

Министерство образования, науки и молодежной политики Республики Коми  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«КОМИ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ЛИЦЕЙ ПРИ СЫКТЫВКАРСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зам. директора

\_\_\_\_\_ О.Л. Дуркин

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

**Структурные изменения вегетативных побегов сосны обыкновенной  
(*Pinus sylvestris* L.) под влиянием атмосферного загрязнения  
выбросами Сыктывкарского лесопромышленного комплекса**

Исполнитель

Учащаяся 52 группы \_\_\_\_\_ Е.М. Макарова

Научный руководитель

Учитель биологии \_\_\_\_\_ Н.Л. Герасименко

Научный консультант

н.с. Института биологии Коми НЦ УрО РАН \_\_\_\_\_ С.Н. Плюсина

Сыктывкар, 2020

# Содержание

Введение .....	3
1. Обзор литературы .....	5
1.1. Систематика хвойных.....	5
1.2. Биология хвойных на примере сосны обыкновенной .....	6
1.3. Экология хвойных.....	8
1.4. Значение хвойных растений в природе и жизни человека .....	9
1.5. Характеристика выбросов АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» .....	10
2. Материал и методы.....	12
3. Результаты и обсуждение .....	15
Заключение.....	21
Литература.....	23
Приложения.....	24

## Введение

Хвойные древесные растения выполняют ведущую роль в формировании лесных биоценозов в северном полушарии. Способность этих растений создавать значительную биомассу в экстремальных условиях Севера является свидетельством больших адаптивных возможностей.

Сосновые леса в Республике Коми по площади и запасам древесины стоят на втором месте среди других древесных пород. Сосновые насаждения занимают четвертую часть покрытых лесной растительностью земель республики (25,1 %) и земель лесного фонда (19,8 %) и имеют исключительно большое народнохозяйственное значение (Государственный доклад, 2018.).

В городе Сыктывкаре по индексу загрязнения атмосферы уровень загрязнения воздуха определяется как «высокий». Источниками загрязнения являются предприятия деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и отчасти автотранспорт.

В последние десятилетия усиливается отрицательное действие антропогенных факторов, в том числе атмосферного загрязнения на растения. Хвойные растения вследствие многолетнего существования хвои характеризуются более низкой устойчивостью к техногенному загрязнению по сравнению с лиственными породами деревьев (Ладанова, Плюснина, 1998; Феклистов и др., 2005).

**Гипотеза:** под влиянием выбросов предприятия АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (СЛПК) в атмосферу могут изменяться морфологические и анатомические характеристики побегов сосны. Сосну обыкновенную можно использовать в качестве биоиндикатора для оценки загрязнённости атмосферы.

**Цель:** проследить морфологические и анатомические изменения вегетативных побегов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) под влиянием атмосферного загрязнения выбросами СЛПК.

**Объект исследования** – побеги и хвоя сосны обыкновенной.

**Предмет исследования** – морфологические и анатомические изменения побегов (в качестве биоиндикатора – хвоя сосны).

### **Задачи:**

1) Освоить методику определения морфометрических и структурных показателей хвои и стебля сосны.

2) Выявить особенности морфологии и анатомии вегетативных побегов сосны, собранных в сосняках черничных на разном удалении от предприятия (участки 1 и 2). Сравнить их с результатами, полученными ранее другими авторами.

3) Провести сравнение морфологических признаков побегов на участках: длина и диаметр стебля однолетнего побега, число и длина хвои на нём, охвоённость.

4) Провести сравнение количественных характеристик устьиц хвои: число рядов устьиц, число устьиц на 1 мм длины ряда, число устьиц на 1 мм длины хвоинки.

5) Провести сравнение структурных характеристик хвои: площадь сечения хвои, ширина хвои, толщина хвои, число смоляных каналов, диаметр смоляных каналов.

# 1. Обзор литературы

## 1.1. Систематика хвойных

В настоящее время голосеменных растений насчитывают около 720 видов. Отдел голосеменные разделяется на 4 класса: саговниковые, гнетовые, гинкговые и хвойные. Класс саговниковые – одна из наиболее древних групп голосеменных, распространенная в настоящее время довольно широко в тропических областях Земли. Представители – роды бовения, цикас (саговник) и др. Класс гнетовые – совершенно особая группа голосеменных, имеющая много черт, сближающих ее с покрытосеменными растениями. К гнетовым относятся гнетум, эфедра, вельвичия. Класс гинкговые представлен единственным ныне живущим реликтовым видом – гинкго двулопастной. Класс хвойные – самая распространенная в настоящее время группа голосеменных растений. Этот класс включает в себя такие порядки, как сосновые, тиссовые, кипарисовые и др. Из наиболее известных видов можно назвать сосну обыкновенную, лиственницу сибирскую, ель колючую, пихту кавказскую, кедр ливанский. Ниже приводится систематическое положение на примере сосны обыкновенной (Федоров, 1978; Рейвн и др., 1990).

Царство	Растения
Отдел	Голосеменные ( <i>Pinophyta</i> )
Класс	Хвойные, или пинопсиды ( <i>Pinopsida</i> )
Подкласс	Хвойные, или пиниды ( <i>Pinidae</i> )
Порядок	Сосновые ( <i>Pinales</i> )
Семейство	Сосновые ( <i>Pinaceae</i> )
Род	Сосна ( <i>Pinus</i> )
Вид	Сосна обыкновенная ( <i>Pinus sylvestris</i> )

Большинство авторов все семейства хвойных объединяет в один порядок – хвойные (Coniferales). Однако уже давно наметилась тенденция к разделению этой таксономически очень дифференцированной группы на несколько самостоятельных порядков, а иногда подклассов или даже классов. Из целого ряда попыток перестройки системы хвойных наиболее удачной оказалось деление на порядки, предложенное голландским ботаником А. Пулле (1937, 1950). В системе

Пулле хвойные делятся на 5 порядков – араукариевые (*Araucariales*), подокарповые (*Podocarpaceles*), сосновые (*Pinales*), кипарисовые (*Cupressales*) и тиссовые (*Taxales*). Если к этим пяти порядкам прибавить установленные палеоботаниками вымершие порядки вольциевые (*Voltziales*) и подозамитовые (*Podozamitales*) – их число было, вероятно, больше, то мы получим семь порядков.

Следует отметить, что с развитием науки, методов исследования систематика живых организмов постоянно меняется: одни таксоны упраздняются, другие – появляются вновь. С введением молекулярных, генетических маркеров при отнесении организмов, в том числе и растительных, к тому или иному таксону возникает масса мнений и разногласий. Систематика сегодня переживает новый виток в своем развитии, и какое место займет в ней завтра даже такое хорошо знакомое растение как сосна обыкновенная, сегодня сказать сложно.

Для обозначения уровня развития растений в многоярусных древостоях была введена система Крафта. Она включает в себя 5 различных по уровню развития классов растений (Федоров, 1978):

1. Наиболее развитые деревья, кроны которых возвышаются над пологом леса.
2. Деревья, формирующие полог.
3. Деревья, которые умеренно угнетены, верхняя часть кроны входит в полог леса.
4. Достаточно угнетенные деревья.
5. Отмирающие растения.

## **1.2. Биология хвойных на примере сосны обыкновенной**

Как в природе, так и в жизни человека хвойные занимают по своему значению второе место после цветковых растений, далеко превосходя остальные группы высших растений. В хвойных лесах накоплена огромная масса органического вещества, представляющая собой ценнейший источник древесины и многих других важных растительных продуктов.

По своей древности хвойные превосходят все ныне живущие группы семенных растений. Среди современных хвойных самыми древними семействами являются араукариевые, подокарповые и особенно сосновые. Более или менее

достоверные остатки представителей этих трех семейств известны уже из верхнепермских отложений, причем сосновые, по-видимому, появляются несколько раньше других (Федоров, 1978).

У сосны обыкновенной жесткие игольчатые листья (хвоя) располагаются парами на укороченных побегах. В основном поперечный срез хвои имеет полукруглые очертания, но на побегах средней части кроны хвоя имеет близкое к овальному сечению. Наибольшее количество хвои у побегов, находящихся в вершине кроны на концах ветвей. Каждая хвоинка прикрепляется к стеблю при помощи небольшого возвышения - подушечки. Считается, что листовая подушечка хвойных имеет стеблевое происхождение. Однолетняя хвоя сосны обыкновенной содержит те же гистологические элементы, что и другие виды сосны, однако степень их развития у нее несколько различается (рис. 1.1).

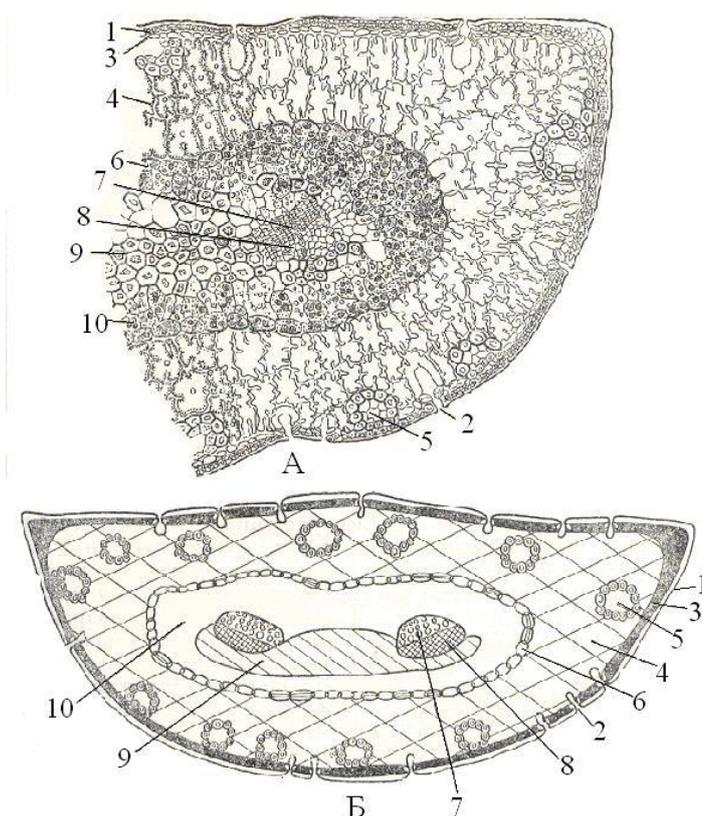


Рис. 1.1. Хвоя сосны в поперечном разрезе

1 – эпидерма, 2 – устьичный аппарат, 3 – гиподерма, 4 – складчатая паренхима, 5 – смоляной ход, 6 – эндодерма, 7 – ксилема, 8 – флоэма, 7-8 – проводящий пучок, 9 – склеренхима, 10 – паренхима (Федоров, 1978).

### 1.3. Экология хвойных

Экосистема хвойного леса – сложная, саморазвивающаяся, самоорганизующаяся и саморегулирующаяся система. Главной характеристикой экосистемы хвойного леса является взаимодействие всех живых организмов и растений между собой. В экосистеме хвойных лесов можно выделить две составляющих – биотический компонент и абиотический. Биотический компонент делится на гетеротрофный – организмы, приобретающие энергию вследствие процессов окисления органических веществ, и на автотрофный компонент – организмы, живущие за счет первичной энергии, получаемой из фото- и хемосинтеза, формирующие трофическую структуру экосистемы. Растительность хвойного леса разнообразна и состоит преимущественно из хвойных деревьев, таких как сосна, кедр, ель, лиственница и пихта. Растут в тайге также кустарники и кустарнички: жимолость, можжевельник, смородина, черника, брусника. Из травянистых растений в хвойном лесу можно встретить болиголов, кислицу, грушанку, майник, седмичник, ожику, голокучник и др.

Леса Республики Коми, расположенные на землях лесного фонда, и леса, расположенные на землях иных категорий, согласно лесному кодексу по целевому назначению подразделяются на защитные и эксплуатационные леса. Второе место по площади покрытых лесной растительностью земель республики (25,1 %) и земель лесного фонда (19,8 %) имеют древостои сосны, которые широко распространены во всех районах и произрастают почти на всех встречающихся почвах, кроме торфяников (рис. 1.2.).

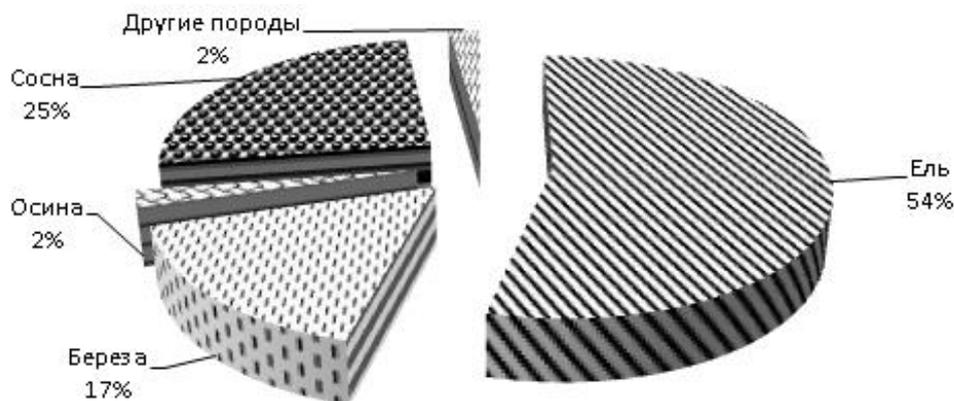


Рис. 1.2. Породный состав лесов в Республике Коми на 01.01.2019 г. (Государственный доклад, 2018).

## **1.4. Значение хвойных растений в природе и жизни человека**

Велико значение леса в природе. В лесу накапливается много снега и здесь он тает медленнее, чем на открытых пространствах. Талые воды впитываются в почву, пополняя запасы грунтовых вод, питают реки. На открытых просторах безлесных районов снег тает быстро. Потоки воды смывают с полей верхний плодородный слой почвы, постепенно образуются овраги, которые разъедают поля и отнимают у человечества пахотные земли. На безлесные районы часто обрушиваются пыльные бури. Они уносят верхний слой почвы, повреждают посевы, но там, где посажены лесные полосы, поля надежно защищены от суховея и черных бурь.

Неизмерима роль хвойного леса в жизни человека, ведь каждая хвоинка и лесная травинка – это маленькая фабрика по производству кислорода. Зеленые растения обогащают воздух кислородом, необходимым для дыхания всех живых существ. Многие хвойные породы деревьев выделяют особые вещества – фитонциды, которые очищают воздух от бактерий. Действие фитонцидов на организмы поражающее: через 20-30 минут после воздействия микроорганизмы погибают. Вот почему запах хвойного леса такой приятный, и в хвойном лесу так легко дышится.

Лес дает сырье для многих отраслей промышленности. Смола сосны, пихты необходима для производства канифоли, олифы, красок, лаков, медикаментов, скипидаров. Хвоя содержит много витаминов, поэтому из нее изготавливают лечебные препараты и кормовую хвойную муку. Научные технологии дошли до того, что ученые научились превращать древесину в ткани и множество других материалов. Лес необходим человеку, а для сохранности леса нужен человек (Миркин Б.М., Наумова Л.Г., 1995).

## **1.5. Характеристика выбросов АО «Монди Сыктывкарский ЛПК»**

В условиях развивающегося промышленного производства в России чрезвычайно важным является поиск необходимого баланса между потребностями промышленности в сырье, энергии, размещении отходов производства, включая выбросы и сбросы, и потребностями граждан. Для определения выброса загрязняющих веществ в атмосферу предприятием использовались методики, внесенные в Госреестр методик количественного химического анализа и допущенные для целей государственного экологического контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. На предприятии имелось более 200 источников выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, и на все источники установлены нормативы выбросов по тому «Предельно допустимые выбросы» (ПДВ). Разрешение на выброс загрязняющих веществ выдается сроком на один год и более чем по 40 ингредиентам с указанием лимитов в пределах временно согласованных выбросов (ВСВ). На многих источниках выбросов отсутствуют приборы измерения газовых потоков, поэтому проводятся ручные замеры по определению объема газового потока. При таком количестве источников выбросов определение объема выброса производится от одного раза в месяц до одного раза в год. Объем требуемых сведений очень велик, при этом их достоверность остается под вопросом. В составе выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии выброс окиси углерода составлял 70,9%, диоксида азота – 14,4%, взвешенных веществ – 10,7% и соединений суммарной газообразной серы в пересчете на серу – 1,9% от общего выброса предприятия по этим компонентам (рис. 1.3.).

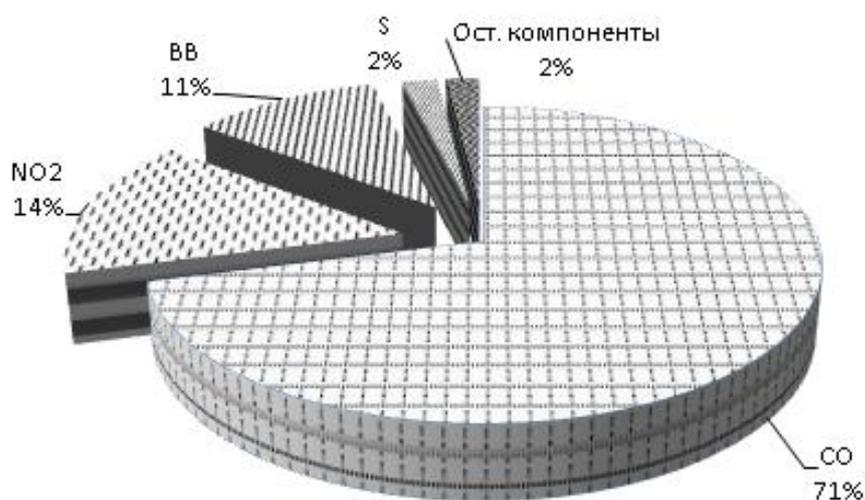


Рис. 1.3. Долевой вклад газовых выбросов предприятия по составу в общий выброс загрязняющих веществ в атмосферу в 2006 г. (Цыганов, 2008).

В газовых выбросах энергетических котлов предприятия отсутствуют взвешенные вещества (ВВ) и диоксид серы, выброс окиси углерода с газовыми выбросами этих котлов составляет 0,4% от общего выброса предприятия. Основным компонентом в газовых выбросах энергетических котлов являются окислы азота, при этом выброс окислов азота в расчете на диоксид азота составил в 57,3% от общего выброса предприятия. Анализ удельного выброса основных загрязняющих веществ технологического оборудования показал, что на предприятии выброс взвешенных веществ содорегенерационными котлами (СРК) составил 84,9%, известерегенерационными печами (ИРП) – 5,9% и корьевыми котлами – 9,2% от общего выброса взвешенных веществ на предприятии. Выброс окиси углерода обеспечили на 55% СРК и на 45,1% – корьевые котлы. Из технологического оборудования выброс диоксида азота СРК и корьевых котлов составлял по 11,2%, ИРП – 8,4%. Основной выброс диоксида серы зафиксирован также на СРК – 47,2% от общего выброса предприятия (Цыганов, 2008).

## 2. Материал и методы

Объектом нашего исследования являлись побеги сосны обыкновенной, собранные с деревьев, произрастающих на разном удалении от АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (СЛПК). Образцы собраны в августе 2018 г. сотрудниками отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН и любезно предоставлены для работы руководителем экологического отделения Малой академии наук ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, к.б.н., научным сотрудником Института биологии Коми НЦ УрО РАН Плюсониной С.Н. Опытный участок (умеренное загрязнение) – 11,2 км от СЛПК (черничный свежий, 9С1Б+Ос). Контрольный участок – 48,5 км от СЛПК, территория Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (черничный свежий, 9С1Б, ед.Е).

Для исследования на каждом участке были выбраны 3-5 деревьев IV–V класса возраста и III класса развития по Крафту. С деревьев срезали ветви 2-3 порядка ветвления длиной 10-15 см (срез производился секатором).

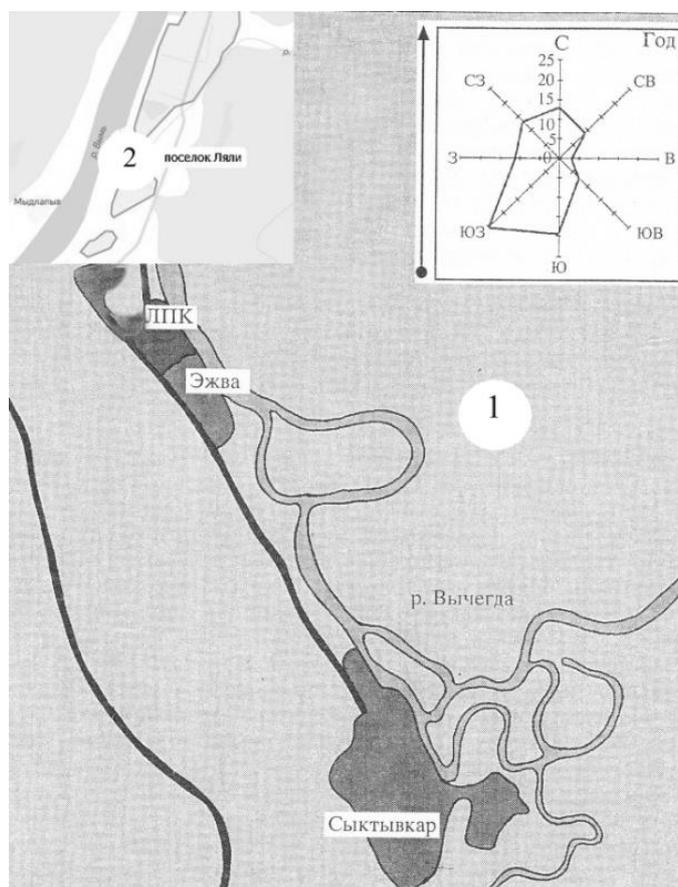


Рис. 2.1. Схема расположения экспериментальных участков (по Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А., 2003). 1 – опытный участок, 2 – контрольный участок.

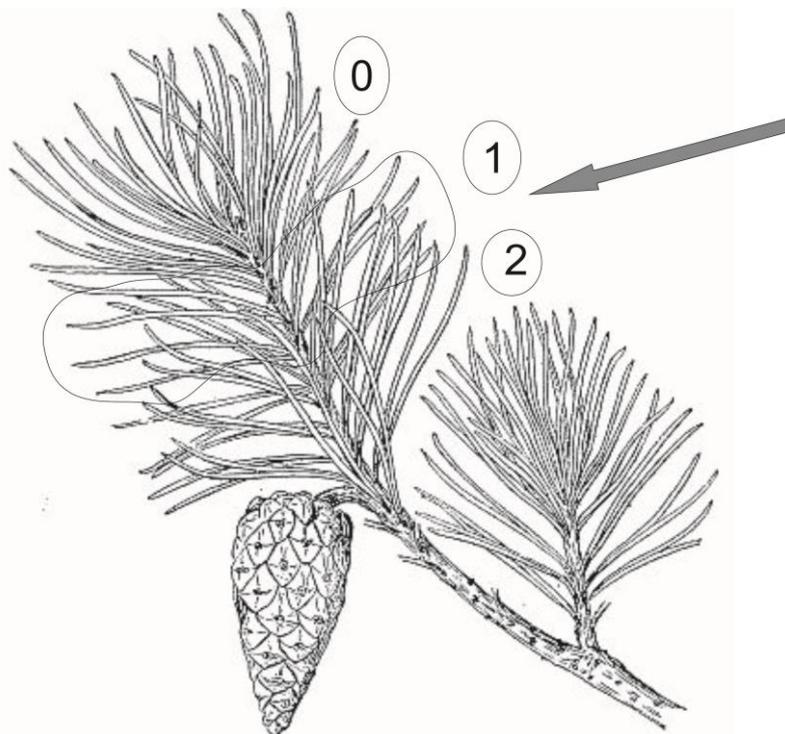


Рис. 2.2. Побеги сосны с хвоей разного возраста.  
Побеги: 0 – текущего года; 1 – однолетний побег; 2 – двухлетний побег  
(Рейвн, 1990).

Камеральная обработка образцов для морфологического исследования производилась в кабинете биологии ГОУ «КРЛ при СГУ» в период с октября 2018 года по февраль 2019 года, а для анатомического исследования – в период с января по февраль 2020 г. Автором было обработано 11 побегов сосны обыкновенной (6 побегов – умеренное загрязнение, 5 побегов – контроль).

Для изучения морфологии хвои проводили следующие измерения:

1) Побег делили на годичные побеги и для дальнейшего изучения отбирали однолетний (сформированный в 2017 году) побег (рис. 2.2).

2) Далее отделяли хвоинки от однолетнего побега и считали количество хвоинок (растут арами, чётное число), общее число образцов хвои (20\*11 побегов) С помощью миллиметровой линейки измеряли длину стебля (мм), длину хвои (мм). Измерение диаметра стебля (мм) проводили при помощи штангенциркуля.

3) С помощью стереоскопического микроскопа МС - 2ZOOM (увеличение объектива х4) в средней части хвоинки считали: число рядов устьиц

на всех гранях хвоинки (2 прерывающихся ряда = 1 полному ряду), число устьиц на 1 мм ряда, затем рассчитывали число устьиц на 1 мм ряда в средней части хвоинки (число устьиц на 1 мм ряда × количество рядов).

4) Определяли охвоённость побегов как число хвои на единицу длины стебля, рассчитывали по формуле: число хвои на годичном побеге / длина стебля годичного побега (шт./мм)).

При изучении анатомии хвои проводили следующие измерения:

- 1) Отбирали по 5-7 хвоинок с каждого побега, изученного при морфологическом исследовании.
- 2) Далее делали тонкие поперечные срезы лезвием (около 50-70 штук) и помещали их в дистиллированную воду.
- 3) Вылавливали деревянной палочкой лучшие срезы из дистиллированной воды (около 20 штук) и помещали их на предметное стекло с глицерином, накрывали покровным стеклом.
- 4) Далее помещали временные препараты под оптический микроскоп Axiovert 200M и в режиме флюоресценции делали цифровые снимки.
- 5) С помощью компьютерной программы (ZEN 2011) проводили измерения структурных параметров хвои: площадь сечения, ширина и толщина хвои, число и диаметр смоляных каналов.

Статистическая обработка проведена с помощью программы Microsoft Excel. Значимость отличий исследуемых показателей от контроля проверяли с помощью критерия Стьюдента (Лакин Г.Ф., 1990). Проанализированы следующие параметры: длина хвои, число рядов устьиц, число устьиц на 1 мм хвоинки, площадь поперечного сечения хвои, ширина хвои, толщина хвои, число смоляных каналов, диаметр смоляных каналов.

### 3. Результаты и обсуждение

Для оценки атмосферного загрязнения были изучены изменения структурных параметров побегов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на разном удалении от СЛПК, на участке с умеренным загрязнением (11,2 км от СЛПК) и на контрольном участке (48,5 км от СЛПК).

При сравнении результатов опыта и контроля по основным 13 критериям, были получены следующие результаты.

Выявлено, что средняя длина побега на участке с умеренным загрязнением составила  $58,7 \pm 18$  мм (табл. 3.1). Средняя длина побега на контрольном участке составила  $62 \pm 14,4$  мм (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Характеристика морфологии побегов сосны на разном удалении от СЛПК				
Параметры	Участок 1 (Опыт)		Участок 2 (Контроль)	
	срзнач $\pm$ стандоткл		срзнач $\pm$ стандоткл	
	min.. max	$\Delta V, \%$	min.. max	$\Delta V, \%$
Длина побега, мм	$58,7 \pm 18$ 34.. 99	30,7	$62,0 \pm 14,4$ 48.. 88	23,2
Диаметр побега, мм	$3,2 \pm 0,6$ 2,5.. 5	18,8	$3,8 \pm 0,6$ 2,9.. 5,1	15,8
Число хвои, шт.	$110,7 \pm 24,0$ 80.. 156	21,7	$119,6 \pm 37,9$ 76.. 184	31,7
Охвоённость побега, шт./мм	$2,0 \pm 0,2$ 1,6.. 2,4	10	$1,9 \pm 0,2$ 1,6.. 2,1	10,5
Длина хвои, мм	$46,0 \pm 3,7^*$ 41.. 53	8	$52,8 \pm 3$ 47.. 59	5,7

Примечание: \* различия между опытным и контрольным участками значимы при  $p < 0.05$ ; здесь и далее в таблицах  $\Delta V$  – коэффициент вариации (Лакин, 1990).

Показано, что среднее число хвои на однолетнем побеге выше на контрольном участке и составляет  $120 \pm 37$  шт., на участке с умеренным загрязнением составляет  $110 \pm 24$  шт. (табл. 3.1).

Выявлено, что средний диаметр побега на участке с умеренным загрязнением составил  $3,2 \pm 0,6$  мм (табл. 3.1). Средний диаметр побега на контрольном участке составил  $3,8 \pm 0,6$  мм (табл. 3.1).

Как показано на рисунке 3.1., средняя длина хвоинок на контрольном участке составляет  $52,8 \pm 3$  мм (табл. 3.1). С приближением к источнику загрязнения

средний показатель длины хвои сосны уменьшается на 13%, различия значимы при  $p < 0,05$ . Аналогичные данные были получены для хвои сосны в сосняках черничных ранее (Ладанова, Плюснина, 1998): хвоя на загрязненном участке была короче, чем на контрольном участке на 11%.

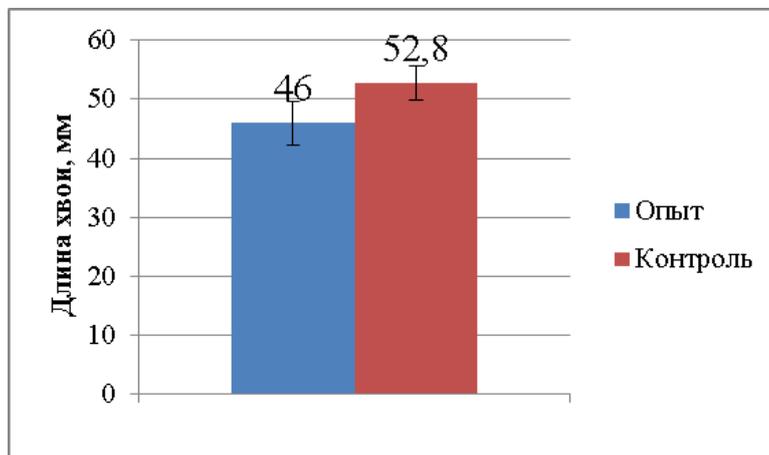


Рис. 3.1. Длина хвои (мм) на участках с разной степенью загрязнения.

Охвоенность побегов на обоих участках (умеренное загрязнение и контроль) составила 2 хвоинки на 1 мм длины побега (табл.3.1).

Как показано на рисунке 3.2., среднее значение числа рядов устьиц на контрольном участке составляет  $18,6 \pm 0,7$ . С приближением к источнику загрязнения среднее значение числа рядов устьиц сосны уменьшается на 14%. Однако данные различия незначимы. В литературе (Ладанова, Плюснина, 1998) имеются сведения о том, что число устьичных рядов в опытных образцах и в контроле различаются незначительно.

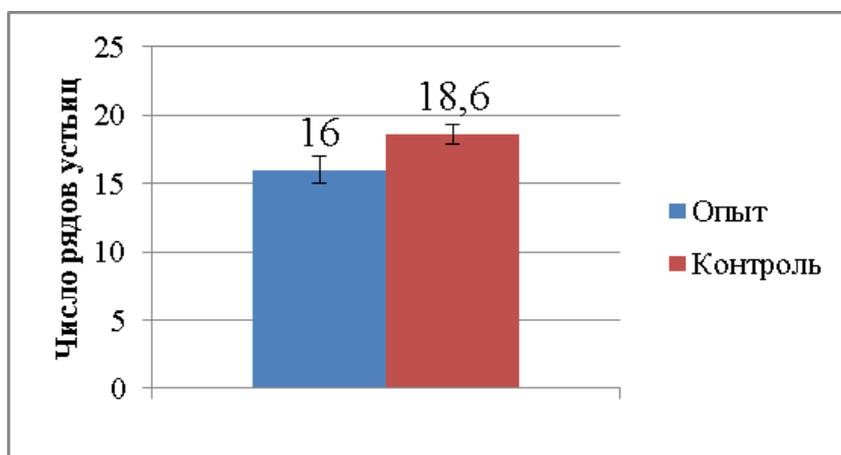


Рис. 3.2. Число рядов устьиц на участках с разной степенью загрязнения.

Показано, что среднее значение числа устьиц на 1 мм длины ряда на участке с умеренным загрязнением составляет  $10,4 \pm 0,4$ , на контрольном участке также составляет  $10,4 \pm 1$  (табл. 3.2).

Таблица 3.2

<b>Количественная характеристика устьиц хвои на разном удалении от СЛПК</b>					
<b>Параметры</b>	<b>Участок 1 (Опыт)</b>		<b><math>\Delta V, \%</math></b>	<b>Участок 2 (Контроль)</b>	
	<u>срзнач <math>\pm</math> стандоткл</u> min.. max			<u>срзнач <math>\pm</math> стандоткл</u> min.. max	
Число устьичных рядов	$16,0 \pm 1$ 14.. 18		6,3	$18,6 \pm 0,7$ 18.. 20	
Число устьиц на 1 мм ряда	$10,3 \pm 0,4$ 10.. 11		3,9	$10,4 \pm 1,0$ 9.. 13	
Число устьиц на 1 мм хвои	$165,5 \pm 15,5^*$ 140.. 187		9,4	$193,0 \pm 19,2$ 171.. 234	

Примечание:\* различия между опытным и контрольным участками значимы при  $p < 0.05$ .

Ранее показано, что под влиянием атмосферных загрязнителей уменьшается число устьиц у устойчивых видов и увеличивается у неустойчивых (Николаевский, 1979). Согласно нашим данным, среднее значение числа устьиц на 1 мм длины хвоинки на контрольном участке составляет  $193 \pm 19,2$  (рис. 3.3). С приближением к источнику загрязнения среднее значение числа устьиц на 1 мм длины хвоинки сосны достоверно уменьшается на 14%. Ладанова Н.В. и Плюсина С.Н ранее показали, что число устьиц на 1 мм длины хвоинки в опытных образцах и в контроле варьировало незначительно (Ладанова, Плюсина, 1998).

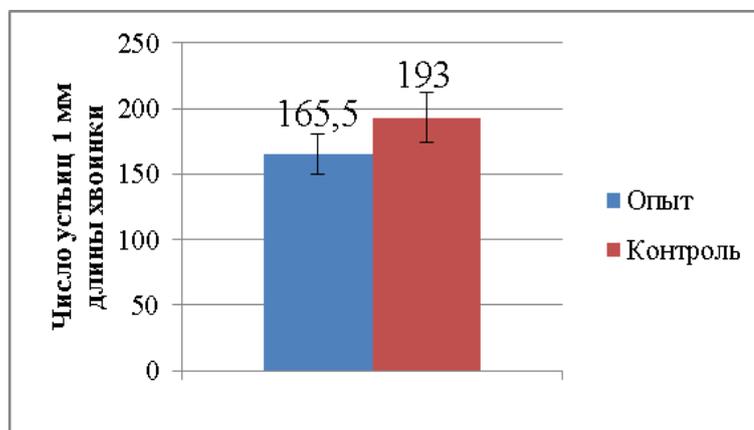


Рис. 3.3. Число устьиц на 1 мм длины хвоинки на участках с разной степенью загрязнения

Как показано на рисунке 3.4, средняя площадь сечения хвои (мм<sup>2</sup>) на участке с умеренным загрязнением составила 0,67±0,04 мм<sup>2</sup> (табл. 3.3). Средняя площадь сечения хвои на контрольном участке составила 0,92±0,09 мм<sup>2</sup>. При этом данные различия незначимы. Ранее (Ладанова, Плюсина, 1998) было показано отсутствие значительных отклонений от контроля в диаметре поперечного среза однолетней хвои в сосняках черничных около СЛПК.

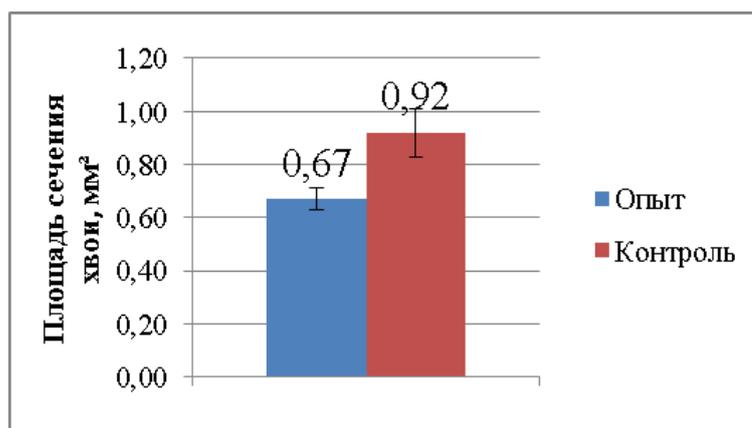


Рис. 3.4. Площадь сечения хвои (мм<sup>2</sup>) на участках с разной степенью загрязнения

Таблица 3.3

Структурная характеристика хвои на разном удалении от СЛПК				
Параметры	Участок 1 (Опыт)	ΔV,%	Участок 2 (Контроль)	ΔV,%
	срзнач ± стандоткл min..max		срзнач ± стандоткл min..max	
Площадь сечения хвои, мм <sup>2</sup>	$0,67 \pm 0,04$ 0,61..0,77	6	$0,92 \pm 0,09$ 0,7..1,03	9,8
Ширина хвои, мм	$1,31 \pm 0,06$ 1,23..1,4	4,6	$1,54 \pm 0,11$ 1,26..1,68	7,14
Толщина хвои, мм	$0,63 \pm 0,02$ 0,61..0,66	3,2	$0,72 \pm 0,02$ 0,66..0,76	2,8
Число смоляных каналов, шт	$8 \pm 0,67$ 7..9	8,4	$10 \pm 0,32$ 9..10	3,2
Диаметр смоляных каналов, мкм	$56,1 \pm 6,93^*$ 42..64,8	12,4	$72,18 \pm 2,4$ 67,44..74,75	3,3

Примечание:\* различия между опытным и контрольным участками значимы при  $p < 0.05$ .

Показано (рис. 3.5), что средняя ширина хвои на участке с умеренным загрязнением составила 1,31±0,06 мм (табл. 3.3). Средняя ширина хвои на

контрольном участке составила  $1,54 \pm 0,11$  мм (табл.3.3). При этом данные различия незначимы.

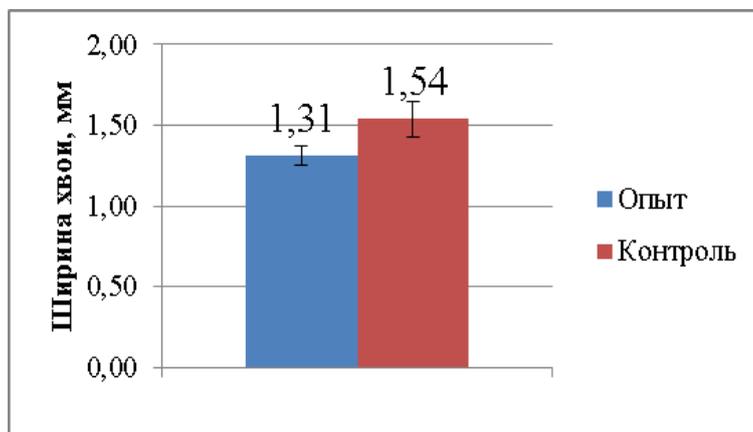


Рис. 3.5. Ширина хвои (мм) на участках с разной степенью загрязнения

Выявлено (рис. 3.6), что средняя толщина хвои на участке с умеренным загрязнением составила  $0,63 \pm 0,02$  мм (табл. 3.3). Средняя толщина хвои на контрольном участке составила  $0,72 \pm 0,02$  мм (табл. 3.3). При этом данные различия недостоверны.

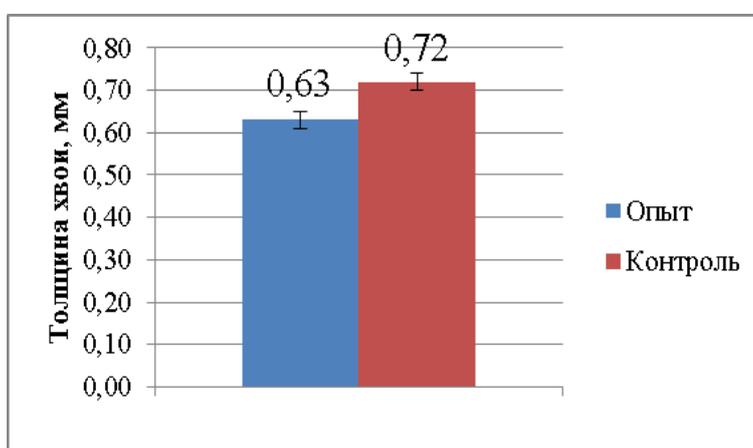


Рис. 3.6. Толщина хвои (мм) на участках с разной степенью загрязнения

На рисунке 3.7 показано, что на загрязненной территории уменьшалось среднее число смоляных каналов:  $8 \pm 0,67$  против  $10 \pm 0,32$  на контрольном участке (табл. 3.3), что ранее было отмечено также для ели, произрастающей вблизи СЛПК (Тужилкина, Плюснина, 2014). При этом данные различия недостоверны.

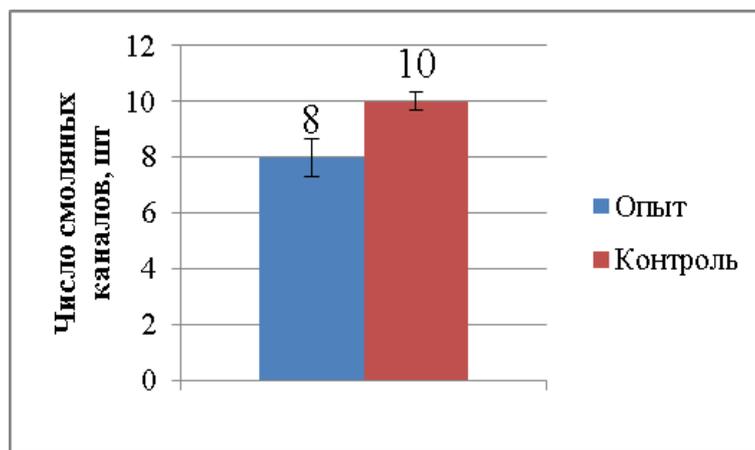


Рис. 3.7. Число смоляных каналов (шт.) на участках с разной степенью загрязнения

На рисунке 3.8 показано, что средний диаметр смоляных каналов ( $\mu\text{m}$ ) на участке с умеренным загрязнением составляет  $56,1 \pm 6,93$ , на контрольном участке –  $72,2 \pm 2,4$  (табл. 3.3). При этом данные различия достоверны. Известно, что сокращение смолоносной зоны в хвое потенциально может снижать ее сохранность и устойчивость к патогенным микроорганизмам.

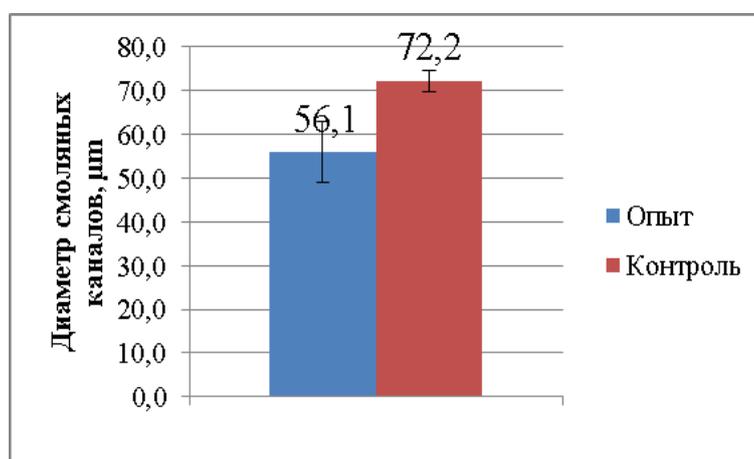


Рис. 3.8. Диаметр смоляных каналов ( $\mu\text{m}$ ) на участках с разной степенью загрязнения

Анализ вариабельности изученных признаков показал, что наиболее изменчивы морфологические признаки побега: длина и диаметр стебля, число хвои на однолетнем побеге ( $\Delta V > 15\%$ ) (табл. 3.1). Структурные параметры устьиц и хвои варьируют в меньшей степени ( $\Delta V \leq 10\%$ ) (табл. 3.2, табл. 3.3). Исключение составляет диаметр смоляных каналов на загрязненном участке ( $\Delta V = 12,4\%$ ).

## Заключение

В данной работе были изучены морфологические и анатомические изменения побегов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) под влиянием атмосферного загрязнения выбросами АО «Монди Сыктывкарский ЛПК».

По результатам выполненной работы были сделаны следующие выводы:

1. Были изучены методики определения структурных показателей хвои и стебля сосны.
2. Средние показатели морфологии побегов: длина и диаметр побегов, число хвои и длина хвои на участке с умеренным загрязнением уменьшаются по сравнению с контрольным.
3. Средние показатели количественных характеристик устьиц хвои: число рядов устьиц, число устьиц на 1 мм длины хвои на участке с умеренным загрязнением уменьшаются.
4. Средние показатели структурных характеристик хвои: площадь сечения хвои, ширина хвои, толщина хвои, число смоляных каналов, диаметр смоляных каналов на участке с умеренным загрязнением уменьшаются.
5. С приближением к источнику атмосферного загрязнения охвоенность побегов и число устьиц на 1 мм длины ряда не изменяются (на участке 1 и 2 одинаковы).

Выявлено, что хвоя сосны обыкновенной является своеобразным биоиндикатором для оценки загрязнённости атмосферы. С приближением к источнику атмосферного загрязнения выбросами целлюлозно-бумажного производства морфологические и анатомические параметры побегов сосны в сосняке черничном в зоне умеренного загрязнения имеют более низкие показатели, чем на контрольном участке, различия значимы у следующих параметров: длина хвои, число устьиц на 1 мм длины хвои, диаметр смоляных каналов ( $p < 0,05$ ). Средние значения таких параметров, как охвоенность побега и число устьиц на 1 мм длины устьичного ряда не различаются по участкам, поэтому эти параметры нельзя использовать как индикаторные. Таким образом, выдвинутая в начале исследования гипотеза частично подтвердилась.

Выражаем искреннюю благодарность руководителю экологического отделения Малой академии наук ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, к.б.н., научному

сотруднику Института биологии Коми НЦ УрО РАН Плюсниковой Светлане Николаевне за помощь в освоении методики изучения морфологии и анатомии хвои сосны и консультации при обсуждении результатов.

## Литература

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2018 году» : гос. доклад / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «Территориальный фонд информации Республики Коми» ; редакционная коллегия: Р.В. Полшведкин (главный редактор) [и др.]. – Сыктывкар, 2019. – 163 с.
2. Ладанова Н.В., Плюснина С.Н. Анатомо-морфологические изменения разновозрастной хвои сосны обыкновенной в зоне действия Сыктывкарского лесопромышленного комплекса // Лесн. журн., 1998. №1 . С. 7-11.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. Вузов - М.: Высш. шк., 1990.-352 с.
4. Миркин Б.М, Наумова Л.Г. Принципы рационального использования лесных экосистем//Экология России 9-11 класс.1995.-232 с.
5. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений.- Новосибирск: Наука,1979.-278с.
6. Плюснина С.Н. Хвоя ели сибирской при аэротехногенном загрязнении выбросами целлюлозно-бумажного производства// Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения. Матер.межд. конф. Архангельск: Ин-т экологических проблем Севера УрО РАН, 2002. С. 490-495.
7. Рейвн П., Эверт Р., Айкхорн С. Современная ботаника: в 2-х т.Т.1,-М.: Мир,1990.-348 с.
8. Тужилкина В.В., Плюснина С.Н. Комплексная оценка состояния хвои *Picea obovata* (Pinaceae) в условиях аэротехногенного загрязнения // Растительные ресурсы, 2014. Т. 50. Вып. 4. С. 579-587.
9. Федоров А.А. Т. 4. Мхи. Плауны. Хвощи. Папоротники. Голосеменные растения. М.: Просвещение, 1978. - 447 с.
10. Феклистов П.А., Тутыгин Г.С. Дрожжин Д.П. Состояние сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы.- Архангельск, изд-во АГТУ, 2005.- 132 с.
11. Цыганов С.П., Личутина Т.Ф., Гусакова М.А., Вишнякова А.П //Газовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в ОАО "Монди Сыктывкарский ЛПК". Сыктывкар, 2008.

## Приложения

### Приложение 1

<b>Морфология побегов, участок 1</b>					
№ побега	Длина побега	Число хвои	Диаметр побега	Длина хвои	Охвоенность
1	34	80	2,5	43	2,4
2	99	156	5	50	1,6
3	69	128	3	53	1,9
4	44	94	3	43	2,1
5	44	86	2,5	41	2
6	62	120	3,1	46	1,9
<b>Ср.значение</b>	<b>58,7</b>	<b>110,7</b>	<b>3,2</b>	<b>46</b>	<b>2,0</b>
<b>Ср.отклонение</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>0,6</b>	<b>3,7</b>	<b>0,2</b>

### Приложение 2

<b>Морфология побегов, участок 2</b>					
№ побега	Длина побега	Число хвои	Диаметр побега	Длина хвои	Охвоенность
1	72	150	2,9	50	2,1
2	48	94	3,8	55	2,0
3	42	76	5,1	59	1,8
4	88	184	3,1	47	2,1
5	60	94	4,1	53	1,6
<b>Ср.значение</b>	<b>62</b>	<b>119,6</b>	<b>3,8</b>	<b>52,8</b>	<b>1,9</b>
<b>Ср.отклонение</b>	<b>14,4</b>	<b>37,9</b>	<b>0,6</b>	<b>3</b>	<b>0,2</b>

### Приложение 3

<b>Количественные характеристики устьиц хвои, участок 1</b>			
№ побега	Число рядов устьиц	Число устьиц на 1 мм ряда	Число устьиц 1 мм хвоинки
1	14	10	140
2	18	10	180
3	17	11	187
4	16	11	176
5	15	10	150
6	16	10	160
<b>Ср.значение</b>	<b>16</b>	<b>10,3</b>	<b>165,5</b>
<b>Ср. отклонение</b>	<b>1</b>	<b>0,4</b>	<b>15,5</b>

Приложение 4

<b>Количественные характеристики устьиц хвои, участок 2</b>			
№ побега	Число рядов устьиц	Число устьиц на 1 мм ряда	Число устьиц 1 мм хвоинки
1	18	13	234
2	18	10	180
3	20	10	200
4	18	10	180
5	19	9	171
<b>Ср. значение</b>	<b>18,6</b>	<b>10,4</b>	<b>193</b>
<b>Ср. отклонение</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>	<b>19,2</b>

Приложение 5

<b>Структурные характеристики хвои, участок 1</b>					
№ побега	Площадь сечения хвои, мм <sup>2</sup>	Ширина хвои, мм	Толщина хвои, мм	Число смоляных каналов, шт	Диаметр смоляных каналов, мш
1	0,61	1,23	0,61	7	49,4
2	0,77	1,39	0,66	9	64,8
3	0,69	1,27	0,65	8	58,6
4	0,63	1,25	0,63	8	42
5	0,65	1,3	0,62	7	59,7
6	0,68	1,4	0,61	7	62,1
<b>Ср. значение</b>	<b>0,67</b>	<b>1,31</b>	<b>0,63</b>	<b>8</b>	<b>56,1</b>
<b>Ср. отклонение</b>	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>	<b>0,02</b>	<b>0,67</b>	<b>6,93</b>

Приложение 6

<b>Структурные характеристики хвои, участок 2</b>					
№ побега	Площадь сечения хвои, мм <sup>2</sup>	Ширина хвои, мм	Толщина хвои, мм	Число смоляных каналов, шт	Диаметр смоляных каналов, мш
1	0,7	1,26	0,66	9	67,44
2	1,03	1,6	0,76	10	70,93
3	0,96	1,57	0,73	10	73,71
4	0,93	1,59	0,72	10	74,08
5	1	1,68	0,72	10	74,75
<b>Ср. значение</b>	<b>0,92</b>	<b>1,54</b>	<b>0,72</b>	<b>10</b>	<b>72,18</b>
<b>Ср. отклонение</b>	<b>0,09</b>	<b>0,11</b>	<b>0,02</b>	<b>0,32</b>	<b>2,4</b>