

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
"Лицей №6 им. академика Г. Н. Флерова»

Отделение дополнительного образования ЧОУ СОШ Полис-
Лицей «Биостанция Дубна»

Использование эпифитных водорослей для мониторинга окружающей среды

Исполнитель:

Власова Варвара
9 «ЛИА» класс

Руководитель:

К.б.н., педагог
дополнительного
образования ЧОУ
СОШ «Полис-
Лицей» Лаптева Т.А.

город Дубна
2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Обзор литературы	4
1.1. Мониторинг окружающей среды	4
1.2. Эпифитные водоросли	5
2. Методы исследования	6
3. Результаты исследования	8
3.1 Подбор условий для исследований эпифитных водорослей	8
3.2. Изменения водорослевых сообществ в зависимости от условий произрастаний деревьев, на которых они обитают	9
3.2.1. Водоросли – эпифиты на коре ели обыкновенной	9
3.2.2. Водоросли – эпифиты на коре сосны обыкновенной	11
3.2.3. Водоросли – эпифиты на коре березы	11
3.3. Распространение <i>Trentepohlia umbrina</i> в разных местах обитания	11
3.3.1 Распространение <i>Trentepohlia umbrina</i> в лесных массивах	11
3.3.2. Количественный анализ развития <i>Trentepohlia umbrina</i> в зависимости от условий роста.	13
Выводы	16
Заключение	16
Список использованной литературы	17

ВВЕДЕНИЕ

Водоросли обладают высоким потенциалом диагностической информации. Быстрая реакция на изменение экологической ситуации, высокая чувствительность некоторых видов к различным токсикантам, а также способность их аккумулировать делают эти организмы перспективными объектами для оценки уровней загрязнения. В связи с этим изучение возможности использования наземных эпифитных водорослевых ценозов в целях экологического мониторинга является очень актуальным.

Использование водорослей как биоиндикаторов водных и почвенных экосистем, является уже давно устоявшейся практикой. Однако применение эпифитных водорослей для этой цели еще не так распространено. Более того, большинство исследований такого рода касаются водорослей, растущих на водных растениях, но не на наземных.

Целью нашей работы было установить возможность использования эпифитных водорослей наземно-воздушных ценозов для мониторинга окружающей среды.

В рамках заданной цели были поставлены следующие *задачи*:

1. Подобрать условия, оптимальные для сбора образцов водорослей, необходимых для оценки качества окружающей среды
2. Определить видовой состав водорослевых налетов деревьев растущих как в условиях чистого воздуха, так и загрязненного выхлопными газами автомобилей
3. Оценить разницу между водорослевыми сообществами, растущими в разных условиях обитания
4. На основе полученных результатов, определить параметры, по которым можно оценивать качество воздуха

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Мониторинг окружающей среды

Методы биологического контроля позволяют оценить изменения параметров среды по наличию, жизнеспособности и поведению организмов: определить качество воды в водоёме, качество почвы и атмосферы, а также установить степень их загрязнённости и состояние биоценозов. Сочетание методов химического анализа с биологическими является основой мониторинга за состоянием окружающей среды и необходимо для прогноза ее изменений. В биологическом контроле различают биотестирование, биоиндикацию и биомониторинг. Биотестирование – оперативный метод прямой оценки качества воды, в частности сбросных вод предприятий, почвы, кормов и др. субстратов путём экспериментального определения (обычно в лабораторных условиях) действия конкретных загрязняющих или токсических веществ на живые организмы, или так называемые тест-объекты. Тест-объекты – это организмы биоиндикаторы, ответные реакции которых (тест-реакции) известны и предварительно градуированы по степени воздействия. Биоиндикация – комплексная оценка интенсивности и последствий длительного загрязнения окружающей среды или др. воздействия на нее по наличию индикаторных организмов, таксономическому составу ценозов, по нарушениям в функционировании сообщества либо по др. отклонениям в нормальном развитии организмов. Биомониторинг – это постоянный контроль, включающий как методы биоиндикации, так и биотестирования, за состоянием экосистем по биологическим параметрам согласно заранее разработанной и чётко осуществляемой программе полевых и лабораторных исследований, при которых проводится также количественное измерение показателей.

Биомониторинг является составной частью экологического мониторинга и в отличие от физико-химических методов не даёт точных и конкретных результатов. Основное преимущество биомониторинга – оценка качества окружающей среды и степени ее загрязнения по состоянию биоты на разных уровнях организации живой материи (от биомолекул и клеток, включая органоиды, до группировок организмов). При проведении биоиндикации и биомониторинга необходимы информативные биологические объекты, называемые биоиндикаторами. Биоиндикатор – особи одного вида или др. таксономической группы в сообществе, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в природной среде, о присутствии и концентрации загрязнителя. Другими словами, биомониторинг позволяет определить комфортность существования в конкретной экосистеме видов и групп организмов, наиболее чувствительных к загрязнению и трансформации естественного состояния природы, а также косвенное влияние на здоровье человека. Именно данные биомониторинга придают значение и правомерность таким нормативам, как ПДК, ПДУ и т.п. Кроме биотестирования (активный биомониторинг), большинство методов

относится к пассивной биоиндикации и позволяют визуально определить комплексную реакцию живой природы в ответ на длительное воздействие различных антропогенных факторов и при достаточно длительном наблюдении сделать прогноз о дальнейшем направлении изменений в экосистемах.¹

1.2. Эпифитные водоросли

Эпифитные водоросли как компонент биоты древесного растения - одна из самых малоизученных экологических групп водорослей. Слабо выявлено видовое разнообразие; фактически нет сведений об их взаимоотношениях с форофитом (породой-хозяином) и с другими организмами, обитающими на нем. Известно, что в странах с умеренным климатом непосредственное влияние, оказываемое эпифитами на форофит, невелико. С другой стороны известно о большой роли водорослей в экосистемах, так как они являются поставщиками веществ различной природы, служат началом трофических цепей, центрами образования микробных ассоциаций и выступают как антагонисты фитопатогенной флоры². В литературе имеются сведения о возможности усвоения азота водорослей мохообразными, в том числе представителями родов *Marchantia*, *Rhodobryum*, *Funaria*, произрастающими и на деревьях. Также установлено, что между типичными эпифитными водорослями и грибами, растущими на стволах деревьев, возникают тесные взаимодействия. Водоросли обладают большим потенциалом диагностической информации, что предоставляет возможности для решения ряда актуальных задач, в частности, выяснения роли деревьев-носителей в формировании видового состава и структурной организации эпифитных альгогруппировок, выявления специфики сложения эпифитной альгофлоры в разных экологических условиях и определения характера изменений настольных альгогруппировок при загрязнении³.

¹ Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие /Под. ред. проф. И.С. Белюченко, проф. Е.В. Федоненко, проф. А.В.Смагина. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с

² Жизнь растений, 3 том, п/р Голлербаха

³ Егорова И.Н. Эпифитная альгофлора Прибайкалья: видовое разнообразие и экологические особенности

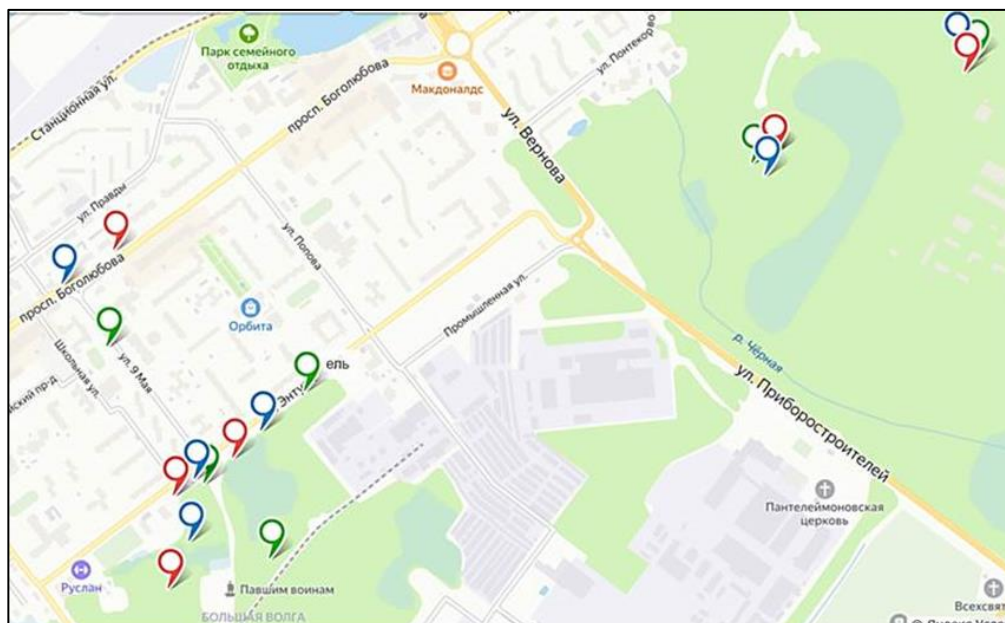
2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования: эпифитные водоросли, произрастающие на ели обыкновенной, сосне обыкновенной, березе повислой

Районы исследования. Пробы отбирали в местах с разным уровнем антропогенной нагрузки. Основным местом, где проводились исследования, был город Дубна, Московской области. Также эпифитные водоросли изучали около деревни Светлица, Осташковского района, Тверской области и в поселке Пушкинские горы, Псковской области.

1. Гор. Дубна, Московская область. Город Дубна находится на севере Московской области в 120 км от Москвы, на границе с Тверской областью. Правобережная часть города, на которой проводили исследования, окружена со всех сторон водоемами: реками Дубной, Сестрой, Волгой, каналом им. Москвы и Иваньковским водохранилищем. Это является одной из причин локального увеличения влажности воздуха по сравнению с соседними населенными пунктами: среднегодовая сумма осадков составляет 783 мм⁴. Более 32% площади населенного пункта занято лесами и лесопарковыми зонами. Однако через Дубну проходит достаточно интенсивный автотранспортный поток по направлению Москва-Тверь. Таким образом, в границах одного города можно найти районы с разной степенью антропогенной нагрузки, в том числе и загрязнениями выхлопными газами.

Деревья, с которых были взяты образцы для исследования, произрастали в лесопарковой зоне районов Большая Волга и Черная речка, как на опушке леса, так и в его глубине, на улицах с интенсивным движением автотранспорта: ул. Энтузиастов, пр. Боголюбова, шоссе Дубна-Дмитров. (см Рис.1).



⁴ Официальный портал наукограда Дубна <http://naukograd-dubna.ru/about/map?tab=tab57>

Рис.1. Район исследования. Красным обозначены места сбора образцов с березы, синим – с сосны, зеленым – с ели.

Также пробы были взяты и в лесу около деревни Ратмино, которая находится в 4 км от Дубны. Таким образом, были проанализированы водорослевые сообщества, произрастающие как в зоне интенсивного антропогенного воздействия (5 точек), в относительно чистых биотопах (3 точки) и в чистой зоне (1 точка). То есть представленные нами данные отвечают условиям презентативности.

2. Деревня Светлица, Осташковский район, Тверская область. Исследования проводили в рамках Всероссийского фестиваля краеведческих объединений –«Краефест» на берегу оз. Селигер, около монастыря Нило-Столбенская пустынь, в 10 км от города Осташков. В деревне Светлица наблюдается большой поток туристов и паломников. На озере Селигер в этом районе высокая интенсивность использования различных плавательных средств, в том числе и с бензиновыми моторами. При этом интенсивность автотранспорта, безусловно, ниже, чем в городах. Место исследования – сосновый лес непосредственно на берегу озера, в 2 км от деревни Светлица.

3. Поселок Пушкинские горы, Псковская область. Поселок находится в 112 км на юго-восток от Пскова. Значительная часть поселка приходится на лесопарковые территории, леса и пойменные луга. Климат переходный от морского к континентальному. Сумма годовых осадков составляет 705 мм. Исследования проводили в смешанном лесу с преобладанием березы в 2,5 км от музея-заповедника Михайловское. Движение автотранспорта отсутствует.

Методика отбор проб. Разрастания эпифитных водорослей определяли по характерному зеленому, или коричневому, налету на коре деревьев. С наружной части корки аккуратно ножом срезали участок 2* 3 см, так, чтобы не повредить более глубокие слои коры, которые состоят из живых тканей. Полученные образцы помещали в чашки Петри, подписывали для дальнейшего исследования в помещении. В одной точке сбора собирали по 3 пробы.

Микроскопический анализ образцов. Для приготовления влажных препаратов налет соскабливали с коры с помощью препаровальной иглы и помещали в каплю воды на предметном стекле. Микроскопический анализ образцов проводили с помощью микроскопа Биомед 2. Для фотографирования использовали смартфон, который был смонтирован с микроскопом с помощью специальной насадки. Водоросли определяли с помощью «Определителя пресноводных водорослей СССР», вып 4 (Диатомовые водоросли), вып 5 (Желто-зеленые водоросли), вып.8-11 (Зеленые водоросли)⁵, а также базы данных по водорослям Algaebase.org⁶.

Для количественного анализа разрастаний водоросли *Trentepolia umbrina* подсчитывали количество клеток водоросли в 10 полях зрения по

⁵ Определитель пресноводных водорослей СССР, М.-1951-1983

⁶ <https://www.algaebase.org>

диагонали покровного стекла при увеличении $\times 100$. Подсчет вели в препаратах, приготовленных из трех разных проб, затем вычисляли среднюю величину с помощью MS Excel.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Подбор условий для мониторинга состояния воздуха с помощью эпифитных водорослей

Хотя водоросли являются классическим инструментом для биомониторинга водных экосистем, методика применения их для оценки качества воздуха только разрабатывается. Поэтому на первом этапе нашего исследования мы отработали методику сбора образцов для этих целей. Нами были проанализированы следующие параметры:

- локализация водорослевых налетов на стволах деревьев
- предварительная инкубация водорослей перед микроскопическими исследованиями
- степень увлажнения образцов перед микрокопированием

Локализация водорослевых налетов на стволе дерева.

В литературе имеются данные о том, что при изучении эпифитных водорослей их необходимо собирать на некоторой высоте, т.к. в нижней части ствола могут встречаться почвенные водоросли, талломы которых «заползли» на дерево. Мы отобрали образцы на ели, сосне и березе у поверхности почвы, и на высотах 50 см и 170 см. Было обнаружено, что на ели и сосне на всех исследуемых высотах росли одни и те же водоросли. Поэтому в дальнейшем мы отбирали пробы на высоте 30-50 см, в местах наиболее выраженного налета.

На коре березы повислой нами было обнаружено два типа налетов: в нижней части, непосредственно у земли – светло-зеленый – и, на высоте более 30 см от земли, налет коричневатого-красного цвета, который изменял свой оттенок в зависимости от условий произрастания дерева. Поэтому далее мы исследовали оба типа налетов.

Предварительная инкубация водорослей

Известно, что для полного исследования видового разнообразия почвенных водорослей образцы почвы некоторое время инкубируют во влажной среде. Это связано с тем, что ряд водорослей находятся в почве в виде спор, и чтобы их обнаружить, надо спровоцировать их рост⁷. Так как изучаемые нами водоросли также являются наземными, мы предположили, что подобный подход может быть полезен и для изучения эпифитных водорослей. Для этого отобранные образцы коры были помещены в отстоянную водопроводную воду и инкубировались на свету в течение двух месяцев. За это время мы трижды анализировали под микроскопом

⁷ Голлербах М.М., Штина Э.М. Почвенные водоросли, 1969

инкубационную среду. Только через два месяца в некоторых образцах водоросли, относящиеся к роду Плеврококк, перешли во влажную среду. В большинстве случаев эпифитные водоросли не переходили в водную фазу. Наземная среда существенно отличается от водной, и далеко не все водоросли смогли приспособиться к обитанию в воздушной среде и, по-видимому, они уже не могут успешно существовать в водной. Однако в литературе есть данные об успешном культивировании наземных эпифитных водорослей⁸. Это значительно упрощает изучение морфологии, жизненных циклов этих водорослей и молекулярно-генетических их особенностей, но требует особых подходов в введении их в культуру, которые мы не смогли обеспечить.

Степень увлажнения образцов перед микрокопированием

Хотя эпифитные водоросли не переходили в водную среду при инкубировании, тем не менее, мы заметили, что увлажнение образцов и помещение их во влажную камеру за несколько часов перед микрокопированием заметно улучшает дальнейший анализ и облегчает приготовление микропрепаратов.

Обобщив полученные наблюдения, мы подобрали оптимальные условия для сбора и анализа образцов эпифитных водорослей. К ним относятся: сбор образцов на высоте 30-50 см, которая определяется видом дерева, и увлажнение за несколько часов до микрокопирования.

3.2 Изменения водорослевых сообществ в зависимости от условий произрастаний деревьев, на которых они обитают.

Нами были проанализированы водорослевые сообщества, которые образовывали налет на коре ели обыкновенной, сосны обыкновенной и березы повислой в черте города Дубны.

3.2.1. Водоросли – эпифиты на коре ели обыкновенной

Как видно из данных, представленных в таблице 1 и рисунка 2, водорослевые сообщества на ели лесной и городской области исследования разительно отличались. Интересно, что видовой состав водорослей, обитающих на коре деревьев, растущих в условиях загрязненного воздуха (на ул. Энтузиастов и на ул. Боголюбова), был гораздо богаче, чем в ценозах, образованных в лесной среде. Там были обнаружены представители 9 родов водорослей, относящихся к 3 отделам (Зеленые, Желто-Зеленые, Диатомовые). Доминирующими водорослями в эпифитных сообществах города были представители родов Стихококк и Табеллярия. Примечательно, что в этих образцах достаточно часто встречались водоросли родов Гетерококкус и Диатома, которые при биомониторинге водных экосистем являются показателями чистоты водоемов.

Таблица 1

⁸ Rindi, F., & Guiry, M.D., (2002). Diversity, life history, and ecology of Trentepohlia and Printzina (Trentepohliales, Chlorophyta) in urban habitats in western Ireland. Journal of Phycology, 2002, V.38, p. 39-54

Родовой состав эпифитных водорослевых сообществ с учетом частоты их встречаемости

Таксоны водорослей		Виды деревьев					
Отделы	Род водорослей	Ель обыкновенная		Сосна обыкновенная		Береза повислая	
		город	лес	город	лес	город	лес
Зеленые водоросли	Трентеполия	2	2	3		5	5
	Плеврококк		5			5	2
	Стихококк	5		3	2		
	Хлорелла	2			2		
	Космариум		3				
	Хлорококк			4	5		
Диатомовые водоросли	Табеллярия	4		2	3		3
	Навикула	3		2			2
	Цимбелла	3					1
	Диатома	4		2			1
	Ницшия	1					--
Желто-зеленые водоросли	Гетерококкус	3					

1-единично, 2- редко, 3-средняя частота встречаемости, 4- часто, 5- очень часто

В то же время, на коре деревьев, растущих в лесопарковой зоне, были встречены водоросли, относящиеся только к трем родам, из которых один (Плеврококк) был явной доминантой. При этом развитие собственно зеленого налета на деревьях было более интенсивным в лесной зоне (рис.3), т.е. количественно водорослей было больше именно там.

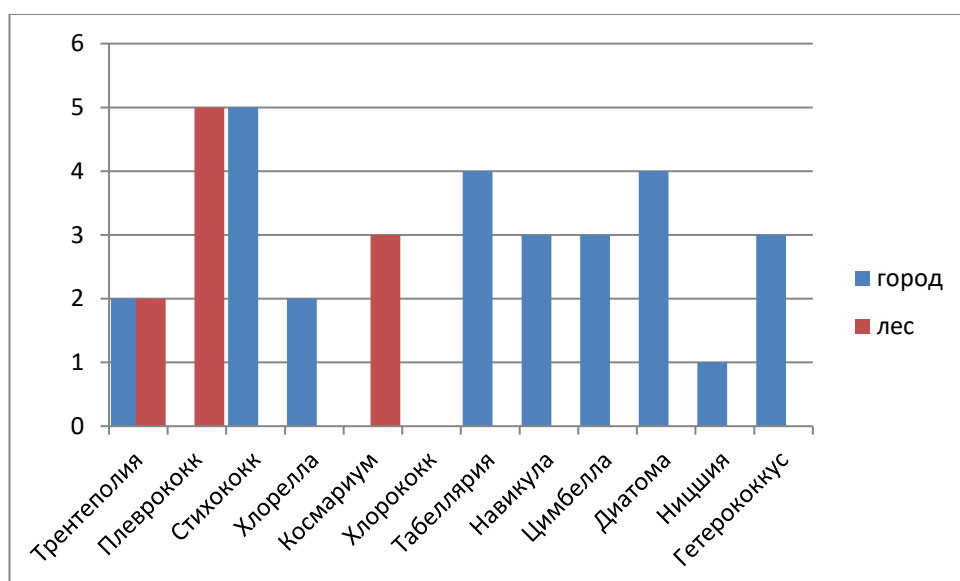


Рис.2. Частота встречаемости родов водорослей, растущих на коре ели в городской (синие столбцы) и лесной среде (красные столбцы)



Рис.3. Водорослевые налеты на ели обыкновенной в городской (А) и лесной (Б) зонах.

Таким образом, между образцами, взятыми в условиях загрязнения атмосферы и ее чистоты, была существенная разница. В первом случае наблюдается высокое видовое разнообразие водорослей, главным образом за счет представителей отдела Диатомовые, но малое их количество. Во втором – наоборот, малое видовое разнообразие (всего 3 рода) сопровождается высокой биомассой водорослей. Интенсивное развитие диатомей в условиях города связано, возможно, с тем, что эти водоросли нуждаются в высокой минерализации среды, которая достигается за счет загрязняющих атмосферу веществ.

3.2.2. Водоросли – эпифиты на коре сосны обыкновенной

Общая картина различий в водорослевых сообществах, растущих на сосне в городе и в лесу, была примерно такой, как и для еловых обрастаний (см. Таблица 1). Видовой состав водорослей в городской среде был выше, чем в лесной зоне. Это разнообразие достигалось за счет включения в сообщество диатомовых водорослей родов Табеллярия, Навикула, Диатома. При этом родовой состав водорослевых налетов на сосне был ниже, чем на ели (6 родов вместо 9). Также как и на еловых водорослевых сообществах, на сосновых наблюдались различия в родовом составе Зеленых водорослей, населяющих деревья в лесной и городской зонах. В городской среде превалировал род Хлорококк, встречались рода Стихококк и Трентеполия без явных признаков доминирования. В лесных насаждениях отсутствовали представители типично эпифитной водоросли Трентеполия, а явным доминирующим видом стал род Хлорококк.

3.2.3. Водоросли – эпифиты на коре березы

Для водорослевых налетов березы повислой была характерна ситуация обратная той, которая наблюдалась в сообществах на хвойных деревьях: наибольшее видовое разнообразие водорослей было зафиксировано для лесной зоны, и гораздо более бедное для городской. Водорослевые налеты на

деревьях города были представлены монопопуляциями: зеленый налет – Плеврококком, а коричневый Трентеполией. В лесу на берёзах появились Диатомовые водоросли, но их количество и разнообразие было гораздо меньше, чем на хвойных деревьях (см. Таблицу 1).

Суммируя наши результаты, мы можем видеть, что в водорослевых сообществах преобладают водоросли, относящиеся к отделам Зеленые и Диатомовые. Это, согласно литературным данным указывает на чистоту воздуха в г. Дубна.⁹ Свои дальнейшие исследования мы решили сосредоточить на типично наземной водоросли *Trentepohlia umbrina*.

3.3. Распространение *Trentepohlia umbrina* в разных местах обитания

Trentepohlia umbrina - одна из немногих водорослей, которая встречается только в наземных сообществах на деревьях или камнях, т.е. ее нельзя встретить в воде, или в почве¹⁰. Налет Трентеполии имеет красновато-коричневый оттенок разной интенсивности и поэтому он легко виден даже на красноватых стволах, таких как у сосны. Это позволяет легко идентифицировать эту водоросль и делает ее удобным кандидатом для биоиндикации и биомониторинга.

3.3.1 Распространение *Trentepohlia umbrina* в лесных массивах

Нами были проанализированы налеты водорослей сосны и березы, растущих в лесах, удаленных от больших городов и автомагистралей: в Тверской области, на берегу озера Селигер и в Псковской области, в 2 км от музея-усадьбы Михайловское.

На коре деревьев, растущих в сосновом лесу недалеко от деревни Светлицы (Осташковский район, Тверская область) водорослевые налеты отличались по своему видовому составу от тех, что мы наблюдали в Дубне. Характеризуя внешний вид налетов, мы можем сказать, что они были выражены гораздо слабее, чем в Дубне. На коре и сосны, и березы доминирующим родом был Плеврококк, встречались представители рода *Chlorella* и *Trentepohlia umbrina*, диатомовые водоросли отсутствовали. На березе Трентеполия встречалась гораздо чаще, чем на сосне. Тем не менее присутствие *Trentepohlia umbrina* на коре сосны являетсястораживающим признаком, т.к в настоящее время существует большое количество публикаций, указывающих на то, что эта водоросль растет на сосне только в случае щелочного загрязнения воздуха.¹¹¹²¹³ Это наблюдение позволило нам сделать вывод о том, что воздух около деревни Светлица, несмотря на ее

⁹ Дубовик И.Е., Климина И.П., Смирнова Н.Г. Влияние антропогенного воздействия водорослей в почвенной и наземно-воздушной среде// Вестник ОГУ, №6, 2009

¹⁰ Жизнь растений, 3 том, п/р Голлербаха

¹¹ L.MarmorP., Degtjarenko. *Trentepohlia umbrina* on Scots pine as a bioindicator of alkaline dust pollution //Ecological indicators, 2014, V.45, p. 717-720

¹² Bartoli F et al. Ecological and taxonomic characterisation of *Trentepohlia umbrina* (Kützing) Bornet growing on stone surfaces in Lazio (Italy)//Annals of Microbiology? 2019, V. 69, p.1059–1070

¹³ G. Liu et al.. Massive *Trentepohlia*-bloom in a glacier valley of Mt. Gongga, China, and a new variety of *Trentepohlia* (Chlorophyta)// PLoS One. 2012; 7(7)

удаленность от больших населенных пунктов и промышленных зон загрязнен соединениями, меняющими его рН в щелочную сторону. Мы предположили, что это может быть связано с интенсивным движением водного транспорта в этом районе (моторные лодки, катера с двигателями внутреннего сгорания). Однако наши дальнейшие наблюдения показали, что это не очевидно.

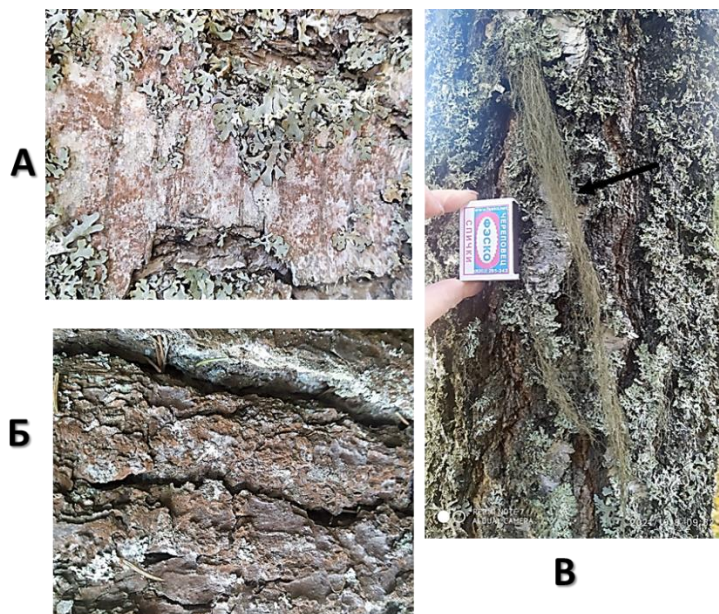


Рисунок 4. Налеты водоросли *Trentepohlia umbrina* на березе повислой (А и В) и сосне обыкновенной рядом с пос. Пушкинские горы, Псковская область. Стрелкой указан лишайник рода *Usnea* –показатель чистота воздуха

На коре сосны и березы, растущих в лесном массиве, около поселка Пушкинские горы (Псковская область) налеты Трентеполии были выражены гораздо сильнее, чем в Дубне, и у дер. Светлица (рис.4). В то же время это экологически чистый район: рядом с ним отсутствуют промышленные предприятия, большие населенные пункты, движение автотранспорта ограничено, а на исследуемой территории запрещено в связи особым охраняемым статусом (музей-заповедник). Об этом свидетельствует и развитие кустистых лишайников рода *Usnea* на коре деревьев (рис.4в)

Количественный анализ микропрепаратов показал, что в образцах, взятых в Псковской области, среднее количество клеток *Trentepohlia umbrina* в поле зрения составляет у сосны 38, у березы 2, в то время как в образцах из д. Светлица эти показатели равнялись 2 и 6 у березы и сосны соответственно. Мы предположили, что на развитие Трентеполии могут влиять факторы, не связанные с загрязнениями воздуха. Поэтому мы провели количественный анализ развития Трентеполии на коре деревьев в зависимости от условий роста водорослей, а именно от освещенности.

3.3.2. Количественный анализ развития *Trentepohlia umbrina* в зависимости от условий роста.

Нами был отмечен факт, что налет Трентеполии распределяется по стволу дерева неравномерно, независимо от вида дерева и места его роста (рис.5)

Поэтому мы сделали количественный анализ микропрепаратов Трентеполии, взятых из образцов, которые были собраны с одного и того же дерева, но с разных его сторон. Исследования проводили на сосне обыкновенной и березе повислой, растущих в лесу в 4 км от гор. Дубны, вдали от дорог и непосредственно рядом с шоссе Дубна-Дмитров. Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 6.

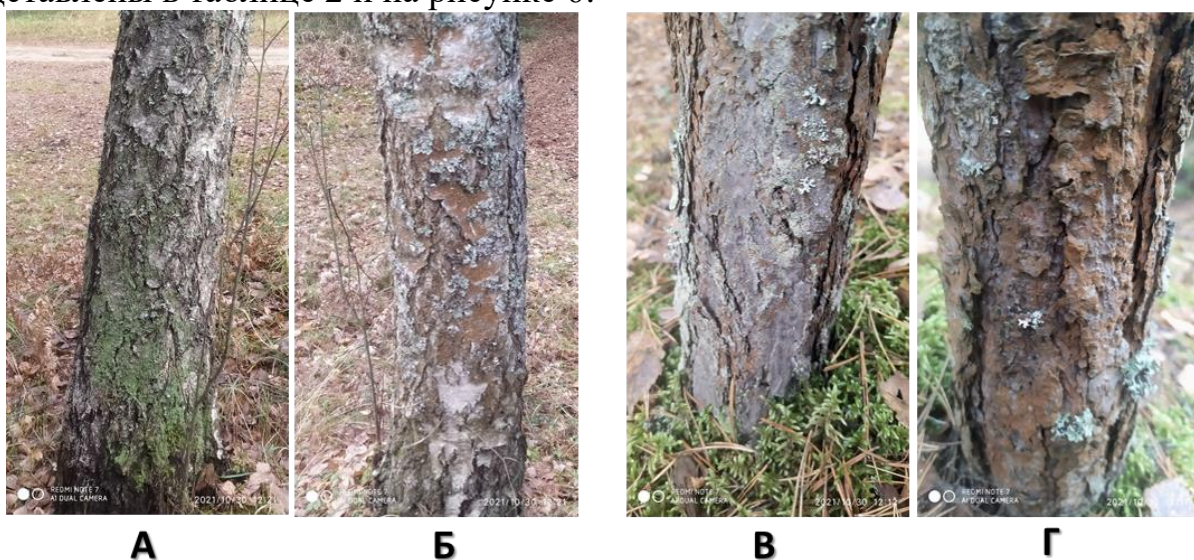


Рисунок 5. Развитие налетов *Trentepohlia umbrina* на березе (А, Б) и сосне (В,Г) в разных условиях освещенности: при высоком уровне (Б, Г) и низком (А, В). Фотографии одних и тех же деревьев, сделанные в лесу.

Таблица 2. Распространение *Trentepohlia umbrina* на коре деревьев в зависимости от ее освещенности

биотоп	количество клеток в поле зрения	
	береза повислая	сосна обыкновенная
лес, солнце	52	85
лес, тень	2	1
шоссе, солнце	34	21
шоссе, тень	3	0

Однозначно, есть разница в развитии водоросли на солнечной и теневой сторонах дерева: в условиях лучшей освещенности Трентеполия разрастается в гораздо более высокой степени. При этом, на теневой стороне деревьев были также отмечены водоросли, но уже других родов, т.е. в исследуемых условиях не происходило подавление развития альгоценозов, но менялся их состав. Чуть меньше выражена зависимость роста Трентеполии от вида

дерева. Что же касается влияния выхлопных газов на рост Трентеполии, то и на березе, и на сосне происходило снижение количества водорослевых клеток.

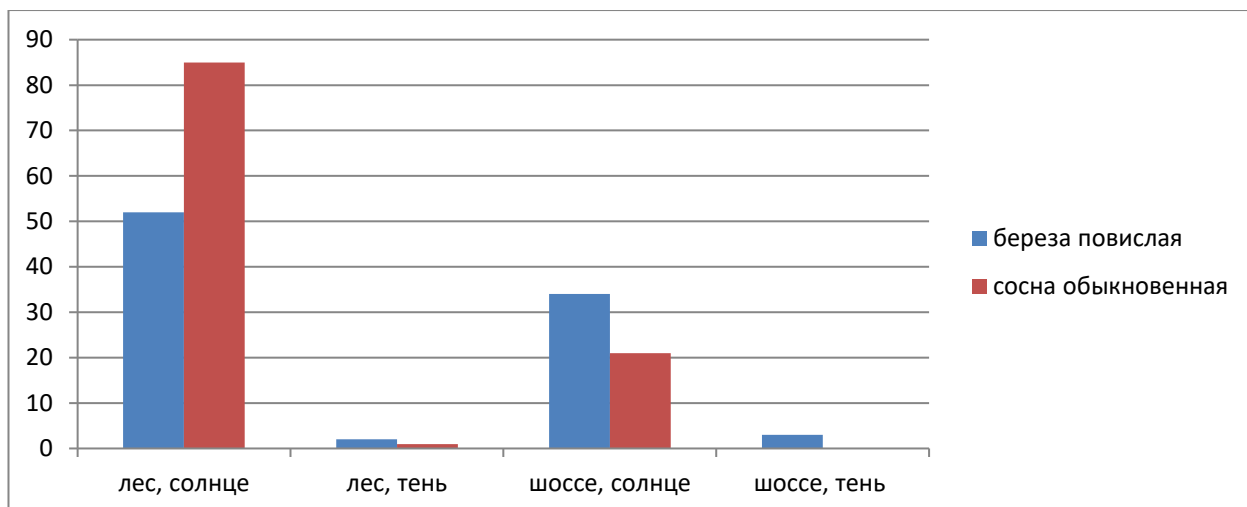


Рисунок. 6. Влияние условий произрастания деревьев на разрастания *Trentepohlia umbrina*

Кроме того, мы заметили изменения во внутреннем содержимом клеток Трентеполии, взятой с коры деревьев, растущих около дороги, или в лесу. Под микроскопом мы наблюдали, что в первом случае пигментно-масляные везикулярные структуры внутри клеток, которые и придают Трентеполии характерную коричневую окраску, выражены гораздо слабее, чем во втором (см. Рис.6). Возможно, что загрязняющие вещества городского воздуха изменяют метаболизм этой водоросли. Это приводит к снижению каротиноидов и масляных молекул в клетках, которое внешне проявляется в более слабом налете на коре деревьев, т.е снижает ее выживаемость в условиях антропогенного давления.

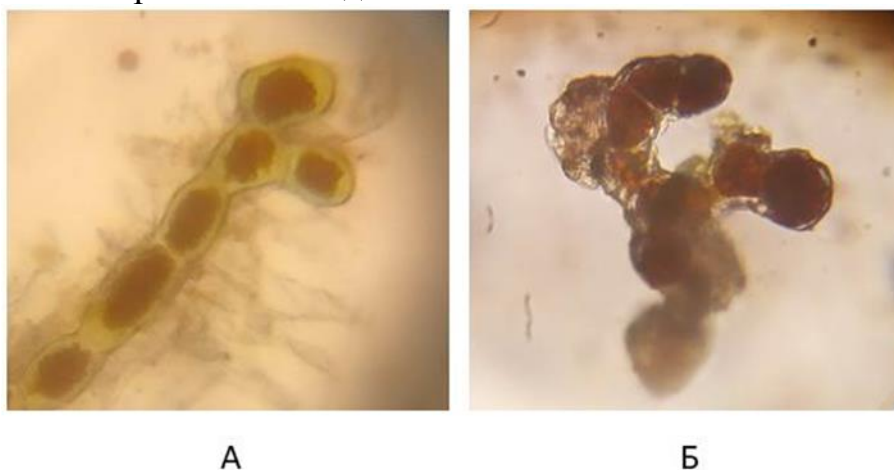


Рис.7. Микрофотографии Трентеполии, выделенной из водорослевых налетов березы повислой, растущей в около шоссе (А) и в лесу (Б).

Таким образом, развитие водорослевых ценозов на коре деревьев зависит от целого ряда факторов, которые надо учитывать при разработки методов биоиндикации и биомониторинга с использованием этих организмов.

ВЫВОДЫ

1. Сбор образцов для анализа эпифитной альгофлоры необходимо проводить на определенной высоте, которая зависит от вида дерева, на котором растут водоросли
2. Родовой состав водорослевых сообществ в городской и лесной зоне отличается, что делает их хорошими кандидатами для мониторинга качества окружающей среды
3. Наибольшее биологическое разнообразие было характерно для водорослевых налетов на коре ели обыкновенной, наименьшее - для сообществ, растущих на березе повислой
4. Увеличение родового разнообразия водорослей, растущих на хвойных породах, происходило за счет растений, относящихся к отряду Диатомовые водоросли
5. Для водоросли *Trentepohlia umbrina* была выявлена зависимость роста от условий освещенности: максимальный ее рост наблюдался при высокой освещенности
6. Близость деревьев к автомагистрали приводило к снижению роста *Trentepohlia umbrina* независимо от вида дерева.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы нами были проанализированы водорослевые налеты, образованные на деревьях ели обыкновенной, сосны обыкновенной и березы повислой, растущих как в условиях чистого воздуха, так и при его загрязнении выхлопными газами автомобилей. Было установлено, что существует достоверная разница между альгоценозами в этих условиях. Это говорит о том, что эпифитные водоросли могут использоваться, наряду с лишайниками, для оценки качества воздуха. Для мониторинга окружающей среды мы рекомендуем использовать следующие параметры развития эпифитных водорослей:

- Степень развития водорослевых налетов
- Цвет налета
- Высота, на которой он находится
- Родовой, или видовой, состав налета
- Микроскопические особенности клеток (размер, подвижность, морфология)
- Метаболические особенности водорослей (образование вторичных метаболитов, интенсивность фотосинтеза, дыхания, азотфиксации – для цианопрокариот).

При этом при отборе образцов следует учитывать освещенность стволов деревьев.

В дальнейшем мы планируем продолжить наши исследования в следующих направлениях:

1. Установление статистически достоверных корреляций между развитием налетов *Trentepohlia umbrina* и видом дерева, на котором она растет, расширив спектр изучаемых видов деревьев
2. Изучить морфологические особенности *Trentepohlia umbrina*, растущей в условиях разной антропогенной нагрузки
3. Сформулировать требования к сбору и анализу образцов налетов эпифитных водорослей и параметры развития *Trentepohlia umbrina*, которые можно использовать для достоверной биоиндикации окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие /Под. ред. проф. И.С. Белюченко, проф. Е.В. Федоненко, проф. А.В.Смагина. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с
2. Голлербах М.М., Штина Э.М. Почвенные водоросли, 1969
3. Дубовик И.Е., Климина И.П., Смирнова Н.Г. Влияние антропогенного воздействия водорослей в почвенной и наземно-воздушной среде// Вестник ОГУ, №6, 2009
4. Егорова И.Н. Эпифитная альгофлора Прибайкалья: видовое разнообразие и экологические особенности
5. Жизнь растений, 3 том, п/р Голлербаха
6. Определитель пресноводных водорослей СССР, М.-1951-1983
7. Bartoli F et al. Ecological and taxonomic characterisation of *Trentepohlia umbrina* (Kützing) Bornet growing on stone surfaces in Lazio (Italy//Annals of Microbiology? 2019, V. 69, p.1059–1070
8. Marmor L., Degtjarenko P. *Trentepohlia umbrina* on Scots pine as a bioindicator of alkaline dust pollution //Ecological indicators, 2014, V.45, p. 717-720
9. G. Liu et al.. Massive *Trentepohlia*-bloom in a glacier valley of Mt. Gongga, China, and a new variety of *Trentepohlia* (Chlorophyta)// PLoS One. 2012; 7(7)
10. Rindi, F., & Guiry, M.D., (2002). Diversity, life history, and ecology of *Trentepohlia* and *Printzina* (Trentepohliales, Chlorophyta) in urban habitats in western Ireland. *Journal of Phycology*, 2002, V.38, p. 39-54
11. Официальный портал наукограда Дубна <http://naukograd-dubna.ru/about/map?tab=tab57>
12. <https://www.algaebase.org>