденных листьев в соотношении 1:10 вес/объем и настаивались 1 сутки в комнатных условиях. Тестирование их аллопатической активности проводилось на семенах редиса, по 10 шт. в трех повторностях. Контроль: 100% дистиллированная вода.

Семена выкладывались на смоченную экстрактом салфетку, емкость была затянута пленкой для снижения испарений (рис. 4). Всходы подсчитывались раз в сутки. Наблюдения за прорастанием семян проводились в течение 5 суток.



**Рис. 4 Материалы, используемые в эксперименте**

Для лабораторных экспериментов листья были собраны в сочинском «Дендрарии». Модель смывов готовилась из неповрежденных листьев, в течение 1 часа в соотношении 1:10 вес/объем. В качестве травы-акцептора использовались семена лаватеры. Воздействие озоном проводилась кратковременной экспозицией в течение 10 минут дозой 0.05-07μl/L (микролитров на литр). Озон производился генератором КПМЗ (Россия). Наблюдения за прорастанием семян проводились в течение 2 суток.

### **3. Результаты исследования**

#### **3.1. Отбор растений для исследований**

Среди донорских древесных растений большинство видов имели секреторные клетки, хорошо видимые на поверхности листьев (рис. 5, приложение). Секреторные структуры поверхности листьев содержат аллелохимикаты.

**Таблица 1. Характеристика исследуемых видов растений**

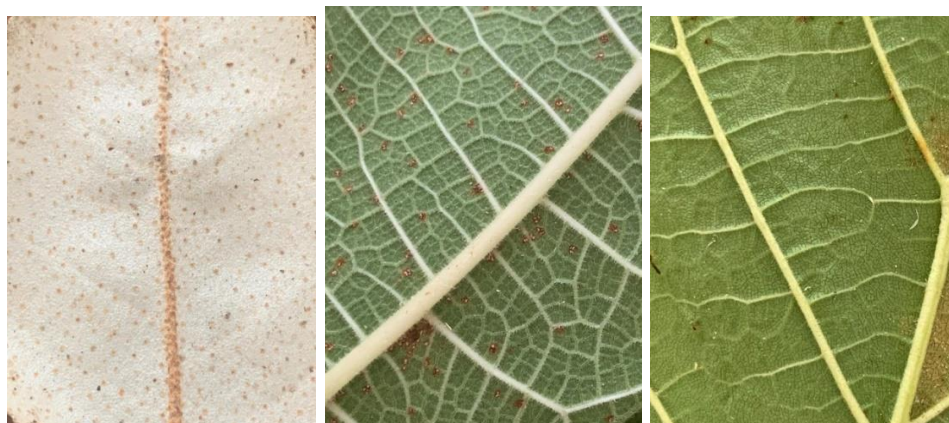
Название растения	Латинское название	Жизненная форма	Семейство	Родина
Бирючина блестящая	<i>Ligustrum lucidum</i>	Вечнозеленое дерево	Маслиновые	Китай
Бирючина обыкновенная	<i>Ligustrum vulgaris</i>	Листопадный кустарник	Маслиновые	Кавказ, Европа
Инжир колхидский	<i>Ficus colchica</i>	Листопадное дерево	Тутовые	Кавказ
Лавр обыкновенный	<i>Laurus nobilis</i>	Вечнозеленое дерево	Лавровые	Средиземноморье
Лох колючий	<i>Elaeagnus pungens</i>	Вечнозеленый кустарник	Лоховые	Восточная Азия
Олеандр обыкновенный	<i>Nerium oleander</i>	Вечнозеленый кустарник	Кутровые	Средиземноморье
Орешник обыкновенный	<i>Coryllus avellane</i>	Листопадный кустарник	Березовые	Кавказ, Европа

### 3.2. Секреторные структуры исследуемых растений

Среди донорских древесных растений большинство видов имели секреторные клетки, хорошо видимые на поверхности листьев (рис. 5, приложение). Секреторные структуры поверхности листьев содержат аллелохимикаты.



олеандр, лавр, бирючина блестящая



лох, инжир, орешник

**Рис. 5. Поверхность тыльной (адаксиальной) стороны листьев, изучаемых видов**

У олеандра и лоха на тыльной стороне листьев хорошо видны устьица, для листьев олеандра характерны ткани внутренней секреции. У инжира и орешника секреторные структуры представлены железистыми волосками. У других видов – железками, то есть тканями наружной секреции.

### 3.3 Моделирование дождевых смывов листьев

Продолжительность дождей в условиях влажных субтропиков России могут длиться в течение недели. Для изучения аллелопатических свойств растений смывы готовились путем настаивания листьев в течение суток (рис.6), в отличие от лабораторных условий, где листья настаивались лишь 1 час.



**Рис.6 Приготовление смывов (экстрактов)**

Все смывы и контроль были прозрачные, кроме инжира и орешника. У последних двух видов смывы, полученные с растений у дороги были коричневого цвета, а в садоводстве – желтого (рис.7).



**Рис. 7 Экстракты орешника и инжира (слева) , контроль (справа)**

Это может быть связано со структурой листьев. Так как у орешника и инжира листья не кожистые.

### **3.4. Ростовые реакции растений в смывах листьев**

Проращивание семян исследовалось в течение 5 дней. После третьего дня проращивания семян не наблюдалось, шло развитие проростков (рис. 8).

Результаты влияния экстрактов на проращивание семян представлены в таблице 2.

Результаты всхожести семян можно рассматривать по нескольким вариантам:

- по видам, как показатель наличия аллелопатии;
- по дням наблюдений, как показатель стойкости аллелохимикатов;
- по участкам сбора, как показатель качества воздуха;

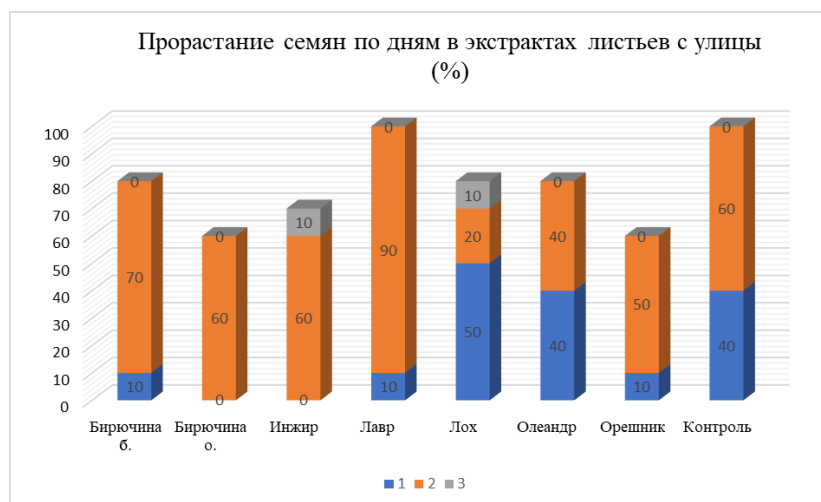


**Рис. 8 Проращение семян на 1 сутки в экстракте бирючины обыкновенной и всходы на 5 день в экстрактах орешника**

В контроле все семена проросли на второй день, как и в экстракте лавра, собранного у дороги.

**Таблица 2. Проращение семян в экстрактах листьев**

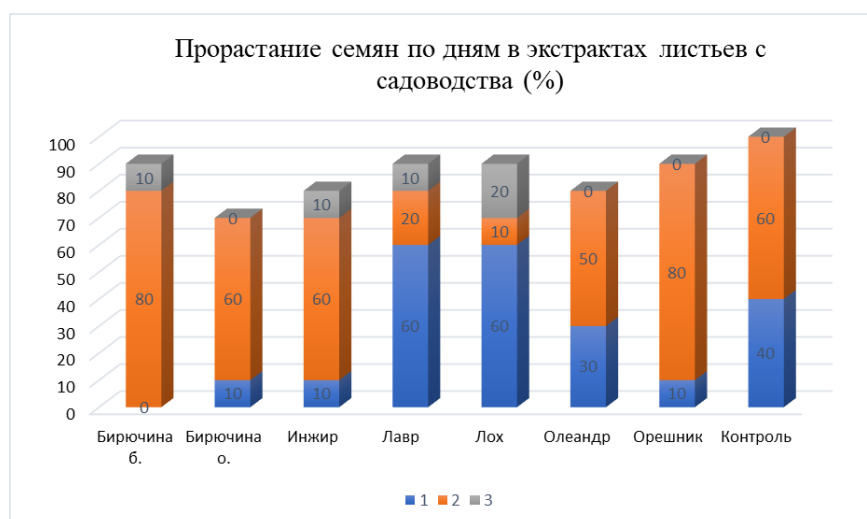
Название растения	Участок сбора листьев	Дни наблюдений / % проросших семян		
		1	2	3
Бирючина блестящая	дорога	10	80	80
	садоводство	0	80	90
Бирючина обыкновенная	дорога	0	60	60
	садоводство	10	70	70
Инжир обыкновенный	дорога	0	60	70
	садоводство	10	70	80
Лавр благородный	дорога	10	100	100
	садоводство	60	80	90
Лох колючий	дорога	50	70	80
	садоводство	60	70	90
Олеандр обыкновенный	дорога	40	80	80
	садоводство	30	80	80
Орешник обыкновенный	дорога	10	60	60
	садоводство	10	90	90
Контроль	нет	40	100	100



**Рис. 9** Ростовые реакции на листовые смывы у автодороги

Стимулирующее свойство экстракта на первый день проявилось у лоха колючего (в двух вариантах), и лавра благородного (из садоводства) (рис. 9, 10).

Ингибирующее свойство экстракта в первый день проявилось у инжира, орешника, лавра (у дороги), бирючин.



**Рис. 10** Ростовые реакции на листовые смывы в природной зоне

У 60% вариантов все семена проросли в течение 2 суток. Прорастание на третьи сутки 10% семян отмечено в экстрактах инжира и лоха, растущих у дороги; бирючины блестящей, инжира, лавра, растущих в садоводстве, а также 20% прорастание семян в экстракте лоха из садоводства.

100% всхожесть, как в контроле наблюдалась в экстракте лавра, собранного у дороги. Всхожесть 80-90% в экстрактах вечнозеленых растений – бирючины блестящей, лавра, лоха, олеандра; листопадных орешника и инжира из садоводства.

Низкая всхожесть 70-60% в экстракте листопадных растений: бирючины обыкновенной( в двух вариантах), придорожном орешнике и инжире.

Таким образом – аллелопатические ингибирующие свойства лиственных растений сильнее, чем вечнозеленых. Смывы листьев вечнозеленых растений могут проявлять стимулирующие свойства.

Результаты прорастания семян во всех экстрактах пар видов улица-садоводства были различными, что свидетельствует о влиянии места произрастания растений на аллохимические свойства листьев.

Экстракт листьев орешника с улицы на 30% сильнее ингибировал прорастание семян, чем экстракт листьев из садоводства.

Наибольшее отличие проявилось у лавра благородного (рис. 11): по динамике прорастания семян и общему количеству. Экстракт из листьев с улицы в первый день ингибировал прорастание семян, а затем стимулировал, либо его действие прекратилось.



**Рис. 11** Посуточная динамика ростовых реакций на смывы листьев лавра благородного

### 3.5 Лабораторные исследования влияния озона на листья

Воздействие озоном на листья листопадных и вечнозеленых растений показало, что его влияние прямо противоположное. Экстракты озонированных листьев листопадных растений ингибируют ростовые реакции, а вечнозеленых – стимулируют (таблица 3). Эти результаты совпадают с тестовыми исследованиями пар видов.

**Таблица 3. Эффекты экстрактов (смывов) озонированных листьев исследуемых растений на ростовые реакции**

Вид	Контроль из неозонированных листьев	Озон (доза 0.7µl/L в течение 10 мин)
Инжир обыкновенный	130	50
Олеандр обыкновенный	100	120

Аналогичные результаты влияния озона на автофлуоресценцию листьев. При воздействии на листопадные виды (инжир) общая эмиссия автофлуоресценции увеличивается в два раза, а у вечнозеленых видов (олеандр) она исчезает (таблица 4).

**Таблица 4. Влияние озона на автофлуоресценцию листьев исследуемых растений. Возбуждение светом 360 нм**

Вид	Максимумы флуоресценции, нм	
	Контроль (без обработки озоном)	Озон (доза 0.05-0.7µl/L в течение 10 мин)
Инжир обыкновенный	460, 680	450, 470, 530, 685 (общая эмиссия увеличивается в 2 раза)
Олеандр обыкновенный	479	0

## **Выводы**

Исследования показали, что

1. Отобранные для исследования 7 видов относились к различным семействам и жизненным формам, отличались по географическому происхождению.
2. Все изучаемые растения имели секреторные структуры с вторичными метаболитами.
3. Все изучаемые растения проявили аллелопатические свойства.
4. Загрязнение воздуха влияет на аллелохимические свойства листьев.
5. Признак листопадности коррелирует с влиянием на ростовые процессы и реакцию растений на воздействие озоном.
6. Экстракты листьев орешника и лавра можно использовать для определения загрязнения воздуха, по аналогии с дождевыми смывами.
7. Воздействие тропосферного озона в условиях загрязненного воздуха разрушает метаболиты секреторных структур листьев изменяя их аллелохимические свойства. Это приводит к изменению химических составов дождевых смывов и изменению аллелопатических влияний в биоценозах.

## **Благодарности**

Благодарим доктора биологических наук Викторию Владимировну Рошину - ведущего научного сотрудника «Федерального исследовательского центра «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» за консультации, проведение лабораторных исследований образцов и предоставление результатов исследований.

## **Список использованной литературы:**

1. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ / Киев: Наукова думка, 1965. с. 189-198.
2. Загоскина Н.В., Назаренко Л.В. Вторичные метаболиты растений: распространение, история изучения, практическое применение// Вестник Московского городского педагогического университета. Серия:

- Естественные науки. 2019, №2 (34), с. 8-19.  
<https://vestnik.mgpu.ru/pdf/1732.pdf>
3. Загрязнение озоном / Экологический справочник. 2021. <https://ru-ecology.info/term/3790/>.
  4. Зайчикова С. Г., Барабанов Е. И. Ботаника : учебник / ГЭОТАР-Медиа, 2020. 288 с. <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970452493.html>
  5. Ижевский С. Аллелопатия. Как растения влияют друг на друга. Интернет-журнал «Живой лес», 2015 г. <https://givoyles.ru/articles/nauka/vliyanie-rastenii-allelopatiya>
  6. Муровский С.П., Ильницкий О.А., Муровская А.С. Влияние тропосферного озона на растения и здоровье человека//Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Проблеми екології, 2012, №1-2, с. 18-24
  7. Поляк Ю. М., Сухаревич В. И. Аллелопатические взаимоотношения растений и микроорганизмов в почвенных экосистемах// Успехи современной биологии, 2019, том 139, No 2, с. 147–160.
  8. Roshchina V. V. How Tropospheric Ozone Influences the Allelopathy of Woody Species: Some Experimental Approaches. Journal of Plant Sciences, 2020, Vol. 8 (4), pp. 71-79. doi: 10.11648/j.jpss.20200804.11
  9. Roshchina V.V., Roshchina V.D. Ozone and Plant Cell. Dordrecht: Kluwer. 2003. 267 p.
  10. Roshchina V.V., Soltani G.A. Effects of Ozone (O<sub>3</sub>) on leaf secretory cell characteristics related to allelopathy of woody plants: Modelling allelopathic interactions. Allelopathy Journal, 2020, vol.51 (2), pp. 209-220. doi: <http://doi.org/10.2665/allelo.j/2020-51-2-1301>

## Приложение

**Парные сборы листьев. Слева – собранные в садоводстве, справа – у автодороги**



**бирючина блестящая, бирючина обыкновенная**



**орешник обыкновенный, инжир обыкновенный**



лавр благородный, лох колючий, олеандр обыкновенный