

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экономики, управления и природопользования
Кафедра экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
С. В. Верховец
подпись
"___" _____ 20__ г.

МАГИСТРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Особенности влияния техногенного загрязнения воздушной среды на ель
сибирскую (*Picea obovata* Ledeb.)

05.04.06 Экология и природопользование
05.04.06.02 Общая экология

Руководитель



к.б.н, доцент

Н. В. Пахарькова

Выпускник



Е. П. Варочкина

Рецензент



д.б.н., в.н.с

И. Н. Третьякова

Нормоконтролер



И. Г. Гетте

Красноярск 2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Влияние загрязнения окружающей среды г.Красноярска на состояние ели сибирской *Picea obovata* L.» содержит 60 страниц текстового документа, 68 использованных источников, 11 рисунков, 10 таблиц.

ЕЛЬ СИБИРСКАЯ, ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ, ЭКОЛОГИЯ, ЗИМНИЙ ПОКОЙ, ХЛОРОФИЛЛ, ХВОЙНЫЕ, КРАСНОЯРСК.

Объектом исследования является ель сибирская произрастающая в районах города с различным уровнем загрязнения .

Цель работы заключается в определении особенностей влияния техногенного химического, теплового и светового загрязнения окружающей среды на ель сибирскую (*Picea obovata* Ledeb.).

В данной работе поставлены следующие задачи:

- провести морфологический анализ побегов ели сибирской из районов с разным уровнем загрязнения;
- определить влияние комплексного техногенного загрязнения на пигментный состав хвои ели сибирской первого года жизни в течение вегетационного периода;
- методами регистрации параметров быстрой и замедленной флуоресценции хлорофилла оценить вклад теплового и светового загрязнения в сезонные изменения активности фотосинтетического аппарата;
- определить влияние приоритетных загрязняющих веществ воздушной среды на хвою ели сибирской в исследуемый период.

Полученные результаты могут быть использованы для изучения особенностей влияния техногенного загрязнения окружающей среды на ель сибирскую.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Обзор литературы.....	6
1.1 Биоиндикация как метод оценки состояния окружающей среды.....	6
1.2. Особенности строения и распространения объекта исследования – ели сибирской (<i>Picea obovata</i> Ledeb).....	8
1.3. Промышленное загрязнение атмосферы	10
1.4 Влияние загрязнения воздуха на хвойные деревья	11
1.5 Основные загрязнители воздуха и их отрицательное воздействие на древесные растения.....	17
1.5.1 Пыль	17
1.5.2 Оксиды азота	19
1.5.3 Аммиак.....	20
1.6 Загрязнение атмосферного воздуха г. Красноярск.....	21
1.7 Флуоресцентные методы в оценке состояния растений	21
1.7.1 Структурная организация фотосинтетического аппарата	21
1.7.2 Флуоресценция хлорофилла	22
1.7.3 Замедленная флуоресценция хлорофилла как показатель состояния растений	24
1.7.4 Флуоресцентная диагностика зимнего покоя хвойных	27
2. Объекты, методы и район исследования	31
3. Результаты исследования	36
3.1 Влияние абиотических факторов на флуоресцентные показатели хвои ели сибирской.....	36
3.2 Влияние загрязнения на морфологические параметры и флуоресцентные показатели хвои ели сибирской.....	39
Заключение	46
Список использованных источников	48

ВВЕДЕНИЕ

В городской среде растения испытывают сильнейшую антропогенную нагрузку, в связи с плохим состоянием окружающей среды. В городской среде основными загрязнителями атмосферы являются промышленность и автотранспорт.

Многие древесные растения, используемые для озеленения города, должны выполнять гигиеническую функцию, уменьшать уровень шума и количество пыли в жилых и промышленных зонах, находятся в плохом состоянии. Вместо того, чтобы выполнять эстетическую функцию, украшая своим видом улицы, скверы, парки и дворы города, многие хвойные деревья огорчают жителей города пожелтевшей хвоей и сильно разреженной кроной.

Долгое время, находясь в зоне постоянного загрязнения, их многолетняя хвоя поглощает и накапливает большое количество поллютантов. Такие растения можно использовать для биоиндикации состояния окружающей среды, т.к. хвойные растения, поглощающие из воды, воздуха и почвы различные вещества, могут сохранять эти вещества в составе своей хвои. Поскольку хвоя ели живет не один год и в ней могут скапливаться поллютанты, по ней можно определить какие именно загрязнители воздуха присутствуют в данном районе города и как они влияют на растения. С другой стороны, оценка состояния хвойных насаждений позволит определить адаптационные возможности отдельных видов и, впоследствии, рекомендовать их для озеленения районов с тем или иным уровнем загрязнения.

Цель работы заключается в определении особенностей влияния техногенного химического, теплового и светового загрязнения окружающей среды на ель сибирскую (*Picea obovata* Ledeb.).

В данной работе поставлены следующие задачи:

- провести морфологический анализ побегов ели сибирской из районов с разным уровнем загрязнения;
- определить влияние комплексного техногенного загрязнения на пигментный состав хвои ели сибирской первого года жизни;

- методами регистрации параметров быстрой и замедленной флуоресценции хлорофилла оценить вклад теплового и светового загрязнения в сезонные изменения активности фотосинтетического аппарата;
- проследить динамику изменения содержания приоритетных загрязняющих веществ воздушной среды в исследуемый период.

1. Обзор литературы

1.1 Биоиндикация как метод оценки состояния окружающей среды

Биоиндикация – это метод обнаружения и оценки воздействия абиотических и биотических факторов на живые организмы при помощи биологических систем [1].

Многообразие поллютантов, которые уже сейчас исчисляются тысячами наименований, делает невозможным определение степени их токсичности лабораторными методами. Ввиду этого оценка качества среды становится узловой проблемой в области охраны природы, в частности в проведении мониторинга. В последние десятилетия для интегральной характеристики состояния среды стали интенсивно изучаться и применяться методы биологической оценки [2, 3, 4, 5, 6]

В соответствии с различными уровнями биологических систем существуют и различные уровни биоиндикации, от физиолого-биохимических и анатомо-морфологических до биогеоценотических и ландшафтных, но в основном используются первые уровни как более чувствительные [7, 8].

В настоящее время для оценки уровня загрязнения и его влияния на здоровье людей используется также система химико-аналитического контроля. Но эта система не дает объективной оценки влияния загрязнителей на человека и биоту. Первая проблема состоит в том, что химический анализ позволяет установить концентрации относительно небольшого числа потенциально опасных и уже известных мутагенных и токсичных веществ. Нет никакой гарантии, что именно тот компонент, концентрация которого не определена, не оказывает негативное влияние на биологические системы. Еще одна проблема – высокая стоимость процедуры химического анализа [9].

Далеко не каждый биологический объект может быть использован в качестве индикатора внешнего воздействия. Для этого он должен удовлетворять определенным требованиям, основные из которых — высокая чувствительность при низкой индивидуальной изменчивости; генетическая

однородность; наличие объектов, применяемых в целях биоиндикации, по возможности в большом количестве и с однородными свойствами; возможность существования в широком диапазоне экологических условий (экологическая пластичность); легкость идентификации в природе; высокая продолжительность жизни; воспроизводимость результатов, полученных при использовании конкретной тест-системы; комплексность с точки зрения возможности регистрации разных по механизмам возникновения биологических эффектов (мутагенных, токсических) на одном тест-объекте; оперативность получения информации [10, 11].

Следует также учитывать, что поллютанты, присутствующие в окружающей среде, могут быть разной — физической, химической, биологической — природы. Если ответная реакция клетки, сложной системы, на внешнее воздействие универсальна и отличается для разных организмов диапазоном доз, в котором проявляются определенные изменения биологических процессов, вызванные внешним воздействием, то действующие факторы, отличаясь своими физическими и химическими характеристиками, обладают специфичностью действия в том смысле, что могут вызывать разные первичные повреждения в клетке [12,13].

Одним из важнейших направлений биоиндикации выступает сегодня фитоиндикация, т.е. оценка состояния окружающей среды по реакции растений. Качественный и количественный состав атмосферы влияет на жизнь и развитие всех живых организмов. Присутствие вредных газообразных веществ в воздухе оказывает различное влияние на растения [14,15].

Бурный рост промышленности и автотранспорта ведет к значительному загрязнению природной среды, в первую очередь атмосферы [16].

Так как эволюция растительности совершалась в условиях достаточно чистого атмосферного воздуха, современные виды растений, в том числе хвойные, не обладают специфической приспособленностью к действию токсичных газов [17].

Удобными объектами для изучения влияния условий обитания являются виды хвойных. Хвойные рассматриваются в связи с возможностью круглогодичных наблюдений. При исследовании хвойных для биоиндикации используют разнообразные параметры (опадаемость хвои, ее пигментация, количество воска кутикулы, содержание фенолов, интенсивность фотосинтеза). Анализируется окраска хвои (нарушение пигментации), количество воска, содержание фенольных соединений. Соединения фтора дают специфическую реакцию хвои, побеление листовой пластинки у основания, и последующее потемнение, связанное с некрозом, уменьшается площадь листьев у хвойных и лиственных [14].

Вредное влияние загрязненного воздуха на растения происходит как путем прямого действия газов на ассимиляционный аппарат, так и путем косвенного влияния через почву. Причем прямое действие кислых газов приводит к отмиранию отдельных органов растений, ухудшению их роста и урожайности [6].

Опыт оценки качества среды обитания имеет большое значение для науки. Теоретическая важность таких исследований состоит в том, что они, наряду с экспериментами в лабораторных условиях, дают возможность совершенствовать знания о механизмах и закономерностях формирования реакции биологических систем на совместное действие факторов разной природы, способствуют разработке корректных, научно обоснованных критериев и методов оценки опасности загрязнителей окружающей среды, позволяют выработать единые методологические подходы, используемые для защиты окружающей среды [1].

1.2. Особенности строения и распространения объекта исследования – ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb)

Picea obovata - образует приречные и горные леса расположенные по всей южной части Сибири, в пределах своего ареала она произрастает достаточно неравномерно. Наибольшие массивы сосредоточены в северо-восточных

районах европейской части России. Здесь ее ареал образует бореальную область темнохвойных лесов [19, 20].

Леса в которых доминирует ель сибирская, в этом регионе, покрывают обширные территории с небольшим перепадом высот [21].

Ель является наиболее теневыносливым растением. Растёт она чаще всего на влажной глинистой почве. Ель обладает самой тёмной хвоей по цвету из всех хвойных, короткая, жёсткая, сидит на ветвях поодиночке, но очень плотно, почему ель и даёт густую тень. Ель достигает высоты 30 – 40 м, а ствол её достигает в диаметре до 1 м. Стволы взрослых елей серо-коричневого цвета и покрыты корой, состоящей из мелких чешуек. Корни у елей хоть и разрастаются широко в стороны, но расположены неглубоко, у самой поверхности земли, вследствие чего еловые деревья легко может повалить. Цветение ели происходит в мае, в это время на концах её ветвей появляются шишечки. Шишечки двух видов: одни из них маленькие, красно-жёлтого цвета, другие более крупные, малиново-красные. Созревшие шишки у ели продолговатой формы, на дереве висят вниз. В сухую ветреную погоду с октября или в марте чешуйки шишек раздвигаются и из них высыпаются семена, снабжённые крылышками [22].

Состав растительности и географическое распределение ели обуславливаются тепловым режимом. Умеренный климат лесной зоны является благоприятным для произрастания таежных растений, таких как ель. К теплу ель не требовательна, но в раннем возрасте очень чувствительна к заморозкам, особенно если они происходят поздней весной, они нередко задерживают ее рост, что ухудшает качество древесины, так как страдают от заморозков обычно молодые, еще недревесневшие, богатые водой побеги, особенно у молодых елей, произрастающих на свободе [23,24]. Довольно часто обмерзание захватывает крону старых деревьев. Урон ели могут приносить и высокие температуры. Вредное действие высоких температур проявляется в нарушении правильного соотношения физиологических функций, состояния плазмы вследствие сворачивания коллоидов (особенно белков). Жизнедеятельность

корней у ели начинается уже при температурах почвы 5 - 6°C, в то время как рост побегов происходит лишь при температуре 7 - 10°, а цветение - при еще более высоких температурах [25,26].

Световой режим определяет огромное количество процессов в жизни ельников: их строение, накопление пластических веществ, продуктивность и др. Установлены значительны различия в количестве потребляемой растениями световой энергии на те, или другие протекающие в них процессы. К примеру, для образования хлорофилла вполне достаточен слабый свет, а для разложения углекислого газа нужен более сильный [27].

1.3.Промышленное загрязнение атмосферы

На данный момент основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Доля каждого из перечисленных источников в загрязнении воздуха может сильно варьироваться в зависимости от места.

Источники загрязнений, такие как: теплоэлектростанции, бытовые котельные, которые наряду с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ; металлургические предприятия, в особенности предприятия относящиеся к цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух окислы азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка. Являющиеся вредными газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов [14].

На данный момент трудно дать полную характеристику всех поллютантов, так как их количество и удельный вес в загрязненном воздухе стремительно изменяются, в результате взаимодействия веществ постоянно происходит образование новых химических соединений, зачастую даже более токсичных, чем исходные компоненты [18].

По своему химическому составу, с учетом токсического действия на растения, вредоносные соединения можно разделить на: кислые газы, являющиеся наиболее токсичными для растений, в том числе и хвойных (фтор, хлор, сернистый и серный газы, оксиды азота, угарный газ, оксиды фосфора, сероводород); пары кислот (соляной, азотной, хлорной, фосфорной, серной и органических, туман серной и соляной кислот); оксиды металлов (свинца, мышьяка, селена, цинка, магния и других); щелочные газы (аммиак); пары металлов (ртуть); различные органические газы и канцерогенные вещества (предельные и непредельные углеводороды, фенол, четыреххлористый углерод, сероуглерод и др.).

Характер воздействия различных кислых газов и паров кислот, сходен и заключается в нарушении физиолого-биохимических процессов в результате подкисления протоплазмы клетки, что может являться причиной прекращения фотосинтеза, а также усиления деятельности окислительных процессов. Пары кислот неизменно вызывают появление ожогов на поверхности листьев, являются причиной появления на поверхности листа хлорозов и некрозов.

Аммиак, как и кислые газы, проникая в мезофилл, может наносить урон, своим присутствием подщелачивая клеточную среду и нарушая транспорт электронов в клетке.

Воздушная среда вблизи многих промышленных предприятий, в том числе алюминиевых заводов, характеризуется наличием целого комплекса загрязнителей, действующих одновременно и наносящих достаточно серьезный вред растениям. В таких условиях можно ожидать изменения фитотоксической активности выбросов в сторону ее усиления или ослабления. Обычно выделяют четыре типа воздействия смесей токсикантов: суммацию (аддитивный эффект), синергизм, доминирование и антогонизм [28].

1.4 Влияние загрязнения воздуха на хвойные деревья

Предприятия относящиеся черной и цветной металлургии, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной и химической

промышленности, теплоэлектростанции, автотранспорт относятся к основным , и наиболее агрессивным, источникам выбросов кислых газов в атмосферу. Среди последних двуокись серы, сероводород, окислы азота, хлор, фтороводород, выделяются как наиболее сильные загрязнители для живых организмов и растений в частности.

При влиянии различных доз загрязнителей на растения можно выделить четыре основных типа повреждений, отличающихся по характеру и глубине расстройства метаболизма: острое, капельно-ожоговое, кумулятивное и скрытое. Острые повреждения вызываются действием очень высоких концентраций токсикантов. Поражение развивается довольно быстро, в течение нескольких часов (дней) и появляется в виде хлороза с последующим появлением некроза тканей хвои или всего побега. У сосны при остром поражении хвоя имеет свойство опадать также относительно быстро, тогда как у ели сохраняется на ветвях в течение довольно длительного времени, даже если при этом уже имеет хлорозы. Если при повреждении хвои двулетние побеги сосны сохраняют жизнеспособность, в их вершинной части из находящихся в покое почек развиваются плотно расположенные группы коротких ауксибластов. Хвоя на них имеет вид обособленных пучков [28]. Кислые газы, поступая в клетку через кутикулу и устьица, могут в значительных количествах накапливаться в хлоропластах и приводить к подавлению процесса фотосинтеза. Капельно-ожоговые повреждения в отличие от острого поражения, охватывающего всю хвоинку и возникающего по всей кроне или по большей ее части, проявляются в виде некротических точек или более крупных пятен, перепоясывающих хвоинку и постепенно расширяющихся, наиболее часто возникают при высокой влажности воздуха [28]. Чаще всего на упругих хвоинках с сильно развитой кутикулой послеожоговый некроз наблюдается в апикальной части, затем распространяется к основанию. Кумулятивное повреждение развивается при длительном воздействии низких концентраций загрязнителей. Для данного типа повреждений характерным является стойкое нарушение основных

метаболических процессов, внешне проявляющееся в уменьшении размеров и массы хвои, преждевременном их опадении, изреженности и суховершинности крон деревьев, уменьшении роста и раннем старении. Кумулятивное повреждение со временем приводит к избыточному накоплению загрязнителей в ассимиляционных органах и появлению некротических изменений.

Вышеперечисленные типы повреждений определяются визуально и с помощью морфологического анализа. Скрытые повреждения вызываются, в основном, довольно низкими концентрациями поллютантов, действующими на протяжении довольно длительного времени. К таким повреждениям относятся нарушения: физиолого-биохимических процессов (увеличение проницаемости мембран, изменение активности ряда ферментов, ингибирование фотосинтеза и т. д.). Аккумуляция скрытых повреждений приводит к снижению роста и продуктивности растений, потере сопротивляемости к климатическим факторам, патогенным микроорганизмам и насекомым. Латентные повреждения могут являться обратимыми, они не ведут к стойкому и бесповоротному расстройству метаболизма, и после прекращения действия загрязнителя нормальная жизнедеятельность растений со временем восстанавливается. Основной путь поступления токсикантов в растение - поглощение их в процессе газообмена через устьица и клетки эпидермиса листьев или неодревесневших побегов. Поглощенные загрязняющие вещества растворяются в пленочной воде на поверхности листьев, и образующиеся ионы проникают через кутикулу к клеткам эпидермиса. Далее происходит миграция по свободному пространству к соседним клеткам мезофилла и проводящим сосудам, по которым разносятся в другие клетки и органы. При проникновении поллютанта в клетку защитная реакция будет направлена прежде всего на его выведение или изоляцию. Наиболее распространенными механизмами детоксикации являются нейтрализация посредством синтеза ионов противоположного знака, вовлечение в реакции с участием ферментов, образование конъюгатов. Другой путь уменьшения вредного влияния токсического вещества - выведение его из организма во внешнюю среду,

например, путем десорбции листьями, вымывания осадками, выделения корнями, а также при дефолиации и с транспирационной водой. Кроме того, существует возможность снижения активности поллютантов путем их консервации в мертвых или слабофункционирующих тканях.

Самая низкая устойчивость хвойных к кислым поллютантам по сравнению с лиственными породами в наибольшей степени выражена по отношению к фтору [29]. Фитотоксичность его определяется сочетанием ожогового воздействия и отравлением в результате накопления в органах и тканях. Повышенная чувствительность хвойных к фтороводороду связана с длительным сроком жизни хвои и поглощением газа, вследствие чего развивается довольно обширное повреждение кроны, уменьшается поверхность ассимиляции. Ко всему прочему, высокая чувствительность зимне-зеленых хвойных определяется довольно слабым развитием запасующих тканей и, в результате, недостаточным накоплением резервных веществ, а также невысокой способностью к регенерации. Из числа признаков повреждения хвойных чаще всего можно наблюдать сокращение продолжительности жизни хвои, ее массы (опадение, ожог, уменьшение длины) и, в результате, значительную изреженность крон, снижение линейного и радиального прироста [18]. Воздействие задымления сокращает плодоношение хвойных пород, уменьшает размер их шишек и семян, резко снижая всхожесть семян. Процессы ослабления, развития болезни и отмирания дерева протекает у различных видов хвойных по-разному. У ели гораздо позднее, чем у других хвойных, появляются внешние признаки повреждения (хлороз и некроз хвои), медленно происходит и физиологическое ослабление. В то же время эта порода характеризуется наименьшей продолжительностью периода от необратимого ослабления деревьев до их полного усыхания. У сосны уровень внешнего повреждения соответствует физиологическому состоянию дерева, а период усыхания растения может быть продолжительным [28, 29].

Большее количество фтора в хвое сосны накапливается в зимние месяцы. К началу вегетационного периода оно понижается и минимально в мае-июле, а

к концу вегетации вновь возрастает [28, 30]. Подобную динамику накопления фтора можно объяснить прежде всего особенностями сезонных физиологических изменений в растении. На фоне прекращения ростовых процессов и относительной стабилизации содержания сухого вещества хвои в зимний период сохраняющийся (хотя и очень слабый) газообмен способствует накоплению в ней токсиканта. В весенние и летние месяцы при качественном изменении метаболизма происходит отток фтора из хвои с метаболитами в ткани ствола и корней, некоторая часть его выводится с транспирационной водой, а также вымывается дождями. Отрицательное действие фторидов на фотосинтетический аппарат растений связано с ингибированием ранних стадий синтеза пигментов, распадом хлорофилла и каротиноидов, а также с деструкцией хлоропластов. При воздействии малых концентраций фтора у лиственницы содержание хлорофилла чуть выше контроля (по-видимому, это следствие защитной реакции дерева на действие фактора, понижающего его фотосинтетическую активность). Заметное падение концентрации хлорофилла происходит при повреждении 10% кроны, а при дальнейшем увеличении количества некротизированной хвои у деревьев содержание пигментов в остальной хвое почти не изменяется и составляет около 75% от контроля. У сосны первоначальное действие фтористого водорода приводит к заметному увеличению количества зеленых пигментов. При повреждении 10% хвои уменьшение содержания хлорофилла было незначительным, и лишь у сильно поврежденных деревьев оставшаяся хвоя содержит пигментов на 30% меньше, чем в контроле. Первоначальной реакцией ели на действие фтороводорода является небольшое снижение содержания зеленых пигментов, а при последующем распространении повреждения в кроне оставшаяся хвоя по уровню пигментов практически не отличается от контрольной [28,31].

Соединения серы, и в первую очередь сернистый газ, также отрицательно влияют на рост и продуктивность растений. Листопадная лиственница менее чувствительна, чем ель и сосна, что связано с большей продолжительностью воздействия газа на хвою последних. В условиях периодического задымления

сернистым газом сосна погибает, поскольку хвоя полностью в течение нескольких лет отмирает. В условиях постоянного слабого задымления отмирание хвои сосны начинается при достижении содержания серы в 0,3-0,5% (в пересчете на сухой вес), тогда как лиственница не имеет никаких признаков повреждения при накоплении серы до 1%. Поступающий в листья в небольших количествах сернистый газ может окисляться до малотоксичных сульфатов, используемых растением как элемент питания. При этом содержание серы в листьях вечнозеленых растений может быть в 3-4 раза больше нормального. При повышенной концентрации сернистого ангидрида это превращение осуществляется лишь частично, вследствие чего неокисленный сернистый ангидрид оказывает губительное воздействие на клетки мезофилла. В связи с этим в пригородных и городских насаждениях происходит усыхание сосны и ели в результате неполного охвоения их крон. Последнее обусловлено сокращением продолжительности жизни хвои, причем у сосны вместо пяти лет хвоя живет всего 1-2 года, а у ели вместо семи лет - 1-3 года.

Механизм поступления двуокиси серы внутрь хвои сходен с таковым для фтора, т.е. с поверхности листа токсикант проникает в клетки мезофилла через устьица и кутикулу. Скорость поглощения двуокиси серы через устьица является одним из важных факторов чувствительности растений к загрязнению воздуха и зависит от интенсивности газообмена у растений. Некоторое количество двуокиси серы может проникать в хвою через кутикулу, путем растворения в липофильной фазе. Кроме того, токсические вещества могут проникать внутрь листа и через поврежденную кутикулу, т.к. кутикула хвои сосны, растущей в условиях значительного загрязнения воздуха, истончается. Количество серы в хвое сосен, растущих в условиях атмосферного загрязнения, в течение года неодинаково: максимум отмечен в марте-апреле, минимум в июле-августе. У хвои сосны в первую очередь повреждаются клетки, расположенные около устьиц или лежащие рядом с эпидермой и соприкасающиеся с межклеточным пространством. Затем повреждение распространяется на внутренний мезофилл. Проникающая в клетки двуокись

серы вызывает устойчивое снижение активности фотосинтеза за счет ингибирования отдельных его звеньев, разрушением пигментов и превращением хлорофилла в феофитин. В освещенных хлоропластах мезофилла окисление двуокиси серы сопровождается восстановлением феррицианида или НАДФ. По всей вероятности, это происходит в цепи транспорта электронов фотосистемы 2.

Изменения в пигментном комплексе под влиянием загрязнения происходят главным образом за счет снижения содержания Хл «b», количество же Хл «a» снижалось в меньшей степени. Это в свою очередь свидетельствует о том, что в хлоропластах хвои уменьшается количество светособирающих комплексов, играющих важную роль в процессе фотосинтеза. Обнаружено уменьшение размеров хлоропластов, менее развитая система гран и тилакоидов у хвои из районов, подверженных аэротехногенному загрязнению. Эти изменения в пигментном комплексе снижают фотосинтетическую активность, что, в свою очередь, отрицательно влияет на накопление в растении ассимилянтов и, в конечном итоге, на рост и продуктивность [28].

1.5 Основные загрязнители воздуха и их отрицательное воздействие на древесные растения

1.5.1 Пыль

Пыль, представляет собой взвешенные в воздухе или оседающие на поверхности тех или иных объектов твердые частицы наземного (в том числе промышленного), вулканического, органического или космического происхождения. Наибольшей фитотоксичностью обладают пылевые выбросы алюминиевых заводов, электростанций, металлургических предприятий, асбестовых, цементных заводов, предприятий бытовой химии и ряда других, также довольно токсичной является пыль выбрасываемая автомобильным транспортом. В общем объеме антропогенных выбросов промышленная пыль разнообразных производств составляет всего 10% и более, но последствия ее токсического действия подчас бывает трудно оценить [32].

Степень отрицательного воздействия промышленной пыли на растения зависит от целого ряда факторов, среди которых основными являются ее химический состав и растворимость в воде, скорость оседания пылевых частиц и продолжительность удерживания их на поверхности, возможность образования воздухо непроницаемых корок.

Токсическое действие промышленной пыли оказывает на растения прямой и косвенный эффект. Прямой эффект обычно связан с наличием острых повреждений, вызванных тремя типами фитотоксических воздействий: механическим, физическим, химическим [32].

Механическое воздействие пыли оценивается не только количеством пыли осевшей на надземных органах растений, но и характером распределения пылевых частиц на листовых пластинках. При этом важно учитывать связь осевшей пыли со структурными элементами листа – устьицами, через которые осуществляется газообмен растений. Твердые частицы обычно распределяются по поверхности очагами, скапливаясь на кончике листа и по его периферии. Механическая закупорка твердыми частицами устьичной щели может нарушить устьичную регуляцию и соответственно процессы газообмена и транспирации [11].

Физическое действие пыли может проявиться в изменении оптических свойств света, проходящего через слой пыли. Это приводит к резкому повышению адсорбции длинноволнового излучения. В результате запыленные листья суммарно поглощают больше лучистой энергии за счет инфракрасного излучения, что приводит к повышению температуры запыленных листьев. Чем плотнее слой пыли, тем выше температурный градиент листа, а, следовательно, больший расход воды на транспирацию. Повышение транспирации приводит к усиленному расходованию запаса влаги из корнеобитаемого слоя почвы и при ограниченном запасе влаги в засушливые периоды способствует установлению глубокого водного дефицита. Повышение температуры запыленных листьев в сочетании с водным дефицитом является причиной подавления

фотосинтетической активности и других физиологических функций растений [32].

Химическое действие пыли обусловлено фитотоксичностью составляющих ее частиц и их растворимостью в воде, гидратированной из воздуха или транспирационной, присутствующей на поверхности листа [22]. Проникая через устьица или кутикулярные покровы во внутренние ткани листа, растворы солей, обычно в виде ионов, вызывают разнообразные структурные повреждения тканей и зеленых пигментов [33].

Косвенный эффект воздействия промышленной пыли всегда бывает трудно оценить, так как повреждения проявляются обычно по прошествии длительного времени, носят хронический характер и часто скрыты от глаз наблюдателя. Это объясняется тем, что депрессирующее влияние пыли может сказываться на разнообразных компонентах растительных ценозов, приводя к угнетению их роста, возникновению морфологических аномалий, исчезновению неустойчивых видов, изменению химического состава почв, гибели микрофлоры и прочее [8].

Пыль сильно ослабляет газообмен, процессы дыхания и фотосинтеза, вызывает угнетение растений и затрудняет их рост, снижает продуктивность и скорость возобновления, упрощает породный состав в результате исчезновения неустойчивых видов сообщества [32].

1.5.2 Оксиды азота

Среди них наиболее распространенными загрязнителями воздуха являются оксид азота $\text{NO}(\text{II})$ и диоксид азота $\text{NO}_2(\text{IV})$.

Оксид азота NO – бесцветный тяжелый газ, кислородом воздуха окисляется до диоксида азота.

Диоксид азота NO_2 - газ коричнево-бурого цвета (плотностью 1,49 кг/м³), который, реагируя с влагой воздуха, превращается в азотную и азотистую кислоты. Время жизни NO_2 в атмосфере около 3 суток. NO_2 обуславливает фотохимическое загрязнение атмосферы, поскольку реагирует с

другими веществами: с диоксидом серы SO_2 , кислородом, углеводородами. Диоксид азота в пять раз токсичнее оксида азота. В атмосфере оксид и диоксид азота находятся в динамическом равновесии, превращаясь друг в друга в результате фотохимических реакций, в которых участвуют в качестве катализатора. Их соотношение в воздухе зависит от интенсивности солнечного излучения, концентрации окислителей и других факторов [34].

Оксиды азота вызывают сходные с диоксидом серы физико-биохимические повреждения у древесных пород.

В городском воздухе, в зонах с повышенным содержанием окислов азота, наблюдается «позеленение» стволов и нижних ветвей деревьев, что способствует интенсивному разрастанию на коре деревьев мелких водорослей зеленого цвета. Они получают необходимое им обильное азотное питание непосредственно из воздуха. На листьях появляются темно-коричневые или темные почки, расположенные между жилками и по краю листа. В концентрациях более 2 мг/м^3 вызывают глубокие повреждения листьев. Отличительной особенностью их являются буровато-черные участки, чаще всего у вершины и у периферии листовой пластинки [21,35].

1.5.3 Аммиак

Аммиак для растений менее токсичен, чем сернистый газ, однако при длительном воздействии даже низких его концентраций обнаруживаются заметные признаки повреждения растений.

Повышенные концентрации аммиака вызывают появление темных, почти черных, пятен некрозов на обеих поверхностях листа, опадание листьев .

Физиология. Биохимические и структурные изменения мембран могут происходить под действием образующегося из диоксида азота NH_3 , не включенного в аминокислоты. NH_3 ингибирует фотосинтез путем разобщения электронного транспорта и приводит к структурным нарушениям [32, 36].

1.6 Загрязнение атмосферного воздуха г. Красноярск

По данным за 2013г. город Красноярск находится на 11 месте по объемам выбросов. Уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивается по 26 показателям, из которых 16 загрязняющих веществ определяются в лаборатории Среднесибирского УГМС по мониторингу загрязнения атмосферного воздуха [37].

В соответствии с отчетами Красноярского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями (ЦГМС-Р) приоритетными для города загрязняющими веществами являются бензапирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота, среднегодовые концентрации которых превышают гигиенические нормативы и создают «высокие» и «очень высокие» (за последние 5 лет) уровни загрязнения.

Согласно полученным результатам, при неблагоприятных метеорологических условиях территория города Красноярска полностью находится в зоне загрязнения атмосферного воздуха создаваемой дымовыми трубами объектов теплоэнергетики — приземная концентрация пыли неорганической, содержащей от 20 до 70% диоксида кремния составляет от 0,2 до 2,8 ПДК, сажи — от 0,1 до 0,5 ПДК, диоксида азота, группы суммации диоксидов и серы — от 0,1 до 0,5 ПДК. Максимум концентраций смещен в восточную часть города, поскольку обусловлен выбросами исключительно Красноярской ТЭЦ-1. Всего объекты теплоэнергетики (10 крупнейших) выбрасывают в атмосферу более 17000 тонн угольной золы (пыли неорганической) и сажи. Соответственно элементарный расчёт даёт оценку массе пыли, осевшей на городскую территорию — $17000 \text{ тонн} \times 2/3 = 11330 \text{ тонн}$ в год [38,39].

1.7 Флуоресцентные методы в оценке состояния растений

1.7.1 Структурная организация фотосинтетического аппарата

Фотосинтетический аппарат высших растений является основным звеном, определяющим их энергообмен и биологическую продуктивность. Первичные

реакции запасаения энергии света совершаются в мембранной системе хлоропластов – тилакоидах и протекают с участием пяти молекулярных комплексов (светособирающий пигментный комплекс, комплексы первой и второй фотосистем, комплекс цитохромов и сопрягающий комплекс), которые пространственно локализованы и их взаиморасположение достаточно лабильно [41].

Комплекс фотосистемы 1 и сопрягающий фактор локализованы в стромальных тилакоидах и тилакоидах гран, контактирующих со стромой. Светособирающий комплекс и большая часть фотосистемы 2 расположены в тилакоидах гран. По-видимому, структурная организация гран, где сосредоточены светособирающий комплекс и большая часть фотосистемы 2 с системой фотоокисления воды, создает благоприятные условия для процессов запасаения энергии. Высокая концентрация этих комплексов облегчает их взаимодействие и обеспечивает освобождение большого количества протонов при нециклическом транспорте электронов. Небольшой объем внутритилакоидного пространства благоприятен для создания градиента рН. Возникающий градиент протонов может быть использован сопрягающим фактором, расположенным в нестекированной части тилакоидов. Расположение сопрягающего комплекса в мембранах тилакоидов, контактирующих со стромой, вероятно, необходимо для быстрого использования прдуктов световой стадии – АТФ и НАДФ – в восстановлении углекислого газа, протекающего в строме [42].

1.7.2 Флуоресценция хлорофилла

Характер изменения первичных стадий фотосинтеза непосредственно отражается в изменении флуоресценции хлорофилла в фотосинтетических мембранах клеток. Для понимания этой взаимосвязи достаточно напомнить, что поглощение кванта света переводит молекулу хлорофилла в электронное возбужденное состояние, энергия которого в растворе при отсутствии фотосинтеза переходит либо в тепло, либо в флуоресценцию. В

фотосинтетической мембране энергия электронного возбуждения хлорофилла используется в реакционных центрах (РЦ) для генерации потока электронов в первичных стадиях фотосинтеза, необходимых для восстановления НАДФ и образования АТФ. Напомним, что первичные процессы фотосинтеза высших растений осуществляются при участии двух фотосистем, функционирующих последовательно. Фотосистема II разлагает воду с выделением свободного кислорода и отдает электрон через цепь переносчиков на фотосистему I, которая уже восстанавливает НАДФ [43,44]. В клетке в основном флуоресцирует хлорофилл, принадлежащий фотосистеме II, и именно изменения его флуоресценции говорят о состоянии реакционных центров этой фотосистемы. При активном фотосинтезе, когда все РЦ находятся в открытом рабочем состоянии, в условиях слабого освещения почти вся поглощенная энергия света используется в процессе фотосинтеза. Поэтому интенсивность флуоресценции хлорофилла в клетке намного ниже, чем в растворе [45].

Однако и здесь небольшая часть энергии электронного возбуждения (не более 3%) переходит в энергию света флуоресценции в виде так называемой фоновой флуоресценции F_0 . Как правило, в нормальных условиях величина F_0 мала, что говорит об активном использовании клетками энергии поглощенного света. Но если при каких-либо воздействиях нарушается состояние фотосинтетических мембран, то центры (РЦ) переходят в неактивное (закрытое) состояние, когда происходит прекращение потока электронов в первичных процессах фотосинтеза. В этих условиях поглощенная энергия света уже не может использоваться в фотосинтезе, поэтому и флуоресценция хлорофилла возрастает. Можно полностью вывести из рабочего состояния РЦ, например при действии ингибитора потока электронов диурона [43,44]. В этом случае флуоресценция сильно возрастает и приближается к своим максимальным значениям F_m . Заметим, что закрыть центры можно создавая также избыточную освещенность клеток, когда происходит световое насыщение фотосинтеза. Фотосинтетическая цепь переноса электрона как бы

захлебывается от избытка поглощенной световой энергии, переводя все большую часть поглощенной энергии света в флуоресценцию.

Можно найти разницу между интенсивностями флуоресценции хлорофилла при закрытых и открытых РЦ ($F_v = F_m - F_0$), которую называют переменной флуоресценцией (F_v) хлорофилла в клетках. Как видно, величина F_v соответствует той части энергии света, которая используется открытыми реакционными центрами в фотосинтезе, то есть может характеризовать активность начальных стадий фотосинтеза. На практике оценивают отношение F_v / F_m , величина которого тесно связана с первичной продуктивностью фитопланктона в природных водоемах. Она хорошо коррелирует с фотосинтетической продукцией клеток, определенной классическими методами по восстановлению CO_2 с помощью радиоактивных изотопов ^{14}C .

1.7.3 Замедленная флуоресценция хлорофилла как показатель состояния растений

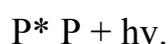
Другим источником информации о характере функционирования фотосинтетического аппарата является процесс замедленной флуоресценции (ЗФ), обнаруженный Арноном и Стреллером в 1951 году. Это явление состоит в том, что после светового возбуждения в фотосинтезирующих клетках наблюдается слабое, длительно затухающее свечение, испускаемое хлорофиллом. Это свечение возникает уже после прекращения флуоресценции (F_0) за счет энергии, выделяемой в ходе темновых реакций первичных фотопродуктов фотосинтеза в РЦ.

В РЦ при поглощения кванта света ($h\nu$) возбуждается молекула хлорофилла реакционного центра Р ($P \rightarrow P^*$). Затем происходит переход электрона от P^* на первичный акцептор электрона A_1 (восстановление первичного акцептора электронов $A_1 \rightarrow P^*A_1 \rightarrow P + A_1^-$). Это одновременно сопровождается окислением фотоактивного хлорофилла РЦ (Р):



Затем электрон уходит от акцептора А1-дальше в цепь переносчиков и в итоге попадает на окисленную молекулу НАДФ+. Окисленный РЦ ФСII (P+), в свою очередь, восстанавливается за счет электрона, полученного при разложении воды. Эти этапы ответственны за генерацию первичного прямого потока электронов.

Однако существует небольшая вероятность обратного переноса электрона в РЦ от А1-к P+, при котором происходит его рекомбинация с P+ с регенерацией возбужденного состояния P*. В результате этого клетки испускают замедленное свечение с некоторой задержкой во времени



Очевидно, интенсивность ЗФ пропорциональна количеству РЦ в состоянии P+A1-с разделенными зарядами. Это состояние зависит от скорости последующих стадий переноса электрона. При действии повреждающих факторов на фотосинтетический аппарат концентрация РЦ в состоянии P+A1- может изменяться. Это позволяет использовать ЗФ для обнаружения загрязнений в водной среде. Кроме того, оказалось, что интенсивность ЗФ увеличивается за счет энергии трансмембранного электрохимического потенциала на мембранах хлоропластов, необходимого для синтеза молекул АТФ [7]. Это также позволило использовать метод ЗФ для оценки степени энергизации мембраны хлоропластов и связанной с ней фотосинтетической продуктивности фитопланктона [46,47].

Замедленная флуоресценция (ЗФ) наблюдается после выключения света как очень слабое (квантовый выход $< 0,0001$), затухающее десятки секунд, свечение. Кванты ЗФ испускаются при дезактивации вторично возбужденного синглетного электрона хлорофилла в реакционном центре фотосистемы 2 [48, 49]. Энергия возбуждения может быть излучена либо пигментом самого реакционного центра, либо молекулами хлорофилла из ближайшего окружения реакционного центра, т.е. замедленная флуоресценция представляет собой типичную хемиллюминесцентную реакцию, которая включает две стадии: химическую - рекомбинация ион-радикальной пары (P+680, Фф-) с

образованием возбужденной молекулы P^*680 и физическую, на которой энергия возбужденной молекулы может либо рассеиваться в тепло, либо излучиться, а также мигрировать на соседнюю молекулу активатора или тушителя свечения. Интенсивность свечения в такой реакции должна определяться скоростью рекомбинации зарядов в реакционных центрах, которая пропорциональна константе рекомбинации и числу реакционных центров в состоянии с разделенным зарядом. Кроме того, выход излучения зависит от вероятности образования возбужденных молекул пигмента в реакции рекомбинации и вероятности излучения возбужденной молекулой кванта света [50]. По характеристикам замедленной флуоресценции можно судить об активности целого растения, наблюдать его реакции на факторы окружающей среды. Это возможно потому, что скорость процесса, приводящего к генерации замедленной флуоресценции, зависит от функционирования каналов утилизации световой энергии в фотосинтезе.

Метод регистрации замедленной флуоресценции является удобным и перспективным биофизическим методом, несущим информацию о функционировании первичных реакций фотосинтеза [51]. По сравнению с другими методами метод ЗФ характеризуется высокой чувствительностью, интегральностью показателей, возможностью проведения ранней диагностики [52,53].

Наличие замедленной флуоресценции связано с функционированием целостного фотосинтетического аппарата [54]. Изменение параметров ЗФ при действии внешней среды можно использовать для определения устойчивости растений. Максимальная амплитуда неблагоприятного фактора, при которой еще нет существенных изменений параметров ЗФ, будет характеризовать устойчивость фотосинтетического аппарата растения к этому фактору. Во многих случаях устойчивость, регистрируемая методом ЗФ, коррелирует с общей устойчивостью организма к тому или иному фактору [55].

1.7.4 Флуоресцентная диагностика зимнего покоя хвойных

В конце осени-начале зимы уменьшается активность фотосинтетического аппарата, происходит снижение интенсивности замедленной флуоресценции, т.к. наблюдается ингибирование электронного транспорта между фотосистемами 1 и 2 и уменьшение скорости транспорта электронов через фотосистему 1 и фотосистему 2 [56]. Загрязнение воздуха может модифицировать или нарушать нормальный сезонный ритм растений различными способами в зависимости от тяжести повреждений, вызванных этим загрязнением. Осенью у растений, способных к закаливанию, течение этапов закаливания проходит по-разному и зависит от интенсивности загрязнения воздуха [57]. Сильно поврежденные клетки растений не могут реагировать на внешние изменения, и холод является дополнительным поражающим агентом, при действии которого усиливается общее поражение дерева [58]. По-видимому, в результате стресса, вызванного действием загрязнения воздуха, задерживается наступление периода покоя, так что изменения концентрации сахаров имеют место позже, чем в обычных условиях. Содержание сахаров повышалось на меньшую величину и происходило позже, чем в нормальных условиях, что указывает на временное смещение процессов (там же). Подобным же образом нарушается транспирация: стадия полного покоя развивалась не полностью, загрязненные иглы были готовы к транспирации в январе [59].

В связи с загрязнением воздуха снижается морзоустойчивость ели. Зимой хвойные деревья обычно толерантны к гораздо более низким температурам, чем те, которые имеют место на самом деле, а зимние повреждения могут быть связаны с зимней засухой [59] или с токсическими свойствами аккумулярованных загрязняющих веществ, влияющих на мембраны аппарата фотосинтеза [60] или на энергетический метаболизм [61]. Исследования биохимических основ зимнего повреждения, вызванного загрязнением воздуха, показывают, что изменения холодоустойчивости, осмотических объемов клетки, содержания сахара и т.д. характерны для любых острых повреждений,

но могут иметь место и при хронических повреждениях. При развитии таких повреждений следующая зима становится критической для игл хвойных [61]. Установлено, что увеличение воздействия загрязнения в зимние месяцы является важным фактором повреждения хвойных лесов в северных условиях [62].

Показано, что способность растений противостоять действию высоких температур во многом определяется устойчивостью их фотосинтетического аппарата. Повреждающее действие высоких температур проявляется в нарушении структуры и функций хлорофилл-белковых комплексов и изменении эффективности межкомплексной передачи энергии возбуждения. Одним из оперативных способов оценки этих явлений может служить регистрация термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ). Нулевой уровень флуоресценции регистрируется в положении, когда все реакционные центры ФС-2 находятся в окисленном состоянии («открыты») [63].

Интенсивность флуоресценции при температуре 40-55°C определяется действием нагревания на структуру и функции компонентов фотосистемы 2 (ФС 2). В фазу подъёма это выражается в нарушении функциональной связи между антенным комплексом ХБК-2 и его энергетической ловушкой - открытым реакционным центром (РЦ), при котором возможно повреждение самого реакционного центра фотосистемы 2. В фазу спада, вызванную нагреванием, наблюдается функциональное и, вероятно, структурное разделение светособирающего Хл-белкового комплекса фотосистемы 2, а также снижением эффективности передачи энергии от хлорофилла *b* к хлорофиллу *a*.

Поскольку для флуоресцирующей пигментной системы нет принципиальной разницы, каким образом она «теряет» энергетическую ловушку (в результате теплового нарушения связи между реакционными центрами ХБК-2 и антенной или путём фотохимического восстановления первичного акцептора электронов), относительную величину

низкотемпературного максимума можно считать показателем эффективности захвата энергии возбуждения в реакционных центрах фотосистемы 2.

Причиной высокотемпературного максимума может быть «разгорание» флуоресценции более термостабильного хлорофилл-белкового комплекса фотосистемы 1 при инактивации её реакционных центров. Определённый вклад в появление высокотемпературного пика может дать и хлорофилл-белковый комплекс фотосистемы 2 при условии его локализации в межгранных участках мембран тилакоидов и дефиците светособирающего хлорофилл-белкового комплекса.

По отношению низко- и высокотемпературного максимумов можно оценивать картину структурной организации мембран хлоропластов.

Помимо предложенных параметров положение точек низко- и высокотемпературного максимумов на кривой ТИНУФ позволяет судить о термоустойчивости фотосинтетического аппарата к повреждающему действию повышенных температур.

Способность противостоять низким отрицательным температурам - одно из интересных и малоизученных свойств хлоропластов «вечнозелёных» тканей деревьев и кустарников. Видовая специфика процессов, сопровождающих переход хлоропластов в криорезистентное состояние (состояние покоя) – снижение фотосинтетической активности, изменения химического состава и структурной организации мембран хлоропластов – затрудняет выбор надёжного критерия для оценки криорезистентности хлоропластов и её сезонной динамики.

Наблюдается качественное изменение формы кривой, что свидетельствует, по-видимому, о различной природе термоиндуцированных переходов в зимнее и летнее время. «Зимний» вид кривой ТИНУФ определяется, вероятно, не количественными изменениями форм хлорофилла и хлорофилл-белковых комплексов, а особыми физико-химическими свойствами мембран тилакоидов и самих белковых комплексов. Этому предположению

соответствует также значительное снижение удельного выхода флуоресценции у зимних образцов [64, 65, 66].

Принимая во внимание кинетические характеристики и амплитуду высокотемпературного подъёма флуоресценции, полную необратимость вызванных нагревом изменений, можно предположить, что данное увеличение интенсивности флуоресценции связано с нарушением связи белков с пигментами фотосистемы и растворением последних в липидной фазе тилакоидных мембран в ходе термотропного фазового перехода.

Рассчитанное отношение низко - и высокотемпературного максимумов может служить показателем степени глубины покоя. Для периода зимнего покоя отношение составляет 0,08, возрастая при переходе растений к активному метаболизму до 1,7.

Величина отношения низко - и высокотемпературного максимумов, свидетельствующая о переходе к активному метаболизму, всегда выше для растений, произрастающих в местности с высоким уровнем техногенного загрязнения. Промежуточное положение занимает величина отношения для образцов, взятых из района со средним уровнем загрязнения. Наиболее низкая величина R_2 характерна для чистого района [67].

2. Объекты, методы и район исследования

В качестве объектов исследования взяты однолетние побеги 30-40 летних деревьев ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), произрастающих в различных районах г. Красноярска, для исследований было взято семь площадок.

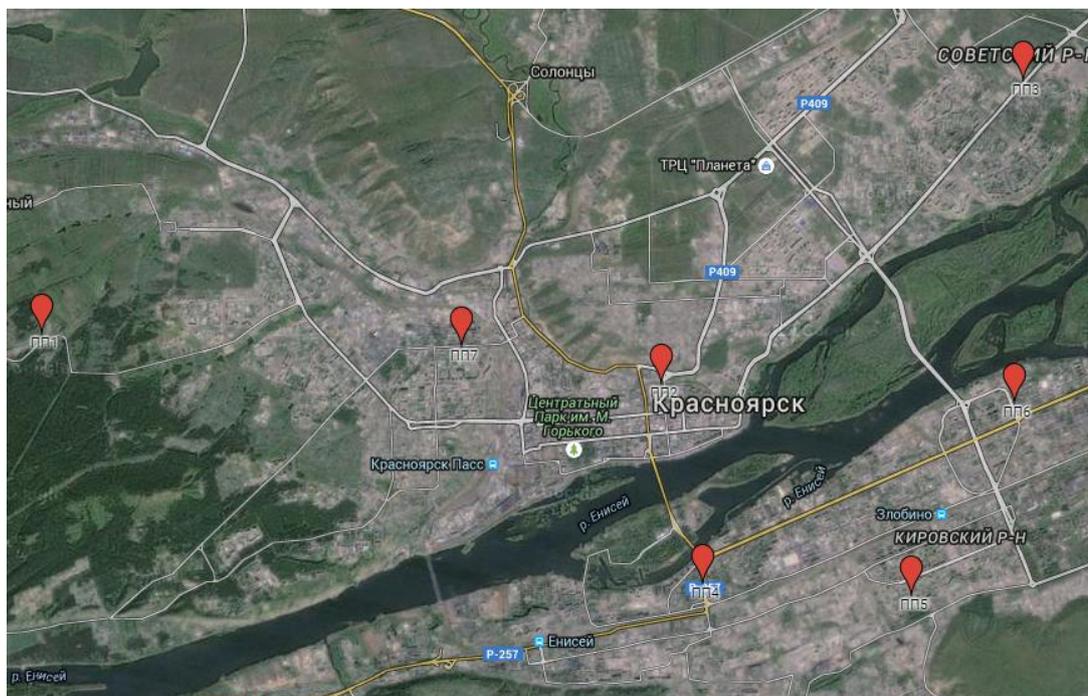


Рисунок 1- Расположение пробных площадок.

Исследования проводили на семи пробных площадях:

Пробная площадь №1 (ул. Минусинская)- расположена за пределами города Красноярска, с наветренной стороны;

Пробная площадь №2 (ул. Сурикова)- расположена в центре города.;

Пробная площадь №3 (ул. Тельмана)- расположена в районе с интенсивным автомобильным движением, а так же испытывает влияние Красноярского алюминиевого завода;

Пробная площадь №4 (ул. Матросова) – расположена в центре города, испытывает на себе влияние непосредственной близости дороги с интенсивным автомобильным движением;

Пробная площадь №5 (ул. Кутузова)- расположена в районе с интенсивным автомобильным движением, а так же испытывает влияние Красноярского цементного завода;

Пробная площадь №6 (ул. Чайковского), Пробная площадь №7 (ул. Красномосковская)- расположены в местах с интенсивным автомобильным движением.



Рисунок 2- Ель сибирская (*Picea obovata*).

Систематическое положение Ели сибирской:

Царство: Растения-*Plantae*
Отдел: Хвойные -*Pinóphyta*
Класс: Хвойные (*Pinopsida* BURNETT, 1835)
Порядок: Сосновые
Семейство: Сосновые-*Pináceae*
Род: Ель- *Picea*
Вид: Ель сибирская- *Picea obováta*

Используемые для опыта побеги должны отвечать ряду требований, они должны произрастать в местах со схожими условиями (освещенностью,

влажностью, температурой), необходимо это для того, чтобы результаты опыта были максимально точны.

Срезать побеги на анализ необходимо при одинаковых погодных условиях, из средней части кроны, с ее северной стороны. Побеги должны быть доставлены до лаборатории в черных непрозрачных пакетах, в максимально быстрый срок.

Оценка состояния деревьев ели сибирской (*Picea obovata*) проводилась путем морфометрического анализа побегов по следующим показателям: линейный прирост побега, количество хвои на побеге и количество хвои на 1 см побега.

Количество фотосинтетических пигментов определяли в спиртовом экстракте спектрофотометрическим методом на спектрофотометре SPEKOL 1300 Analytik AG (Германия)

Измерение содержания количества пигментов осуществляли на трех длинах волн: 649, 654 и 665 нм.

Расчеты производились по следующим формулам:

$$Ca(\text{мг/л}) = 13,70 * D_{665} - 5,76 * D_{649}$$

$$Cb(\text{мг/л}) = 25,80 * D_{649} - 7,60 * D_{665}$$

$$Ca+b (\text{мг/л}) = 6,10 * D_{665} + 20,04 * D_{649} = 25,1 * D_{654}$$

Где $D_{665,649,654}$ - оптическая плотность вытяжки при 665, 649, 654 нм соответственно;

C- концентрация пигмента в вытяжке, мг/л. [68].

2.1 Метод измерения нулевого уровня флуоресценции

Для исследований использовались образцы хвои деревьев, собранные в период с декабря по февраль. Для исследований брали хвою первого года жизни.

При искусственном выведении из состояния покоя в зимние месяцы побеги в течение трех дней находились в комнатных условиях ($t \approx +24^{\circ}\text{C}$). Ежедневно в течение 3-4 дней в лабораторных условиях на флуориметре «Фотон-11» производилась регистрация соотношения низко- и высокотемпературных максимумов ($50^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$). Соотношение низко- и высокотемпературного максимумов (R) определяли по формуле:

$R = \Phi_{\text{лнт}} / \Phi_{\text{лвт}}$, где $\Phi_{\text{лнт}}$ - интенсивность флуоресценции при низкотемпературном максимуме, а $\Phi_{\text{лвт}}$ - интенсивность флуоресценции при высокотемпературном максимуме.

2.2 Метод регистрации замедленной флуоресценции

Флуориметр для биологического контроля загрязнения окружающей среды «Фотон 10» предназначен для регистрации у различных растительных объектов (хлоропласты, водоросли, хвоя и листья растений, лишайники) нескольких параметров быстрой (БФ) и замедленной (ЗФ) флуоресценции хлорофилла. Все измерения выполняются в автоматическом режиме с выводом получаемой информации на управляющий компьютер. Прибор разработан на кафедре экотоксикологии и микробиологии Сибирского федерального университета под руководством профессора Ю.С. Григорьева.

В основу работы прибора положен принцип измерения послесвечения хлорофиллсодержащего растительного объекта, в промежутках между импульсами возбуждающего света.

В приборе импульсы красного света миллисекундной длительности и интенсивности, способной запустить процесс фотосинтеза, подаются от

двенадцати ярких светодиодов. Они возбуждают ЗФ, которая регистрируется в виде кривых затухания в миллисекундные темновые промежутки.

При регистрации «ОПЗФ» (относительный показатель замедленной флуоресценции) измерение свечения каждой кюветы проводится для двух заранее установленных световых и временных режимов, условно обозначенные как «режим высокого света» и «режим низкого света». В «режиме высокого света» в ЗФ доминируют т.н. быстрые компоненты затухания, величина которых снижается при токсическом воздействии на растительный организм (фотосинтез). В «режиме низкого света» свечения в основном представлено медленными компонентами затухания ЗФ, значения которые при подавлении фотосинтетической активности тест-организма возрастают. В результате отношение этих двух показателей ЗФ снижается в десятки раз при токсическом воздействии на растительный тест-организм.

3. Результаты исследования

3.1 Влияние абиотических факторов на флуоресцентные показатели хвой ели сибирской

Для выявления роли трансформации основных абиотических факторов (свет и температура) в условиях городской среды при прохождении фенофаз хвой ели сибирской были проведены исследования влияния на фотосинтетическую активность хвой искусственного света и изменения температурного режима.

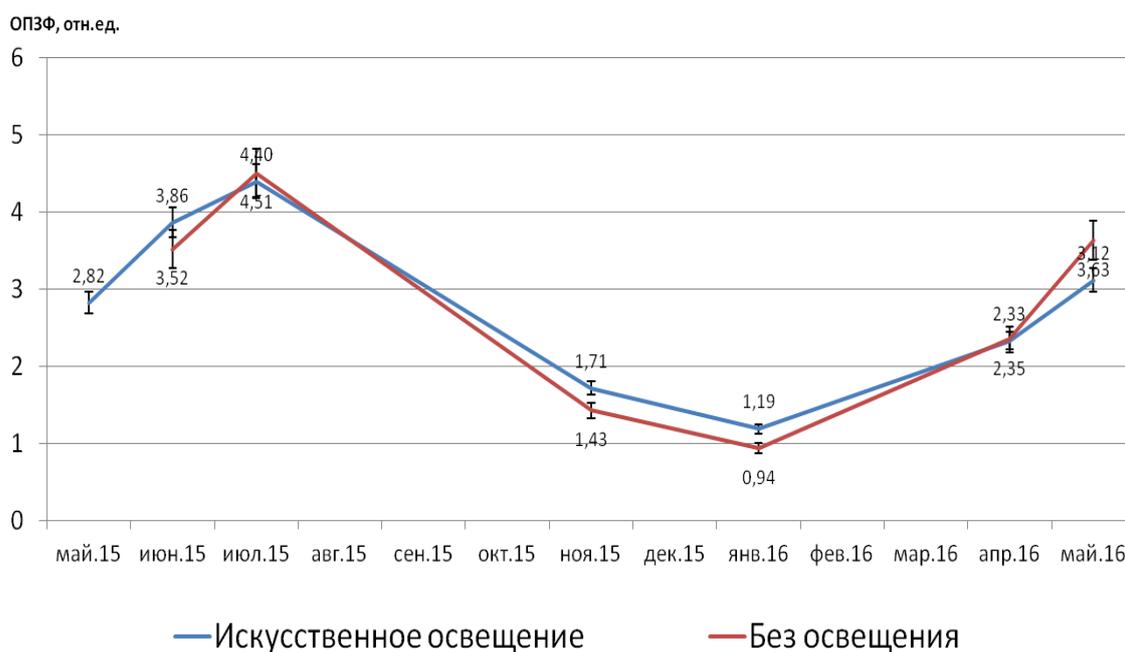


Рисунок 3 - Относительный показатель замедленной флуоресценции хлорофилла хвой ели сибирской за исследуемый период на ПП2 (ул. Сурикова).

На рисунке 3 отображены значения относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла хвой ели сибирской за исследуемый период, на примере ПП2 (ул. Сурикова). В зимнее время побеги предварительно выводили из состояния покоя в течение недели. Как следует из представленных данных, искусственный свет большую часть года не влияет на фотосинтетическую активность хвой, и только в осеннее-зимний период было отмечено незначительное увеличение фотосинтетической активности хвой.

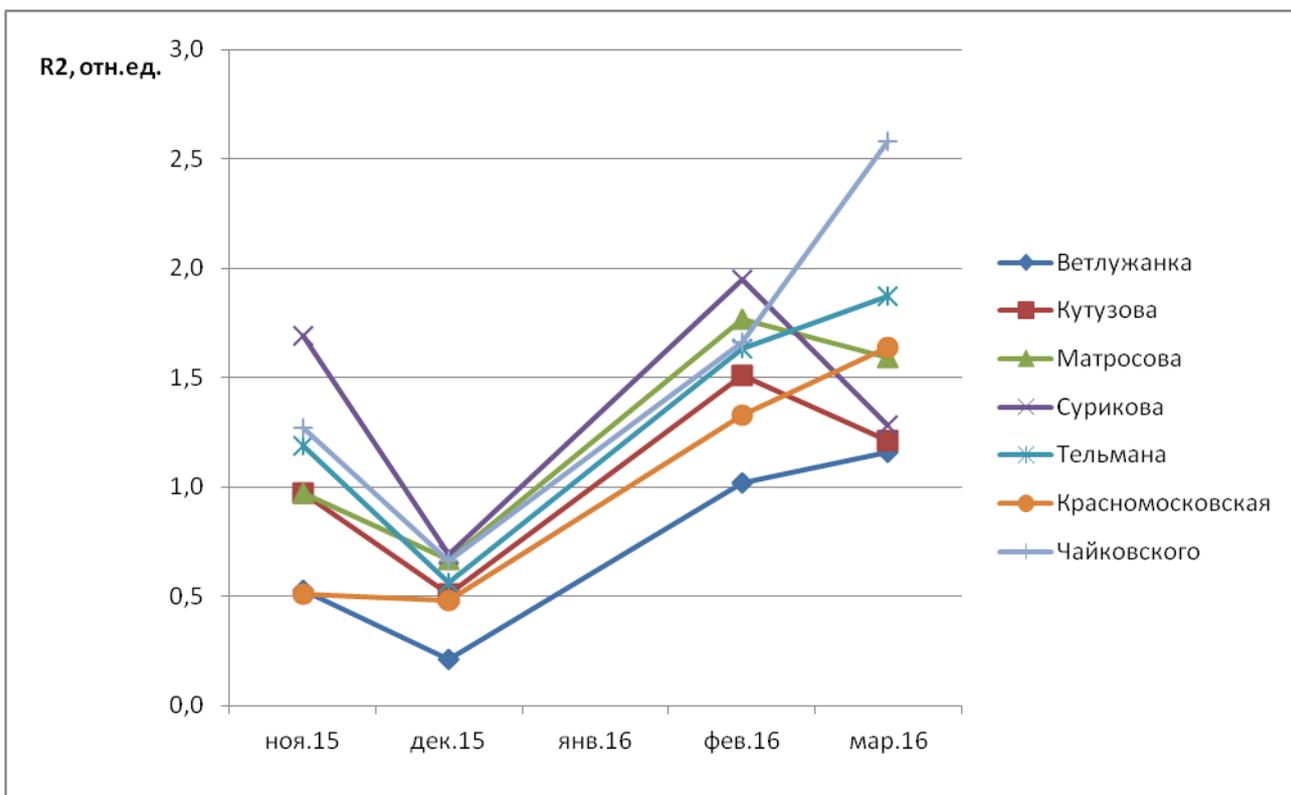


Рисунок 4 – Динамика изменения коэффициента R2 хвои ели сибирской с ноября по март 2016 года.

На рисунке 4 изображены кривые динамики коэффициента R2 в осенне-зимне-весенний период в зависимости от района произрастания исследуемых растений. Из данного рисунка можно увидеть наибольшую фотосинтетическую активность у хвои ели находящихся на ПП2 (ул. Сурикова), ПП3 (ул. Тельмана), ПП6 (ул. Чайковского), что характерно для районов с наибольшим уровнем загрязнения. Наименьшую фотосинтетическую активность имеет ПП1 (ул. Минусинская), характеризующаяся наименьшим уровнем загрязнений.

Таблица 1 - Двухфакторный дисперсионный анализ.

ИТОГИ	Счет	Сумма	Средне е	Дисперси я
42125	2,00	5,52	2,76	0,01
42156	2,00	7,38	3,69	0,05
42186	2,00	8,90	4,45	0,01
42309	2,00	3,14	1,57	0,04
42370	2,00	2,12	1,06	0,03
42461	2,00	4,67	2,33	0,00
42491	2,00	6,74	3,37	0,13

Искусственное

освещение 7,00 19,43 2,77 1,29

Без освещения 7,00 19,06 2,72 1,60

Источник вариации	SS	Df	MS	F	Р-	F
					Значени е	критическо е
Строки	17,16	6,00	2,86	64,79	3,43	4,28
Столбцы	0,01	1,00	0,01	0,21	0,65	5,98
Погрешность	0,26	6,00	0,04			
Итого	17,44	13,00				

Как следует из данных, представленных в таблице 2, получены невысокие коэффициенты корреляции между значениями температуры в день сбора побегов в исследуемых районах города и R2. В ноябре коэффициент корреляции составляет 0,35, в декабре приобретает отрицательное значение – 0,45, в феврале и марте 0,47 и 0,52 соответственно.

Таблица 2 - Значения коэффициента корреляции температуры в день сбора побегов и значения R2.

	Ноябрь		Декабрь		Февраль		Март	
	T, °C	R2	T, °C	R2	T, °C	R2	T, °C	R2
Минусинская	-16,0	0,5	0,0	0,2	-10,0	1,0	-7,0	1,2
Кутузова	-16,0	0,9	-1,0	0,5	-9,5	1,5	-6,0	1,2
Матросова	-16,0	0,9	-1,0	0,6	-10,0	1,7	-6,0	1,6
Сурикова	-16,0	1,7	0,0	0,7	-9,5	1,9	-5,5	1,2
Тельмана	-15,0	1,2	-1,0	0,5	-10,0	1,6	-6,0	1,8
Красномосковская	-16,0	0,5	0,0	0,5	-10,0	1,3	-6,0	1,6
Чайковского	-15,0	1,3	-1,0	0,6	-9,5	1,6	-5,5	2,6
коэффициент корреляции		0,3		-0,45		0,47		0,52

3.2 Влияние загрязнения на морфологические параметры и флуоресцентные показатели хвои ели сибирской

В период с мая 2015 года по май 2016 года был осуществлен сбор данных о содержании приоритетных загрязняющих веществ, регистрируемых на постах Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [69]. После чего из собранных данных были составлены графики динамики изменения содержания в воздушной среде таких загрязнителей как : взвешенные вещества, формальдегид, оксид углерода, оксид азота, диоксид азота и аммиак (Приложение).

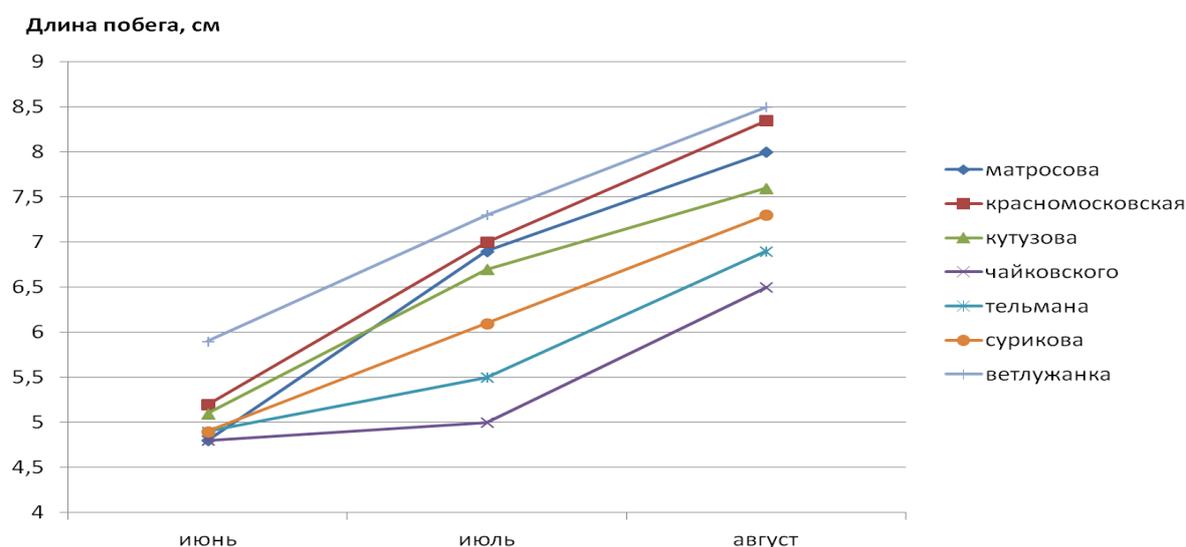


Рисунок 5- Длина побега ели сибирской в районах с различным уровнем загрязнения.

На данном рисунке мы видим что наибольшую длину побега имеет ПП1 (ул. Минусинская), это можно объяснить тем, что данный район является менее загрязненным, по сравнению с остальными районами.

Наименьший прирост наблюдается ПП2 (ул. Сурикова), ПП3 (ул. Тельмана), ПП6 (ул. Чайковского) , это объясняется высоким уровнем загрязненности этих районов.

Таблица 3- Относительный показатель замедленной флуоресценции хлорофилла хвои ели сибирской в исследуемых районах.

	Ветлужанка	Кутузова	Матросова	Сурикова	Тельмана	Чайковского	Красномосковская
Июнь	3,34	2,49	2,72	2,52	2,67	2,50	2,53
Июль	3,27	2,46	2,69	2,50	2,70	2,60	2,43

В летний период было рассмотрено влияние комплексного загрязнения воздушной среды на параметры замедленной флуоресценции хлорофилла хвои ели сибирской. Как свидетельствуют данные, представленные в таблице 3, ОПЗФ в течении июня-июля месяца изменяется незначительно. Для определения достоверности различий между районами был проведен двухфакторный дисперсионный анализ (Таблица 4). Так как F-факт. Больше F-крит. ($73,07 > 4,28$) различия между площадками можно считать достоверными. Различия флуоресцентных параметров между июнем и июлем являются достоверными.

Таблица 4 –Двухфакторный дисперсионный анализ

ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Июнь	7,00	18,78	2,68	0,09		
Июль	7,00	18,66	2,66	0,08		
Ветлужанка	2,00	6,61	3,30	0,01		
Кутузова	2,00	4,95	2,47	0,00		
Матросова	2,00	5,41	2,70	0,00		
Сурикова	2,00	5,02	2,51	8,70		
Тельмана	2,00	5,37	2,68	0,00		
Чайковского	2,00	5,10	2,55	0,00		
Красномосковская	2,00	4,97	2,48	0,00		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Строки	0,00	1,00	0,00	0,42	0,54	5,98
Столбцы	1,03	6,00	0,17	73,07	2,41	4,28
Погрешность	0,01	6,00	0,00			
Итого	1,04	13,00				

Коэффициент корреляции между показателями содержания приоритетных загрязнителей воздушной среды (в долях от ПДК м.р) и относительного показателя замедленной флуоресценции в период вегетации имеет отрицательные значения, что свидетельствует о том, что с ростом уровня загрязнения фотосинтетическая активность хвои снижается (таблица 5).

Таблица 5 - Коэффициент корреляции между показателями содержания приоритетных загрязнителей воздушной среды (в долях от ПДК м.р) и ОПЗФ (июль).

Загрязняющее вещество	Коэффициент корреляции
Взвешенные вещества	-0,31
Формальдегид	-0,51
Оксид углерода	-0,10
Диоксид азота	-0,58
Оксид азота	-0,49
Аммиак	0,41

Наибольшие значения коэффициента корреляции получены для формальдегида, диоксида и оксида азота, но выявить конкретное загрязняющее вещество, определяющее уровень фотосинтетической активности хвои, не представляется возможным, что свидетельствует о суммарном воздействии поллютантов на ель сибирскую.

В зимнее время для оценки глубины покоя был использован коэффициент R_2 (отношение амплитуд низкотемпературного и высокотемпературного пика нулевого уровня флуоресценции). Если $R_2 > 1$, то деревья находятся в состоянии вегетации, если меньше единицы, то в состоянии покоя.

Наибольшим показателем R2 обладает хвоя деревьев ели сибирской с пробных площадей ПП2 (ул.Сурикова), ПП6 (ул. Чайковского) и ПП3 (ул. Тельмана), характеризующиеся наибольшей степенью загрязненности. Наименьший показатель имеет хвоя с ПП1 (ул. Минусинская)(таблица 6).

Таблица 6- Значения показателя R2 хвои из исследуемых районов с ноября по март 2015 года.

	Ноябрь	Декабрь	Февраль	Март
Минусинская	0,53	0,21	1,02	1,16
Кутузова	0,97	0,51	1,51	1,21
Матросова	0,97	0,67	1,77	1,59
Сурикова	1,69	0,69	1,95	1,28
Тельмана	1,19	0,56	1,63	1,87
Красномосковская	0,51	0,48	1,33	1,64
Чайковского	1,27	0,66	1,66	2,58

Как видно из таблицы 7, различия между площадками являются достоверными ($P = 0,95$).

Таблица 7- Двухфакторный дисперсионный анализ.

ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
Минусинская	4,00	2,92	0,73	0,19
Кутузова	4,00	4,20	1,05	0,17
Матросова	4,00	5,00	1,25	0,26
Сурикова	4,00	5,61	1,40	0,30
Тельмана	4,00	5,25	1,31	0,33
Красномосковская	4,00	3,96	0,99	0,34
Чайковского	4,00	6,17	1,54	0,64
42309	7,00	7,13	1,01	0,17
42339	7,00	3,78	0,54	0,02
42401	7,00	10,87	1,55	0,09
42430	7,00	11,33	1,61	0,24

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Строки	1,83	6,00	0,30	3,88	0,01	2,66
Столбцы	5,36	3,00	1,78	22,74	2,39	3,16
Погрешность	1,4	18,00	0,07			
Итого	8,62	27,00				

Как следует из таблицы 7 ,различия достоверны как между районами, так и между замерами в течение всего периода с ноября по март.

Для определения достоверности различий между районами был проведен двухфакторный дисперсионный анализ (Таблица 7). Так как F-факт. Больше F-крит. ($3,88 > 2,66$) различия между площадками можно считать достоверными. Различия флуоресцентных параметров в период с ноября по март являются достоверными.

Коэффициент корреляции между показателями содержания приоритетных загрязнителей воздушной среды (в долях от ПДК м.р) и коэффициента R2 в период зимнего покоя имеет положительные значения, что свидетельствует о том, что с ростом уровня загрязнения глубина зимнего покоя ели сибирской уменьшается (таблица 8).

Таблица 8- (февраль) Коэффициент корреляции между показателями содержания приоритетных загрязнителей воздушной среды (в долях от ПДК м.р) и коэффициента R2 (февраль).

Загрязняющее вещество	Коэффициент корреляции
Взвешенные вещества	0,43
Формальдегид	0,27
Диоксид азота	0,33
Оксид азота	0,4
Аммиак	0,31

Наибольшие значения коэффициента корреляции получены для взвешенных веществ, диоксида и оксида азота, но выявить конкретное загрязняющее вещество, определяющее уровень фотосинтетической активности хвои, не представляется возможным, что свидетельствует о суммарном воздействии поллютантов на ель сибирскую.

В качестве дополнительного показателя рассматривалось отношение хлорофилла а к хлорофиллу b (Таблица 9). По литературным данным это отношение уменьшается с ростом уровня загрязнения. Достоверные различия между исследуемыми районами по количеству пигментов в хвое первого года жизни не выявлены(Таблица 10).

Таблица 9- Отношение содержания хлорофилла а к хлорофиллу b за летний период 2015 года.

Ca/Cb	Май	Июнь	Июль
Матросова	0,876	0,990	1,000
Чайковского	1,106	0,897	0,779
Сурикова	1,004	1,138	0,699
Кутузова	0,936	1,121	0,674
Минусинская	0,966	1,142	0,672
Красномосковская	0,918	1,074	0,746

Таблица 10- Двухфакторный дисперсионный анализ.

ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
Матросова	3,00	2,86	0,95	0,01
Чайковского	3,00	2,78	0,92	0,02
Сурикова	3,00	2,84	0,94	0,05
Кутузова	3,00	2,73	0,91	0,05
Минусинская	3,00	2,78	0,92	0,05
Красномосковская	3,00	2,73	0,91	0,02
Май	6,00	5,80	0,96	0,01
Июнь	6,00	6,36	1,06	0,01
Июль	6,00	4,57	0,76	0,01

Дисперсионный анализ

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Строки	0,01	5,00	0,01	0,06	0,99	3,32
Столбцы	0,28	2,00	0,14	9,18	0,01	4,10
Погрешность	0,15	10,00	0,01			
Итого	0,43	17,00				

Для определения достоверности различий между районами был проведен двухфакторный дисперсионный анализ (Таблица 10). Так как F-факт. больше F-крит. ($9,18 > 4,1$) различия между месяцами можно считать достоверными, а между районами- нет. Это можно объяснить тем, что хвоя первого года не успевает накопить токсичные вещества, которые могли бы привести к

разрушению хлорофилла а и, следовательно, снижению отношения хлорофилла а к хлорофиллу б.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Морфологический анализ побегов ели сибирской из районов с разным уровнем загрязнения свидетельствует о снижении линейного прироста с ростом уровня загрязнения воздушной среды.
2. Достоверные различия по отношению хлорофилла а к хлорофиллу b в хвое первого года жизни в исследуемых районах не зарегистрированы (при $p = 0,95$).
3. Искусственный свет большую часть года не влияет на относительный показатель замедленной флуоресценции, и только в осеннее-зимний период было отмечено незначительное увеличение фотосинтетической активности хвои, однако различия не являются достоверными (при $p = 0,95$). Получены невысокие коэффициенты корреляции между значениями температуры в день сбора побегов в исследуемых районах города и R_2 (в ноябре коэффициент корреляции составляет 0,35, в декабре приобретает отрицательное значение – 0,45, в феврале и марте 0,47 и 0,52 соответственно).
4. Фотосинтетическая активность хвои ели сибирской в период вегетации, оцененная методом регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла, уменьшается с ростом уровня загрязнения, так в наиболее загрязненных районах ул.Кутузова и Красномосковская ОПЗФ составляет 0,75, по отношению к контролю, на ул.Сурикова 0,77, ул.Чайковского, Матросова и Тельмана 0,80 . Глубина зимнего покоя растений ели также уменьшается с ростом уровня загрязнения, например, в зимний период наибольшим показателем R_2 характеризуется ул.Сурикова и Чайковского 2,35 , по отношению к контролю, ул.Матросова и Тельмана 2,03, ул. Кутузова и Красномосковская 1,70 и 1,49 соответственно.
5. Изменение содержания исследуемых загрязняющих веществ воздушной среды в исследуемый период влияет как на уровень фотосинтетической

активности в летний период, так и на глубину зимнего покоя, но выявить конкретное загрязняющее вещество (среди приоритетных загрязнителей), определяющее уровень фотосинтетической активности хвои, не представляется возможным, что свидетельствует о комплексном воздействии поллютантов на ель сибирскую.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федорова, А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений / А.И . Федорова, А.Н. Никольская. - М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 288 с.
2. Мэннинг, Дж. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / Дж. Мэннинг, А. Федер. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 535 с.
3. Захаров, В. М. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов./ В.М. Захаров, Д.М. Кларк. – М., 1993. – 68 с.
4. Кубрина, Р. А. Использование различных методов биоиндикации для анализа городской среды (на примере г. Ставрополя) / Р. А. Кубрина, В. П. Толоконников , И. О. Лысенко // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. №1-3 С.496-498.
5. Рассадина, Е. В. Фитоиндикация состояния урбосистем // Вестник Ульяновский ГСХА. 2010. №2 (12) С.22-26.
6. Шадманова, Т. Х. Экологические основы биоиндикационных исследований / Т. Х. Шадманова, Ю. С. Чуйков // 2012. №2 С157-164.
7. Мэннинг, У. Д., Биомониторинг загрязнений атмосферы с помощью растений / У.Д. Мэннинг, У. Федер. – Л.:Гидрометеиздат,1985. – 143 с.
8. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. – М.: Мир, 1988. – 348 с.
9. Садыков, О. Ф. Современные проблемы и перспективы прикладной экологии / О.Ф. Садыков. – М.: 1991.
10. Орехов, Д. И. Выбор флуоресцентного фитоиндикатора техногенных загрязнений / Д. И. Орехов, Г. А. Калабин // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. №4 С.51-59
11. Рассадина, Е. В. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды // Вестник Ульяновской ГСХА. 2007. №2 (5) С.48-53.

12. Бадмаева, С. Э. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края / С. Э. Бадмаева, В. И. Циммерман // Вестник КрасГАУ. 2015. №2 С.27-32.].
13. Неверова, О.А. Биоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха по состоянию древесных растений./ О. А. Неверова.- Новосибирск : Наука, 2001а. -119 с
14. Машинцов, Е. А. Оценка качества окружающей среды при помощи растений–индикаторов./ Е.А. Машинцов, Е.Н. Ивановская – Тульский государственный университет, г. Тула.
15. Давыдова, Н. Д. Проблемы загрязнения природой среды Сибири/ Н. Д. Давыдова // Успехи современного естествознания. 2014. №5-1 С.186-189
16. Зокиров, Р. С. Проблемы экологии городской среды / Р. С. Зокиров // Вестник ТГУПБП. 2010. №4 С.93-98.
17. Кулагин, Ю. З. Древесные растения и промышленная среда./ Ю.З. Кулагин – М., Наука, 1974. – 125 с.
18. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений./В. С. Николаевский – Новосибирск, Наука, 1979. – 280 с.
19. Сочава, В. Б. Закономерности географии и растительного покрова горных тундр СССР // Академику В.Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения/ В.Б. Сочава. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – с. 322-337.
20. Рысин, Л. П.Хвойные леса России./ Л. П. Рысин // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. №1-4 С.1106-1109.
21. Мамаев, С. А. Ель сибирская на Урале (внутривидовая изменчивость и структура популяций)/ С.А. Мамаев, П.П. Попов. – М.: Наука, 1989. – 104 с.
22. Васильев, В.Н. Сибирская ель (*Picea obovata* Ldb.) на севере Охотского побережья/ В. Н. Васильев. // Изв. Всесоюзного географического общества. – 1945. – Т. 77. – Вып. 5.
23. Казимиров, Н.И. Ель. / Н. И. Казимиров. Москва: Лесная пром-сть, 1983.

24. Гроздова, Н. Б. Занимательная дендрология / Н.Б. Гроздова. - М. : Лесная пром-сть, 1991. - 208 с.
25. Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л., Наука. 1973. – 311 с.
26. Сукачев, В.Н. Динамика лесных биогеоценозов // Основы лесной биогеоценологии./ В. Н. Сукачев. – М., 1964. – С. 458-480.
27. Нестеров, Н.С. Очерки по лесоведению./ Н. С. Нестеров. – М.: Сельхозгиз. 1960. – 485 с.
28. Рожков, А. С. Действие фторсодержащих эмиссий на хвойные деревья / А. С. Рожков, Т. А. Михайлова. – Новосибирск: Наука, 1989. – 156 с.
29. Шелухо, В. П. Состояние хвойных насаждений в условиях загрязнения фторидами // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. №13 С.262-265
30. Собчак, Р. О. Оценка состояния хвойных пород в зоне действия атмосферных загрязнителей по структурно-функциональным показателям хвои/ Р. О. Собчак, Т. П. Астафурова, Т. А. Зайцева, Г. С. Верхотурова, А. П. Зотикова, О. Н. Дегтярева// Krylovia. Сибирский ботанический журнал. 2001. №2 С.114-121.
31. Крупкин, П. И. К вопросу о загрязнении фтором почв пригородной зоны г. Красноярска/ П. И. Крупкин, А. А. Косицына // Вестник КрасГАУ. 2006. №10 С.162-169
32. Григорьев, Ю.С. Биоиндикация загрязнений воздушной среды на основе замедленной флуоресценции хлорофилла листьев и феллодермы деревьев./ Ю.С. Григорьев, М.А. Бучельников М.А.// Экология. – 1999. – N 4. – С. 303 - 305.
33. Зими́на, А. А. Исследование процессов формирования пылегазовых примесей в атмосферном воздухе придорожных территорий улиц города Оренбурга/ А. А. Зими́на // МНИЖ. 2013. №9-3 (16) С.58-59

34. Хадарцев, А. А. Трансформация техногенных загрязнителей в атмосферном воздухе./ А. А. Хадарцев, А. Г. Хрупачев, С. П. Ганюков // Фундаментальные исследования. 2010. №12 С.158-164
35. Неверова, О. А. Особенности накопления серы и азота деревьями различных экологических зон города Кемерово/ О. А. Неверова // Современные наукоемкие технологии. 2008
36. Чжан, С. А. Прогнозирование состояния лесных фитоценозов в связи с модернизацией производства Братского алюминиевого завода/ С. А. Чжан, Е. М. Рунова, О. А. Пузанова// Вестник КрасГАУ. 2008
37. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году»// Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, Красноярск- 2015 г.
38. Фотосинтез / Под ред. Говинджи. – Т.1,2. – М.: Мир, 1987.
39. Бадмаева, С. Э. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края/ С. Э. Бадмаева, В. И. Циммерман // Вестник КрасГАУ. 2015. №2 С.27-32
40. Давыдова, Н. Д. Проблемы загрязнения природой среды Сибири // Успехи современного естествознания. 2014. №5-1 С.186-189
41. Мокроносов, А.Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты./ А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 320с.
42. Тихонов, А. Н. Трансформация энергии в хлоропластах-энергообразующих органеллах растительной клетки / А. Н. Тихонов // Соросовский Образовательный Журнал. – 1996. – № 4. – С. 24-32.
43. Рубин, А. Б. Первичные процессы фотосинтеза / А. Б. Рубин. // Соросовский Образовательный Журнал. – 1997. – № 10. – С. 79-84.
44. Рубин, А. Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге / А. Б. Рубин // Соросовский Образовательный Журнал. 2000. – № 4. – С. 8-10
45. Лысенко, В. С. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода/ В. С.

Лысенко, Т. В. Вардуни, В. Г. Соьер, В. П. Краснов // *Фундаментальные исследования*. 2013. №4-1 С.112-120

46. Гаевский, Н. А. Использование переменной и замедленной флуоресценции хлорофилла для изучения фотосинтеза растений / Н. А. Гаевский, В. Н. Моргун // *Физиол. раст.* - 1993. - Т.40. - №4, С.136-145

47. Андреев, Д. Н. Биологический контроль состояния окружающей среды по флуоресценции хлорофилла хвои сосны обыкновенной/ Д. Н. Андреев // *Инновации в науке*. 2012. №10-1 С.30-34

48. Маторин, Д. Н. Замедленная флуоресценция и ее использование для оценки состояния растительного организма / Д. Н. Маторин, П. С. Венедиктов, А. В. Рубин // *Изв. АН СССР. Сер. биол.* №4. - 1985. - С. 9-13

49. Веселовский, В. А. Люминесценция растений. Теоретические и практические аспекты / В.А. Веселовский, Г.В. Веселова. – М.: Наука. – 1990. – 199 с.

50. Гаевский, Н. А. Использование переменной и замедленной флуоресценции хлорофилла для изучения фотосинтеза растений / Н. А. Гаевский, В. Н. Моргун // *Физиол. раст.* - 1993. - Т.40. - №4, С.136-145

51. Маторин, Д. Н. Замедленная флуоресценция и ее использование для оценки состояния растительного организма / Д. Н. Маторин, П. С. Венедиктов, А. В. Рубин // *Изв. АН СССР. Сер. биол.* №4. - 1985. - С. 9-13

52. Фарафонов, М. Г. Биоиндикационные свойства хлорофилла в условиях воздействия загрязнителей неопределенного состава/ М. Г. Фарафонов // *Экология*. - 1991. - №2. - С. 76-78

53. Моргун, В. Н. Изучение электрических свойств тилакоидной мембраны с помощью замедленной флуоресценции хлорофилла / В. Н. Моргун, Ю.С. Григорьев // *Физиол. раст.* - 1988. Т.35. - №5. - С. 995-999.

54. Гаевский, Н. А. Сезонные изменения фотосинтетического аппарата древесных и кустарниковых пород / Н. А. Гаевский, Г. А. Сорокина, В. М. Гольд, И. В. Миролубская // *Физиол. раст.* - 1991. - Т.38. - №4. - С.685-688

55. Martin, B. Seasonal effects on photosynthetic electron transport and fluorescence properties in isolated chloroplasts of *Pinus silvestris* (L.) / B. Martin, O. Martensson, G. Oquist. // *Physiol. Plant.* – 44. – 1987 – 102-109.
56. Huttunen, S. Seasonal variation of air pollution stresses in conifers. / S. Huttunen. *Mitt forstl. VerAnst. Wien.* – 1981. – pp. 103-113.
57. Huttunen, S. Changes in osmotic potential and some related physiological variables in needles of polluted Norway spruce (*Picea abies*) / S. Huttunen, L. Karenlampi, K. Kolari. // *Annals of Botany Fennici.* – 18(1) – 1981. – 63-71.
58. Huttunen, S. Effects of air pollutants on the wintertime water economy of Scots pine *Pinus silvestris*. / S. Huttunen, P. Havas, K. Laine. // *Holarctic Ecology.* – 4(2). – 1981. – 94-101.
59. Soikkeli, S. Damage in mesophyll ultrastructure of needles of Norway spruce in the industrial environments in central Finland / S. Soikkeli, T. Tuovinen. // *Annales Botanici Fennici.* – 1979. – 16. – 50–64.
60. Huttunen, S. Winter injuries of coniferous trees and the accumulation of sulphur compounds in pine needles. / S. Huttunen. *Zbornik*, 1979. – 1-390.
61. Способ определения степени глубины покоя древесных растений / Н. А. Гаевский, Г. А. Сорокина. Авторское свидетельство. – №1358843 от 15 августа 1987 г.
62. Способ определения степени глубины покоя древесных растений / Н. А. Гаевский, Г. А. Сорокина. Авторское свидетельство. – №1358843 от 15 августа 1987 г.
63. Гетте, И. Г. Особенности приспособительных реакций к низким отрицательным температурам у растений разных систематических групп / И. Г. Гетте, Н. В. Пахарькова // *Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева.* 2012. №4 (22) С.435-442
64. Гетте, И. Г. Особенности приспособительных реакций к низким отрицательным температурам у растений разных систематических групп / И. Г. Гетте, Н. В. Пахарькова // *Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева.* 2012. №4 (22) С.435-442

65. Пахарькова, Н. В. Особенности перехода в состояние зимнего покоя голосеменных и покрытосеменных древесных растений/ Н. В. Пахарькова, И. Г. Гетте, Е. Б. Андреева, О. А. Сорокина // Вестник КрасГАУ. 2013. №6 С.186-191
66. Сорокина, Г. А. Биоиндикация атмосферного загрязнения с использованием флуоресцентного метода/ Г. А. Сорокина, К. В. Фидельская, А. Ю. Даниленко, Н. В. Пахарькова // Вестник КрасГАУ. 2012. №10 С.121-126.
67. Лопатин, А.П., Лесных В.В., Шеховцова А.И. Карта «Экологическое состояние окружающей среды г. Красноярска». Сост. в Кранояр. филиале Госцентра «Природа». – Красноярск, 1993.
68. Большой практикум по фотосинтезу: Учеб./ В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова.- М.: изд-во «Академия», 2003.- 256 с.
69. Федеральное бюджетное учреждение «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»[Электронный ресурс]/ Красноярск: 2016.- Режим доступа: <http://meteo.krasnoyarsk.ru>, свободный.

SUMMARY

Final qualifying work on the theme "The impact of environmental pollution on the state of Krasnoyarsk Siberian spruce *Picea obovata* L ..» contains 60 pages of the text of the document, 68 of references, 11 figures, 10 tables.

Siberian spruce, Fluorescence, ecology, winter dormancy, chlorophyll, pine, Krasnoyarsk.

The object of this study is to Siberian spruce growing in city areas with different levels of pollution.

The purpose of work is to determine the characteristics of the impact of man-made chemical, thermal and light pollution on the Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.).

In this work the following tasks:

- conduct morphological analysis Siberian spruce shoots from areas with different levels of pollution;
- to determine the influence of the complex of technogenic pollution in the pigment composition of Siberian spruce needles of the first year during the growing season;
- methods of recording options fast and slow chlorophyll fluorescence to evaluate the contribution of thermal and light pollution in the seasonal changes of the photosynthetic apparatus activity;
- determine the effect of air pollution on priority pollutants Siberian spruce needles in the analyzed period.

The results can be used to study the characteristics of the impact of man-made pollution in the Siberian fir.