

Министерство общего и профессионального образования Свердловской области  
Муниципальное управление образования городского округа Краснотурьинск  
МАУ ДО «Станция юных натуралистов»  
ДТО «Эколог-исследователь»

Всероссийский юниорский лесной конкурс

“Подрост”

Направление: лесоведение и лесоводство

**Минеральная подкормка сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour)**

**Памятника природы «Старые культуры кедра»**

**и её влияние**

**на ассимиляционный аппарат**

**и размер годичных колец**

Автор: Молодцова Оксана

**Научный руководитель:**  
Давлятшина Нина Ивановна,  
ПДО высшей категории

г. Москва, 2019/2020 учебный год

## Содержание

Оглавление	стр.
Ведение	3
Теоретическая часть	5
Практическая часть	8
Характеристика района исследований	8
Методы и методика	9
Материалы и оборудования	11
Результаты и обсуждения	11
Изучение влияния минеральной подкормки 2015 года на морфологические признаки хвои	11
Изучение влияния минеральной подкормки 2015 года на ширину годичных колец	15
Микроскопическое исследование поперечных срезов кернов	21
Анализ изменений ассимиляционного аппарата и величины годичных колец в результате минеральной подкормки 2015 года	23
Выводы	23
Источники информации	24
Термины и определения	25
Приложения	26-46

## Введение

В современных условиях сильного антропогенного воздействия на внешнюю среду успешное проведение экологического мониторинга должно позволить прогнозировать изменение характеристик отдельных звеньев и на предсказать дальнейшую эволюцию экосистемы во времени. Мониторинг состояния Памятника природы (ПП) «Старые культуры кедра» города Карпинска – актуальная задача для региона. Но не менее актуальная задача - помочь ей выжить в условиях антропогенной нагрузки. «Областная сеть памятников природы (ПП) была создана в основном еще в советский период, и за прошедшую четверть века не было полноценных работ по оценке состояния ПП...» (Шавнин С.А., Галако В.А., Власенко В.Э., Ерохина О.В., Пустовалова Л.А., 2008). Изучением состояния этого уникального насаждения начинали заниматься студенты Уральского лесотехнического института (устные сведения Н. Клебанова, бывшего преподавателя кафедры фитопатологии) в далёкие 70-е годы прошлого столетия. Затем проводились исследования юных натуралистов Карпинска под руководством А.П. Ябс. Информационный стенд о том, что данный Памятник природы – уникальное насаждение говорит о том, что следует бережно относиться к наследию и охранять его. Исследователями Краснотурьинска определено, что насаждение деградирует. (В.Ложкин, 2013-2015). Поэтому начата работа по его восстановлению. В 2015 году была проведена минеральная подкормка, результаты которой мы попытаемся исследовать в настоящей работе. В 2019 году на этих же участках проведена повторная подкормка. Деградация Памятника природы - одно из проявлений глобальных изменений, происходящих на Земле и в то же время – следствие негативного влияния антропогенной нагрузки. Выяснение настоящих причин деградации припоселковых кедровников на примере ПП «Старые культуры Кедр» делает тему *актуальной*. Известно, что воздействие человека на весь растительный мир может быть прямым и косвенным. Однако, к сожалению, это не меняет ситуацию, и надо спасать кедровую рощу. Что можем сделать мы,

чтобы изменить обстановку? Чтобы ответить на этот вопрос, надо, прежде всего, знать, что и как можно исправить.

Мы выдвинули **гипотезу**, что минеральная подкормка способна улучшить состояние сосны сибирской и определить это влияние можно по характеристике хвои и годичных колец.

**Объект исследования:** ПП «Старые культуры кедр»

**Предмет исследования:** Оценка влияния минеральной подкормки на состояние хвои и ширину годичных колец.

**Цель работы.** Оценить воздействие минеральной подкормки по длине и весу хвои, ширине годичных колец и провести дальнейшую подкормку древесной золой.

В процессе работы решались следующие **задачи**:

1. Обобщение и анализ сведений по изучаемой проблеме;
2. Анализ природных условий района исследований;
3. Оценка веса и длины мутовок побегов текущего года;
4. Оценка состояния сосны сибирской по величине годичных колец

путём взятия кернов отдельных экземпляров сосны кедровой, получившей подкормку и контрольных.

**Новизна исследований.** Впервые для района исследований сделана оценка влияния минеральной подкормки на состояние насаждения сосны сибирской.

**Практическая значимость.** Полученные материалы могут послужить разработке поэтапной реабилитации Памятника природы.

## 1. Теоретическая часть

Деревья кедра сибирского Ботанического памятника природы в городе Карпинске, ввиду высокой антропогенной нагрузки, теряют жизнеспособность. Это проявляется в замедленном росте, повреждении стволов вредителями, усыхании отдельных ветвей, изреживании кроны. Считаем, что вполне можем внести свой вклад в её восстановление.

Мы изучили практику лесоводства, когда доказала, что делая минеральные подкормки редких пород (Уральская лесотехническая академия) добиваются значительного улучшения приростов в высоту и толщину. Существует специальный приказ, и мы считаем, что нельзя не согласиться с основным пунктом этого приказа: «Удобрение лесов как самостоятельное мероприятие применяется в лесных насаждениях в целях повышения их устойчивости к воздействиям негативных факторов» (Мясников, 2016). Исходя из этого понятно, что уход в виде удобрения – хороший способ повышения устойчивости рощи. Считаем, что ответ на подкормку можно зафиксировать с помощью двух методов: по динамике годичных колец и изучению хвои. Известно, что структура годичных колец и величина годового прироста зависят от множества факторов, как климатических, так и экологических. В то же время, прирост годичных колец — четкий индикационный признак состояния почвы в предыдущие годы. Годичные кольца — результат сезонной активности производящих клеток структуры, изменения условий питания, созревания половых продуктов, болезней и прочее (Е. А. ВАГАНОВ, И. А. ТЕРСКОВ, 1977). Авторы доказывают, что большая часть материалов о вариациях биологических параметров сообщества получена посредством «поперечных сечений». Их методика по фотометрическим кривым помогает выяснить экологические и другие данные древесных образцов. Исследовать годичные кольца возможно взятием небольшого цилиндрического образца (керн), при котором дерево продолжает расти. Керн древесины из ствола растущего модельного дерева

извлекается при помощи специального устройства, называемого бурав возрастной. С его помощью можно узнать, как растения реагируют на воздействие факторов урбанизированной среды анатомо-морфологическими и физиологическими изменениями своих органов (С.Н.Русак, 2018). По результатам диссертации известно: «Древесные растения в условиях урбанизированной среды испытывают четкое снижение прироста, сокращение сроков жизни листьев и хвои, снижение ассимиляционной поверхности кроны деревьев и декоративности». Как следствие этого у сосны сибирской происходит перестройка в структуре пигментных комплексов и, тем самым повышаются ее адаптивные возможности к негативному воздействию загрязняющих поллютантов атмосферного воздуха. Однако изучение пигментов хвои затруднительно ввиду отсутствия оборудования.

Но мы попытаемся доказать, что под воздействием подкормки изменяется длина, окраска, вес хвои. Подобные исследования проводились в лесных культурах сосны кедровой (А.П. Зотикова, О.Г. Бендер 2007 г.) при поддержке АН России. Выявлено, что у быстро растущих саженцев в процессе фотосинтеза метаболитов усиливается рост кедрового. Доказана различная фотосинтетическая активность у сосны сибирской по сравнению с другими видами сосны (А.П. Зотикова 2014г). Кедр сибирский, кедровый стланик и их естественные гибриды в одинаковых условиях произрастания отличались уровнем фотосинтетических пигментов и скоростью электрон-транспортных реакций. Значит, пигменты хвои зависят от вида кедрового. Но мы будем изучать этот показатель в пределах одного вида. А поскольку «в лесных экосистемах хвоя играет важную функциональную роль, которая определяется ее активностью в процессах роста и развития, взаимодействием с другими компонентами биогеоценозов и средой обитания» (Н. СУНГУРОВА, В. ХУДЯКОВ, 2015), то её изучение в данном исследовании просто необходимо.

Логично предположить, что между состоянием кроны и годичными приростами существует тесная взаимосвязь. И такие работы существуют. Так, например, учёными исследована связь между жизненным состоянием дерева и величиной радиального прироста у кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour в припоселковом кедровнике (Д. Демидко, С.А. Кривец, Э.М. Бисирова, 2010). Показаны четкие различия радиального прироста ствола у деревьев с разным состоянием кроны. Связь погоды и радиального прироста деревьев исследована во многих работах. Известно, что ширина годичных колец показывает наивысшие корреляции с погодными условиями тогда, когда какой-либо фактор находится в дефиците. Большое количество осадков и относительно низкая обеспеченность теплом соответствует предпочтениям кедра, который характеризуется как «древесная порода холодного и влажного климата тайги» (И. Бех, 1974). Проведенные исследования авторов показали, что между визуально определенным жизненным состоянием дерева и радиальным приростом кедра сибирского существует чёткая связь. Деревья, отличающиеся большей дефолиацией, имеют меньшую ширину колец. Ход прироста во времени у деревьев разного состояния близок друг к другу. Влияние прочих факторов (гнилевые болезни, конкуренция, погода, возраст) в условиях исследованного насаждения на жизненное состояние и радиальный прирост кедра сибирского достоверно не подтверждено (Д.А. Демидко, С.А. Кривец, Э.М. Бисирова, 2010). Попробуем выяснить это в ходе своего исследования.

Считаем, что в современных условиях сильного антропогенного воздействия проведение экологического мониторинга должно позволить прогнозировать изменение отдельных характеристик, поскольку фотосинтез и минеральное питание являются тесно связанными процессами. Если минеральное питание стимулирует образование фотосинтетического аппарата и интенсивности его работы, то интенсивный фотосинтез, в свою очередь, является условием, способствующим эффективному использованию элементов

минерального питания (Магомедова М.Х.-М., Мамаев А.Т., Алиева М.Ю. , 2008).

Наше исследование срезов кернов основано обобщением опыта ученых по этому вопросу. Так, например, изучение срезов керна под микроскопом показало, что найдена новая закономерность в ответной реакции ксилемы *Pinus sibirica* Du Tour, *Picea obovata* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L. на их дефолиацию сибирским шелкопрядом (И.Н. Павлов, А.А. Агеев, О.А. Барабанова, 2009).

Таким образом, изучение срезов керна может показать взаимосвязь площади трахеид и ширины годичных колец, поскольку доказано, что увеличению радиального прироста деревьев предшествует рост площади трахеид. Доказано и то, что на следующий год после дефолиации более чем в два раза уменьшается ширина годичного кольца и площадь образующих его клеток.

## **2. Практическая часть**

### **2.1. Характеристика района исследований**

Город Карпинск отличается резко выраженным континентальным климатом, характерным суровой зимой и коротким летом (Оленев А., Шувалов Е., 1970). Он расположен в зоне темнохвойной тайги, что влияет на все жизненные процессы растений. Природные сообщества восстанавливаются медленнее, чем в средних широтах. Рельеф всхолмлённый. Среднегодовое количество осадков 490-500 мм. Условия вполне подходят для произрастания сосны сибирской кедровой. Почвы дерново-подзолистые ([www.ecosystema.ru](http://www.ecosystema.ru)). Однако, обеспеченность почвы минеральным питанием – наиболее важный показатель для определения влияния на ширину годичных колец и морфологические свойства хвои. По карте и замерам исследуемого участка его площадь составляет 0,7 гектара. Видовой состав представлен кедром, лиственницей и берёзой.



## 2.2. Методы и методика

Мониторинг состояния сосны сибирской Памятника природы «Старые культуры кедра» города Карпинска проводился с 2015 по 2019 год. На начальном этапе изучалось состояние древесного яруса по шкале, фитопатологическое обследование на предмет болезней и вредителей. Для сохранения устойчивости кедровой рощи в 2015 применена минеральная подкормка комплексным калийно-фосфорным удобрением в дозе 200 граммов под одно дерево. Летом 2019 года проведена повторная минеральная подкормка пробных экземпляров в дозе 1 литр древесной золы в приствольный круг. В июле 2019 года проведено обследование контрольных и пробных экземпляров по следующим параметрам: длина и вес хвои, вес последнего годичного прироста, вес усохшей хвои последнего годичного прироста. Кроме того, применен способ оценки состояния древесного яруса после подкормки по состоянию годичных колец.

### *Методика отбора и исследования хвои*

В качестве объекта выбраны деревья сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour).

- Хвоя отбиралась с 9 пробных экземпляров и 9 контрольных экземпляров с нижней части кроны в одинаковых условиях освещённости.
- Затем отмеряли 10 сантиметров последнего годичного прироста, отбирали 50 мутовок с каждого экземпляра для анализа по длине (определяли до миллиметра);
- Взвешивали живую и усохшую хвою с каждого экземпляра на электронных весах с точностью до десятых долей грамма;
- Оценивали окраску для анализа интенсивности фотосинтеза;
- Оценивали эффективность подкормки путём сравнительного анализа хвои и годичных колец.

Среди источников литературы нет единого мнения относительно характера изменения пигментных комплексов в ответ на действие минеральной подкормки подобных насаждений. Но найдены сведения, что чем интенсивнее окраска, тем больше в хвое хлорофилла, а значит, фотосинтез интенсивнее и биометрические показатели увеличатся.

*Методика изучения влияния подкормки на величину и состояние годичных колец*

- Изготовили приростной бурав (фото 9) и взяли керны 3 пробных и 3 контрольных экземпляров, а также 3 экземпляров кедр, растущего в естественном насаждении разного возраста;
- По кернам оценили плотность древесины;
- Измерили ширину годичных колец пробных и контрольных экземпляров;
- Провели микроскопическое исследование срезов полученных кернов и оценили структуру годичных колец в сравнении.

Первая конструкция бурава была предложена М. Р. Пресслером. Но, чтобы облегчить работу, мы значительно изменили конструкцию прибора (фото 9), наш бурав снабжён шурупом, что позволило быстро извлекать керны.

Основу бурава составляет полая трубка с режущей частью, имеющая винтовую нарезку, и шуруп, обеспечивающий ее вращение. Экстрактор извлекает керн дерева (фото 10-17) .

*Методика подкормки золой (практическая часть)*

- Зола вносилась на поверхность почвы, предварительно очищенной от неразложившейся подстилки в дозе 1 литр./ на 1 дерево;
- Подкормкой охвачено 10 экземпляров, получивших азото-фосфорные удобрения в 2015 году.

На радиальный прирост могут влиять внутренние процессы и экологические факторы. Лимитирующим фактором в нашем исследовании считаем минеральное питание.

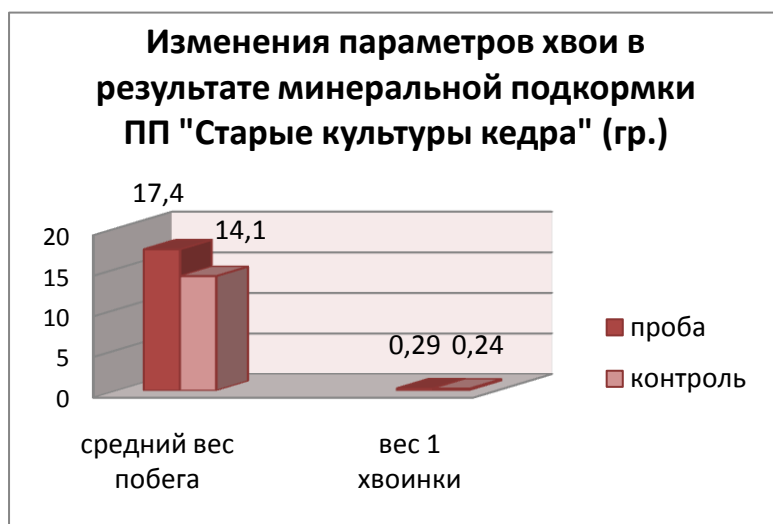
## Материалы и оборудование

В работе использовались секатор (стандартный), лупа, бинокулярный микроскоп Levenhuk, электронные весы с ценой деления 1 мг., плоскорез Фокина, древесная зола, азото-фосфорные удобрения, линейка, ножницы.

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1. Изучение влияния минеральной подкормки 2015 года на морфологические признаки хвои

В работе изучалась изменчивость количественных морфологических признаков хвои сосны сибирской кедровой: длина хвои, общий вес годичного побега длиной 10 см., вес сухой хвои. Затем высчитывались вес одной мутовки, средняя длина одной мутовки. Визуально оценивался окрас хвои. Затем сравнивались показатели для пробных и контрольных экземпляров. При обработке первичных измерений использовалась специализированная программа Excel. Результаты представлены в приложении 6. В таблице 1 и 2 систематизированы исследования ассимиляционного аппарата сосны кедровой. Представляя результаты графически мы докажем влияние минеральной



подкормки (рис. 1)

рис.1

**Сравнительный анализ морфологических характеристик хвои пробных  
экземпляров сосны сибирской**

Таблица 1

Экземпляры с подкормкой (проба)	Общий вес годовичного побега длиной 10 см.(гр.)	Вес одной мутовки	Вес сухой хвои	Окрас хвои	Хвоя с дефектами	Средняя длина одной мутовки см.
1	16,13	0,32	0,7	темно-зеленый		11,4
2	13,1	0,25	0,1			11,1
3			-			
4	22,25	0,44	0,1			10,3
5	13,14	0,19	0,06			11,1
6	21,2	0,42	0,13			11,1
7	18,65	0,37	0,1			12,2
8	10,61	0,21	-			12,3
9	22,75	0,21	0,3	зеленый	+	11,1
10	18,91	0,22	-	зеленый		12,24
Сумма	127,5	2,6	1,4			102,84
Среднее значение	17,4	0,29	0,2		1	11,4

**Сравнительный анализ морфологических характеристик хвои  
контрольных экземпляров сосны сибирской**

Таблица 2

Контрольные экземпляры	Общий вес годовичного побега длиной 10 см. (гр.)	Вес одной мутовки	Вес сухих	Окрас хвои	Хвоя с дефектами	Средняя длина одной мутовки (см.)	
1	19,49	0,32	-	темно-зеленый	+	12,1	
2	10,44	0,20	0,01			13,09	
3	13,24	0,23	0,12	зеленый	+	11,6	
4	11,67	0,23	0,13			10,14	
5	19,69	0,24	0,01			10,8	
6	13,95	0,27	0,02			11,33	
7	12,27	0,24	0,09			+	12
8	12,73	0,25	0,12				10,98
9	13,84	0,21	0,23			+	10,5
Сумма	127,32	2,2	0,7			102,54	
Среднее значение	14,1	0,24	0,1		4	11,4	

Минеральная подкормка способствовала увеличению среднего веса годовичного побега и среднего веса одной хвоинки, а вот средняя длина хвои одинакова на пробах и контроле 11,4 см (таблица 1,2). Как эти показатели отразятся на жизнеспособности сосны кедровой, попробуем разобраться, получив больше сведений. Например, можно проследить, как изменялся средний вес одной хвоинки у девяти пробных и контрольных экземпляров (рис.2).

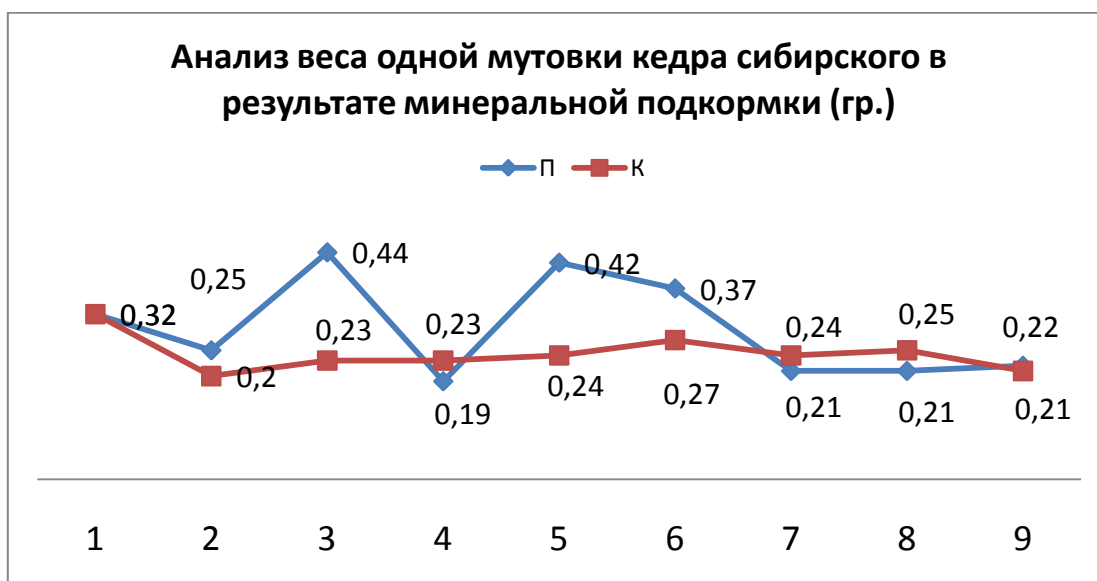


рис.2

Анализ результатов показал, что прирост хвои по весу преимущественно выше на пробах, чем на контроле (6 проб против трех). Рассматривая изменения общего веса годовичного побега (рис.3) стоит сказать, что прирост общей массы имеет общую тенденцию превышения массы побега у пробных экземпляров. Общий вес побегов 1,2,3,4,6,7,8 - больше у пробных экземпляров, получивших подкормку (кроме 5 и 9 экземпляров).

Сопоставляя результаты морфологических признаков хвои на основе таблиц и гистограмм, мы пришли к выводу:

1. Средний вес побегов пробных экземпляров на 23% выше, чем контрольных;

2. Средняя длина хвоинок одинакова у пробных и контрольных экземпляров (11,4 см);
3. Средний вес одной мутовки на 17% больше у пробных экземпляров (0,29 против 0,24 гр.) (рис.3);
4. Окраска хвои интенсивнее у пробных экземпляров сосны кедровой (восемь из девяти образцов);
5. Заболеваемость хвои контрольных образцов выше (4 против 1);
6. Вес сухих хвоинок в 2 раза больше на пробах, чем на контроле.

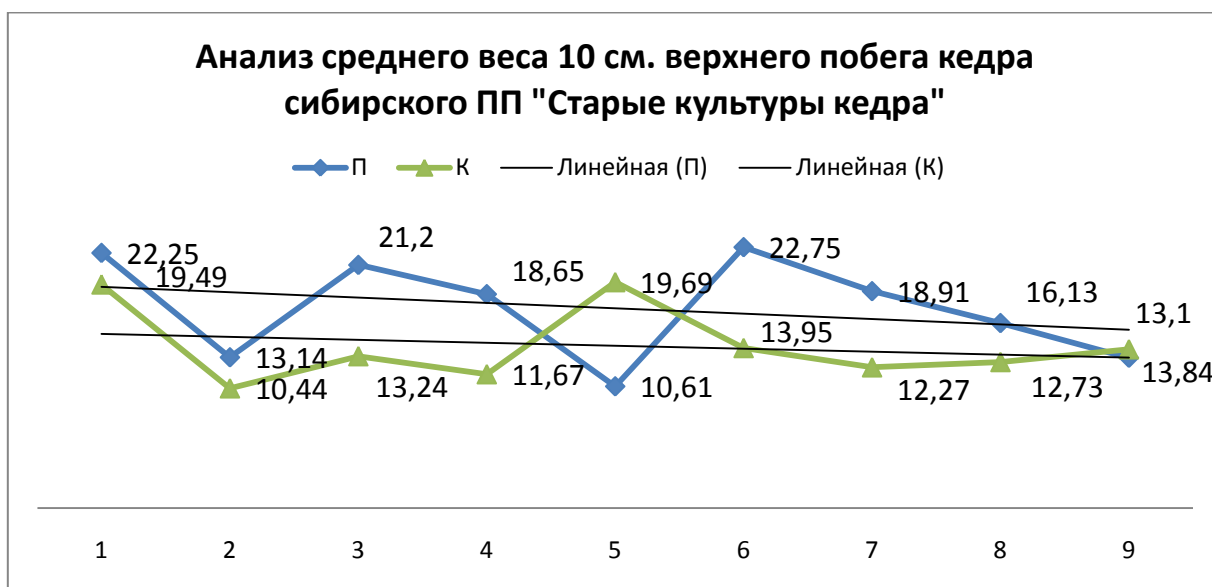


рис.3

Анализируя средний вес верхнего побега, отмечаем, что биомасса экземпляров, получивших минеральную подкормку азото-фосфорными удобрениями в 2015 году, в основном выше, чем у экземпляров без подкормки. Поэтому можем считать, что с внесением удобрений повысилась функциональная роль хвои, которая определяется ее активностью в процессах роста и развития. А так как с количеством хвои связана продуктивность древостоя и важнейшие процессы жизнедеятельности: фотосинтез, транспирация, продуцирование кислорода, аккумуляция пыли и другие, то следует ожидать, что это отразится на величине годовых колец. Чтобы

показать существует ли взаимосвязь между повышением морфологических параметров хвои и шириной годичных колец, попытаемся сопоставить данные показатели, сравнивая ширину годичных колец пробных и контрольных экземпляров до и после подкормки.

### **3.2. Изучение влияния минеральной подкормки 2015 года на ширину годичных колец**

Ширина годичных слоёв сильно колеблется в зависимости от многих факторов: породы, возраста, условий произрастания, положения в стволе. Наиболее узкие годичные слои (до 1 мм) образуются у медленно растущих пород, в том числе у сосны кедровой. Наше исследование касается одновозрастного насаждения искусственного происхождения, поэтому считаем условия идентичными. Возраст насаждения примерно 130 лет. Известно, что в молодом возрасте и при благоприятных условиях роста образуются более широкие годичные слои. Мы это увидели, когда взяли керн в естественном насаждении у сосны кедровой II класса возраста (40 лет, фото 17). Керны брались на одинаковой высоте – 1,3 метра, с восточной стороны деревьев. В процессе формирования годичных колец взаимодействуют несколько подсистем древесного растения, в том числе боковая меристема – камбий. Энергетический источник активности камбиальной системы – хвоя. Вот почему мы пытаемся найти взаимосвязь между изменениями хвои и годичными кольцами.

Прирост годичных колец — четкий индикационный признак состояния среды в предыдущие годы (<https://ru.wikipedia.org/>). Клетки, которые вырабатывают камбий, различны. В одном случае создаются клетки, из которых состоит проводящая ткань; в другом — ткани механические, придающие прочность стволу. Весной камбий вырабатывает много клеток для построения проводящей ткани (внутренняя часть годичного кольца). К осени образуются узкопросветные сосуды – внешняя, уплотнённая часть кольца. Таким образом, границей между древесиной двух смежных лет является линия соприкосновения клеток. На срезе дерева она видна невооруженным глазом. А еще лучше граница

между соседними годичными слоями древесины заметна под микроскопом. Кроме изучения толщины колец мы рассмотрим тонкие срезы, сделанные при помощи острого лезвия и тисков (фото 18).

В сентябре 2019 года нами взяты керны из 6 деревьев ПП «Старые культуры кедра» (приложение 4 фото 10-12) и трёх деревьев естественно растущих деревьев у посёлка М. Шахта (фото 13,14,17). Ширина годичных колец измерялась при помощи увеличения масштаба фото кернов в программе Paint. Затем на напечатанных фото через переводные коэффициенты, вычисленные отдельно для каждого экземпляра рассчитали фактическую ширину колец по формуле: ширина кольца увеличенная (на фото) умноженная на (К), где (К)= длина керна фактическая/ длина керна увеличенная. Для достоверности расчетов использована программа Photoshop, где более удобно делать измерения (пример на фото 15) и увеличивать контрастность и цвет для определения границ кольца. Полученные данные занесли в программу excel (приложение 5), где построили графики динамики ширины колец отдельно для пробных экземпляров (рис.4). Изображение, с нанесённой линией тренда, позволяет увидеть общую динамику увеличения ширины годичных колец у всех пробных экземпляров, максимальное у образца 8, минимальное – у образца 7.

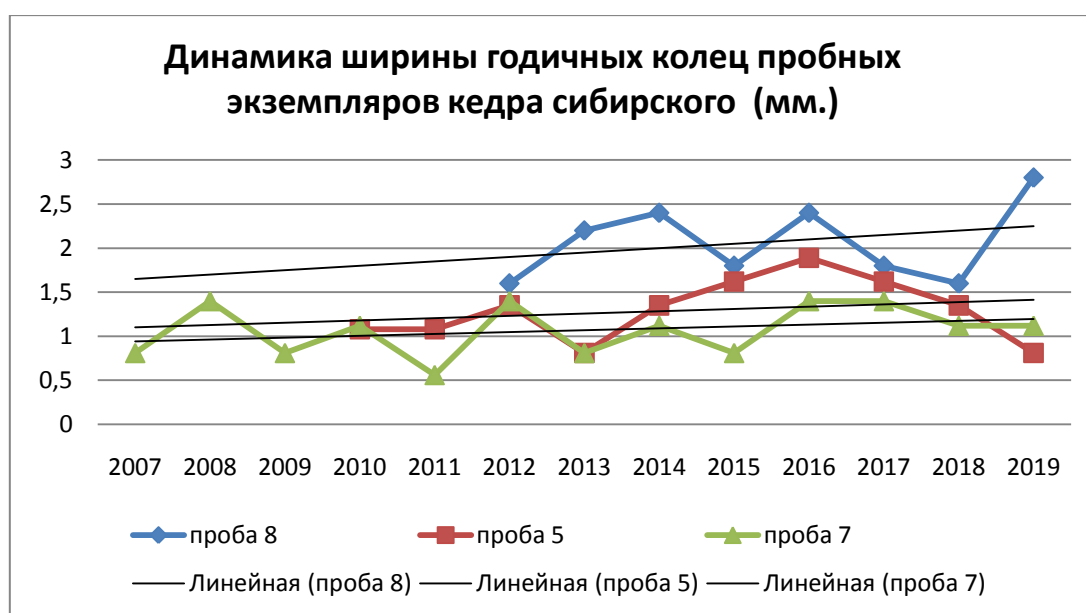


рис.4



В таблицы заносились величины годового прироста, начиная с 2000 г., хотя возраст деревьев, выбранных для исследования, составлял примерно 130 лет. Анализируя полученные сведения по годичным кольцам, мы сравнивали толщину колец до 2014 года и 2015-2019 г.г. (после подкормки). Графики показывают динамику приростов кедра в толщину в зависимости от внешних факторов. Мы попытались связать спады и подъемы величины годичных колец с такими факторами как экологическая обстановка, а точнее минеральное питание (рис.5).

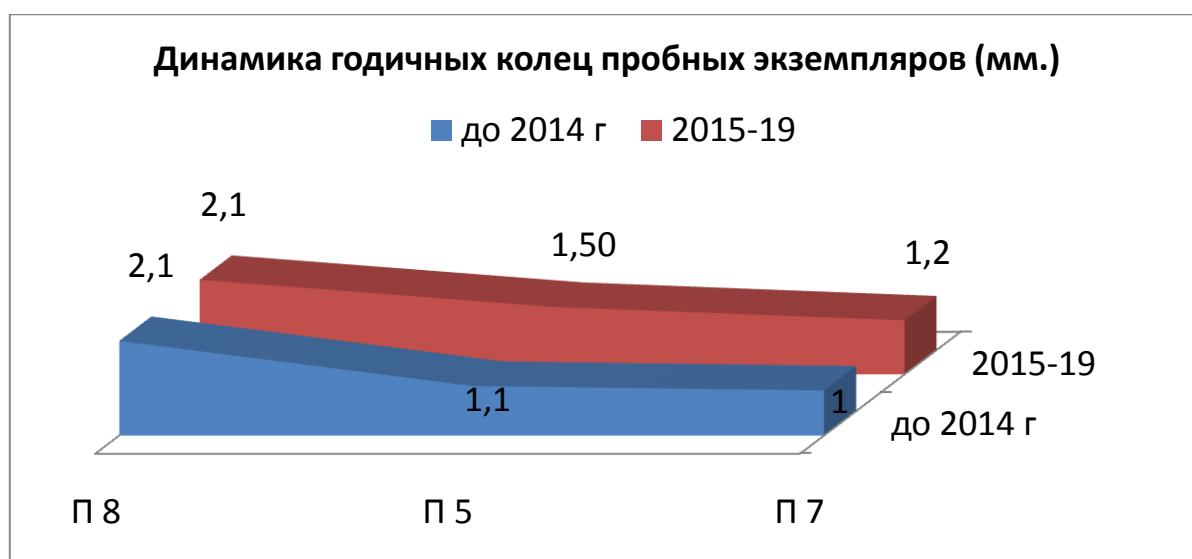


рис.5

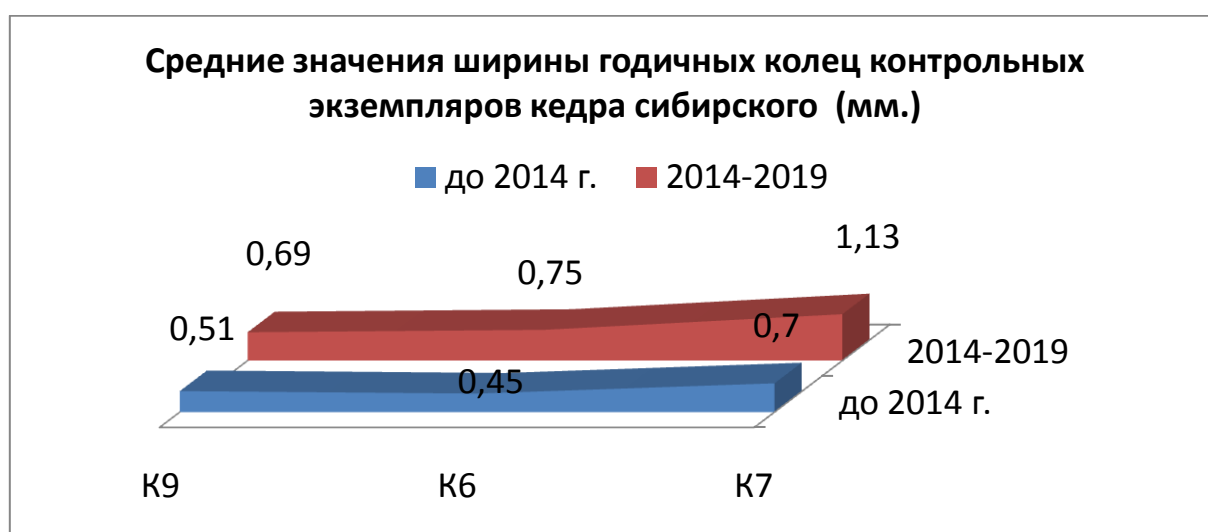


рис.6

Программа позволила быстро рассчитать динамику средних приростов пробных экземпляров до подкормки (до 2014 года) и после подкормки (с 2015 по 2019) (рис. 5). А также динамику ширины годичных колец контрольных экземпляров (рис.6). Анализ результатов позволяет утверждать, что 5 лет (с 2015 по 2019 г.г.) характеризуются увеличением ширины годичных колец как пробных, так и контрольных экземпляров сосны кедровой. Однако в абсолютных величинах заметна разница. Чтобы её оценить, представляем обобщённый график (рис. 7).

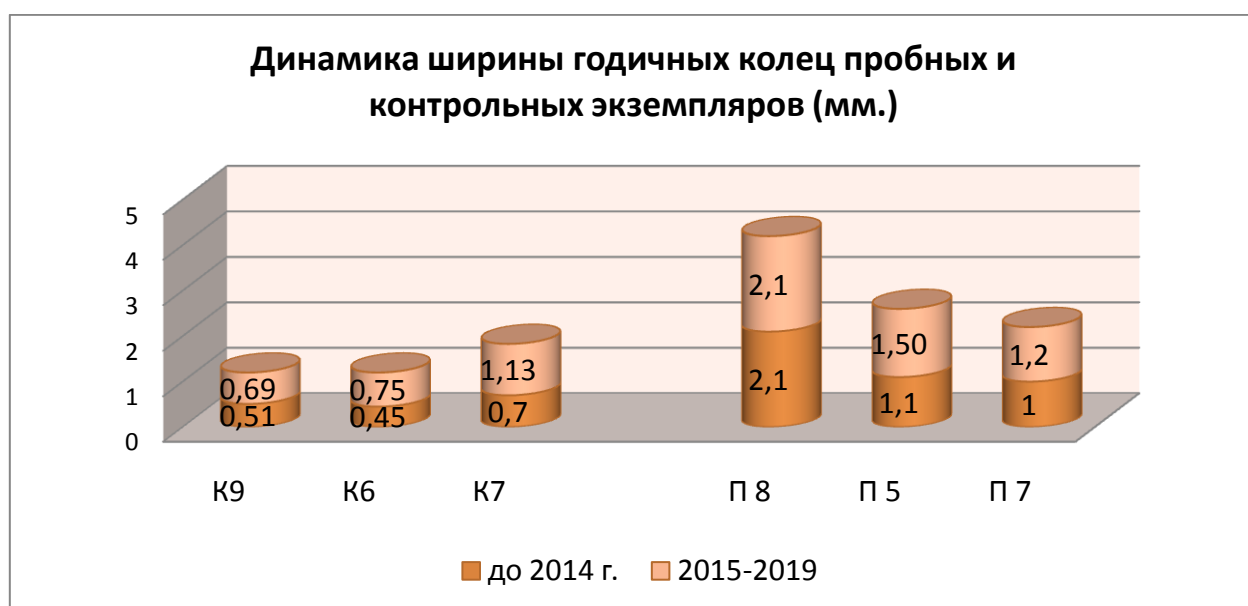


рис.7

Изучая результаты изменения годичных колец до и после минеральной подкормки, мы сделали несколько выводов:

1. В обеих группах последние за 5 лет годичные кольца увеличились в размере;
2. В контрольной группе величина годичных колец варьируется от 0,45- 0,7 мм до 0,69-1,13 мм;
3. В группе пробных экземпляров ширина годичных колец увеличилась с 1-2,1 мм до 1,2-2,1 мм, что больше, чем контрольных;

Этот факт с долей вероятности позволяет говорить как о влиянии минеральной подкормки, так и о некоторой разности экологической обстановки, что можно объяснить расположением кедров по отношению к сторонам света

(приложение 1). Кроме того, считаем, что тот факт, что пробные экземпляры, вероятно, получали больше влаги, могло сказаться на увеличение ширины годовых колец (рядом обнаружен люк, возможно, какие-то стоки).

На радиальный прирост могут влиять внутренние процессы, которые связаны с возрастом дерева. Поэтому для сравнения были взяты керны природных экземпляров (приложение 4, фото 13,14,16,17) в таком же возрасте, как ПП «Старые культуры кедра» и в возрасте 40 лет. Обнаружили, что у молодого кедра ширина годовых колец больше, чем у средневозрастных (фото 13, Шахта 3). Интересно сравнить динамику годовых колец по годам у кедров, растущих в природных условиях. Произведённые расчеты позволили сделать графическое представление изменения годовых колец также по периодам до 2014 года и 2015-2019 годов (рис.8)

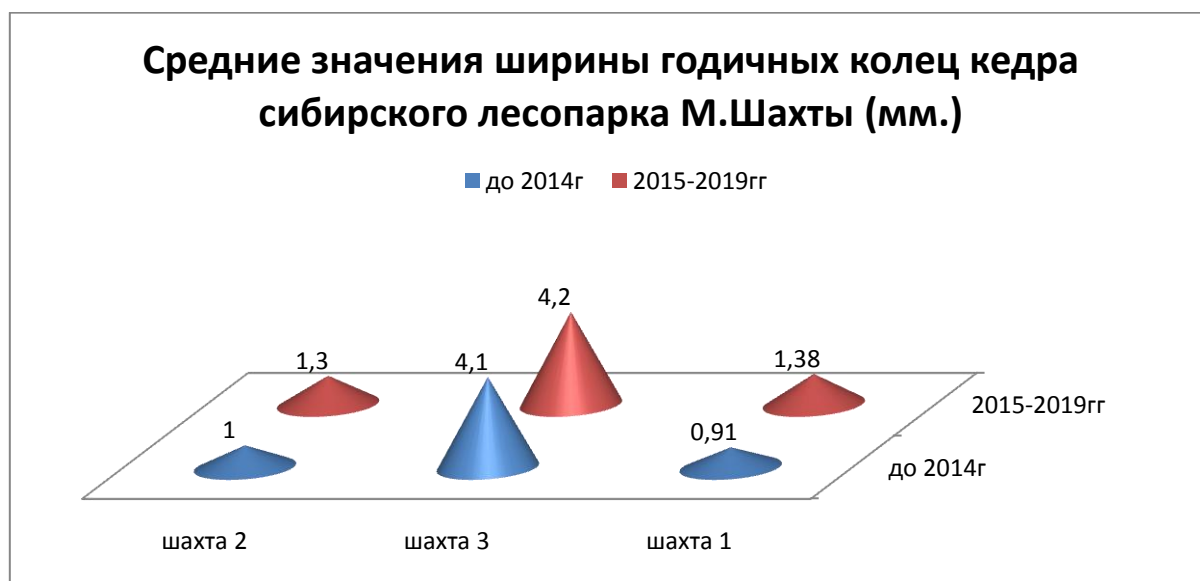


рис.8

Таким образом, в естественных насаждениях значение приростов увеличилось с 0,91- 4,1 мм. до 1,3 - 4,2 мм, то есть незначительно. Это ещё раз подтверждает положительную роль минеральной подкормки. Для анализа общей динамики годовых приростов в искусственном насаждении ПП «Старые культуры кедра» и естественном на М. Шахте мы сопоставили значения приростов и отразили графически (рис.9).

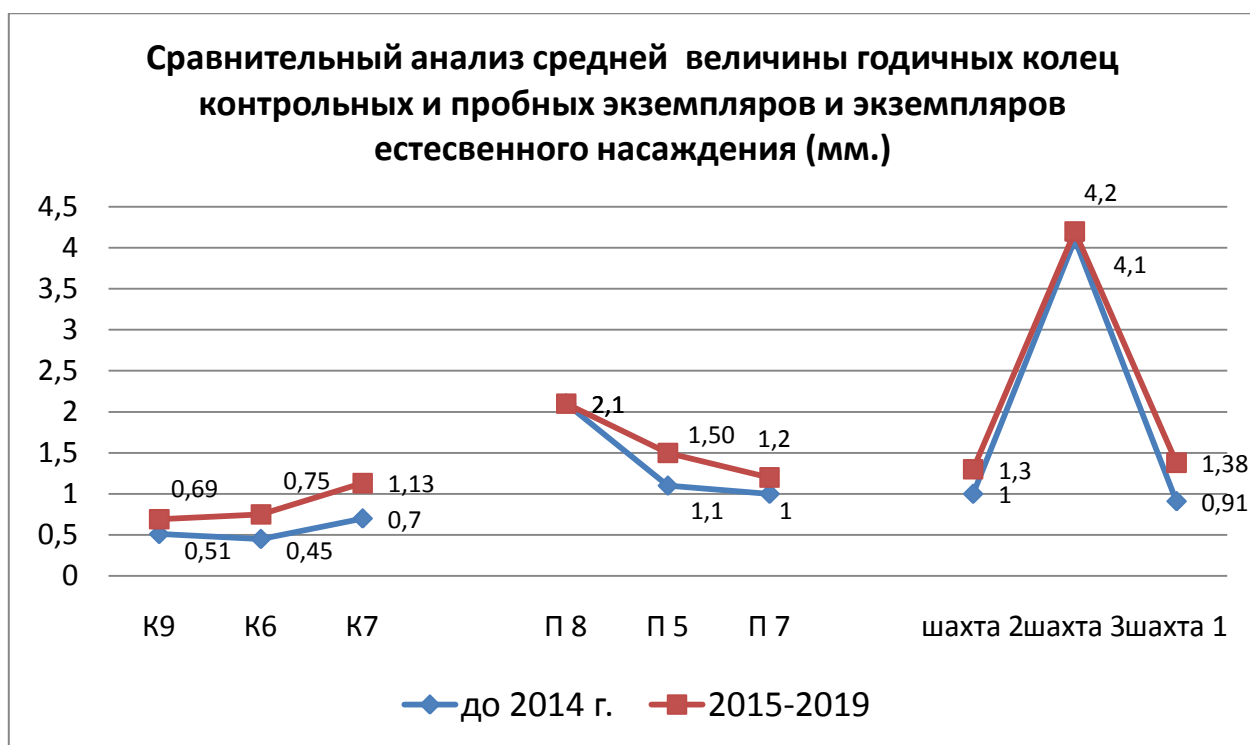


рис.9

График позволяет сделать определённые выводы:

- В естественных насаждениях без внешнего воздействия на сосну кедровую работают общие правила:
  - годовые кольца шире у молодых экземпляров (шахта 3);
- В возрасте 140 лет (шахта 2 и шахта 1 и ПП «Старые культуры кедра») значения ширины годовых колец пробных экземпляров выше значений контрольных экземпляров;

### 3.3. Микроскопическое исследование поперечных срезов кернов

Пытаясь найти объяснение влияния минеральной подкормки, мы решили углубить исследование и проанализировали срезы кернов при увеличении 4x16 и 10x16. Работа с микропрепаратами отражена на фото 19-28, приложения 4. Нас интересовала структура клеток ксилемы и флоэмы, геометрия рисунка, другие особенности.

В ходе исследования выяснено, что при увеличении 4x16 (рис.10, рис.11) на контроле и в насаждении М. Шахты годовичные кольца ровные и узкие по сравнению с пробными экземплярами. На пробе 7 видны смоляные ходы.

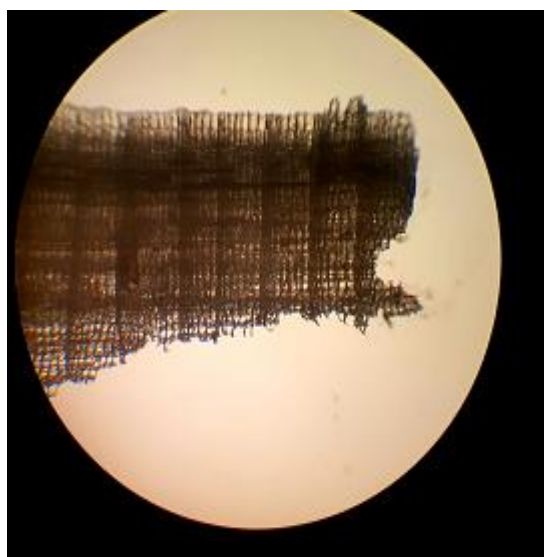


рис.10 Контроль 7 (ровные кольца)    рис.11 Проба 7 (кривизна)

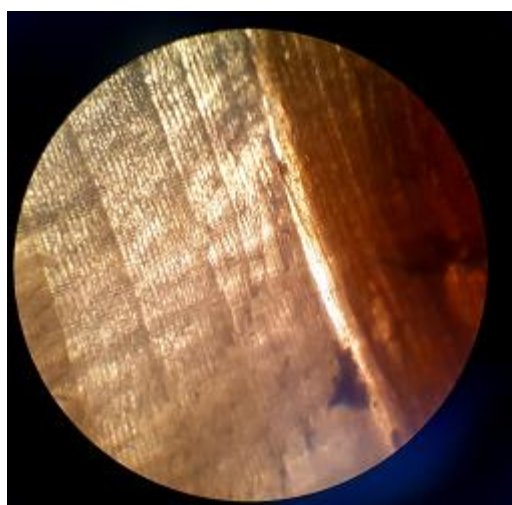


рис. 12 Проба 5 (кривизна)

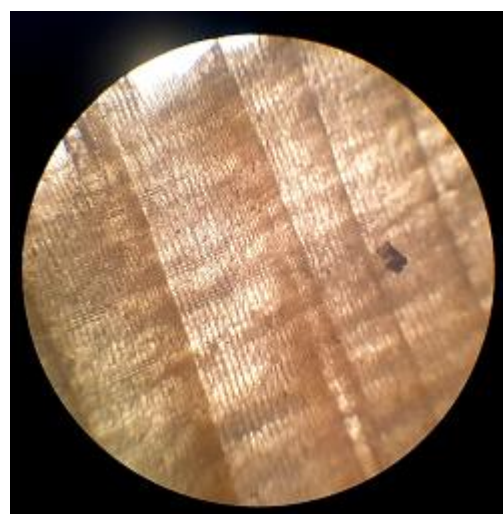


рис. 13 Шахта 3 (ровные кольца)

С чем связана кривизна годовичных колец пробных экземпляров мы пока не выяснили. Но из теории известно, что выпадение и отклонение в рисунке годовичных колец может быть связано с экологическими условиями. Какими именно, нам предстоит узнать. И это станет продолжением работы.

### 3.3. Анализ изменений ассимиляционного аппарата и величины годовых колец в результате минеральной подкормки 2015 года

Сопоставив полученные результаты на основе изучения 18 экземпляров по морфологическим признакам хвои и 6 экземпляров кедра сибирского по годовым кольцам, мы получили усреднённые данные динамики прироста биомассы и годовых колец в результате подкормки азото-фосфорными удобрениями (рис.10)

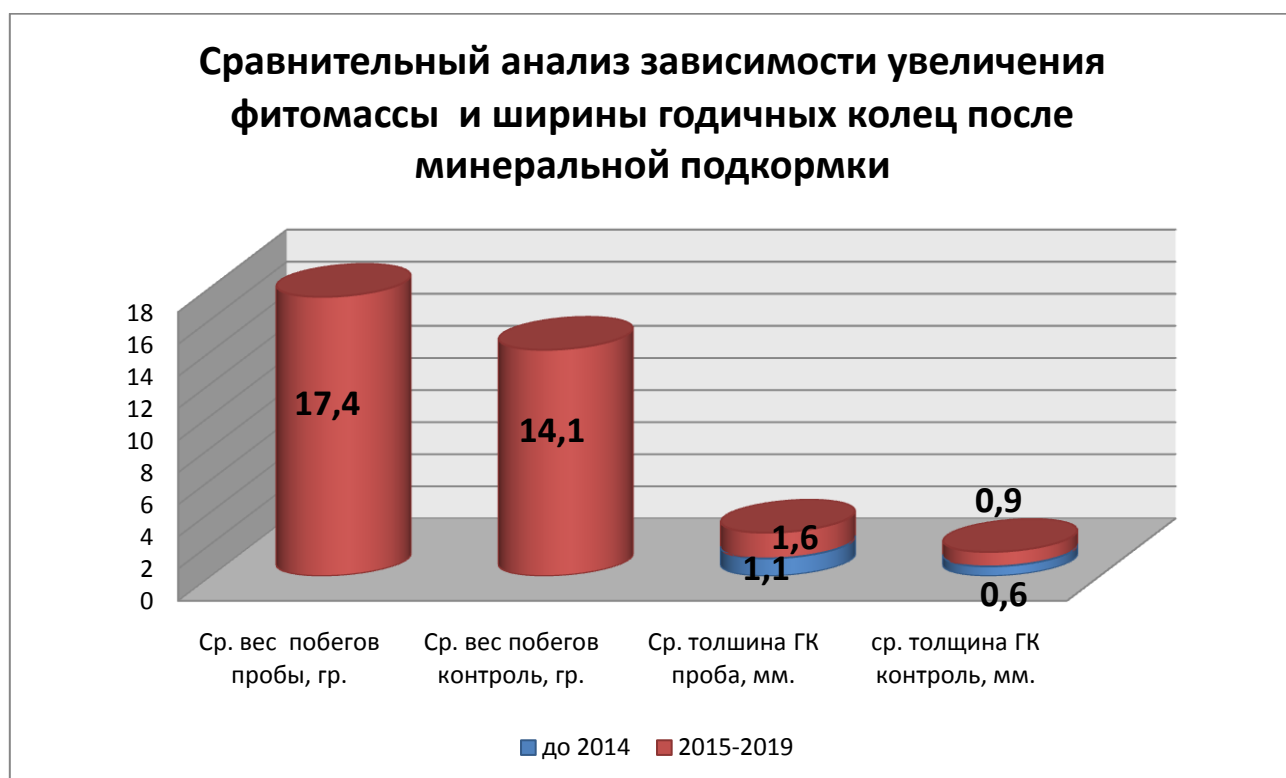


рис.10

Гистограмма позволяет утверждать, что подкормка привела к наращиванию зеленой массы кроны в 1,2 раза (с 14,1 гр. на контроле до 17,4 гр. на пробах), а рост годовых колец пробных экземпляров в абсолютных величинах увеличился до 1,6 мм., в то время как на контроле только до 0,9 мм. Но, как на пробах, так и на контроле пропорция увеличения ГК одинакова, в 1,5 раза ( $1,6:1,1=1,5$  и  $0,6:0,9=1,5$ ). Значит в течение первых 4 лет подкормка не показала заметного результата прироста годовых колец, но проявилась в том, что фитомасса кроны увеличилась.

Но если анализировать не средние показатели годовых приростов, а у каждого экземпляра, и рассчитать коэффициенты увеличения ГК по отношению к году подкормки, то можно увидеть, что подкормка не показала заметного результата прироста годовых колец (рис. 11)



рис.11

### Выводы:

1. Минеральная подкормка способствовала улучшению состояния ассимиляционного аппарата:

- Средний вес побега на пробе на 23% выше, чем на контроле;

- Средний вес одной мутовки на 17% больше у пробных экземпляров (0,29 против 0,24 гр.);

2. Окраска хвои интенсивнее у пробных экземпляров (8 из 9 образцов);

3. Значениями веса сухой хвои можно пренебречь, поскольку нет достоверных объяснений данного явления;

4. Пропорция увеличения ГК как пробных, так и контрольных экземпляров одинакова - в 1,5 раза ( $1,6:1,1=1,5$  и  $0,6:0,9=1,5$ );

5. Микроскопическое изучение срезов выявило кривизну поздней флоремы пробных экземпляров 5 и 7, что, вероятно, связано с экологической проблемой;

### **Источники информации**

1. Ваганов А. , И. Терсков //«Анализ роста дерева по структуре годичных колец, АН СССР Сибирское отделение, институт физики»
2. Демидко Д.А., С.А. Кривец, Э.М. Бисирова // Связь радиального прироста и жизненного состояния у деревьев кедра сибирского, Алтайская государственная академия образования (г. Бийск) Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)
3. Оленев А., Шувалов Е. География Свердловской области. Свердловск: Сред. – Уральск. 1970.
4. Шавнин С.А., Галако В.А., Власенко В.Э., Ерохина О.В., Пустовалова Л.А.»
5. Бех И.А. //Кедровники южного Приобья. Новосибирск: Наука, 1974. 210 с.
6. Вестник Томского государственного университета //Биология 2010 № 4 (12) Сельское и лесное хозяйство «Связь радиального прироста и жизненного состояния у деревьев кедра сибирского
7. Михайлова Т.А., О.В. Калугина, О.В. Шергина.//Изменение параметров фотосинтеза сосны обыкновенной при воздействии антропогенных факторов
8. Магомедова М.Х.-М., Маммаев А.Т., Алиева М.Ю.// Влияние условий минерального питания на флуоресценцию, фотосинтетическую активность и ростовые параметры растений © 2008.
9. Павлов И.Н., А.А. Агеев, О.А. Барабанов //Формирование годичных колец у основных хвойных лесобразующих пород Сибири после дефолиации кроны «Сибирский государственный технологический университет»
- 10.<https://moluch.ru/young/archive/22/1374/> О чем могут рассказать годичные кольца деревьев, Шишкин Ф. В. , Юный учёный №2 (22) февраль 2019 г.
- 11.<https://cyberleninka.ru/article/n/botanicheskie-pamyatniki-prirody-yuzhnataezhnoy-podzony-srednego-urala-sostoyanie-i-problemy-ohrany>  
//Ботанические Памятники природы южнотаёжной подзоны Среднего Урала: состояние и проблемы охраны.

### **Термины и определения**

1. **Ассимиляционный аппарат** растений - это листья и другие зелёные части, где происходит образование органических веществ из углекислого газа и воды с использованием энергии солнца. ...



2. **Флоэма** или Луб (от греч. φλοῦς — кора) — проводящая ткань сосудистых растений, по которой происходит транспорт продуктов фотосинтеза к частям растения, в которых он не происходит: подземные части, конусы нарастания, цветки, плоды и др.
3. **Ксилéма** — основная водопроводящая ткань наземных сосудистых растений; один из двух подтипов проводящей ткани растений, наряду с флоэмой — лубом.



рис.1





рис.3 методика извлечения кернов из работы Ф. Шишкина, Биология «Юный учёный №2 (22) февраль 2019 г».

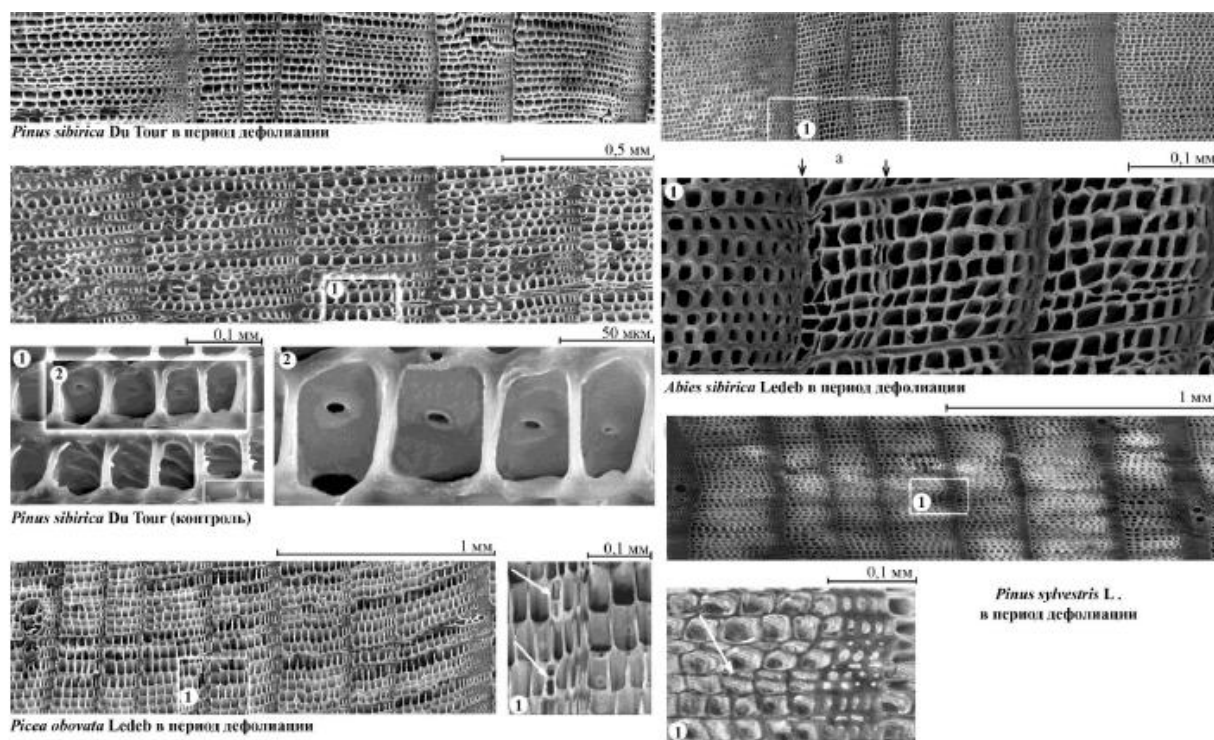


Рисунок 1 – Фотографии поперечных срезов древесины из разных мест произрастания, сделанные на электронном сканирующем микроскопе (РЭМ 100-У)

рис.4 фото срезов в зависимости от степени дефолиации из работы И.Н. Павлова, А.А. Агеева, О.А. Барабанова





фото 1. Начало эксперимента



фото 2. Берём образцы хвои секатором



фото 3. Подкормка золой



фото 4. Взвешивание и анализ образцов хвои

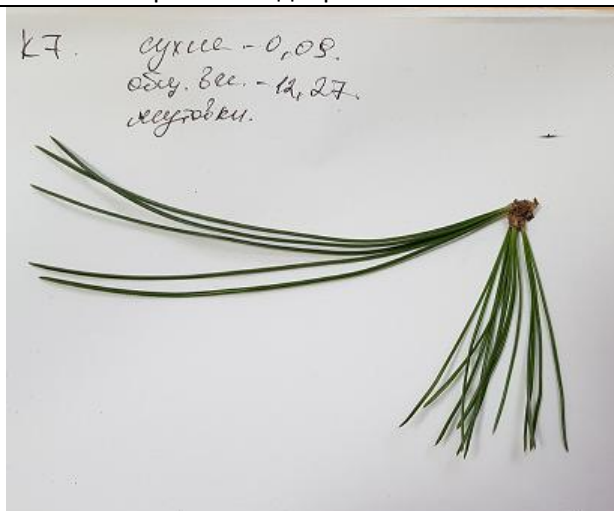


фото 5. Пример образца хвои №7

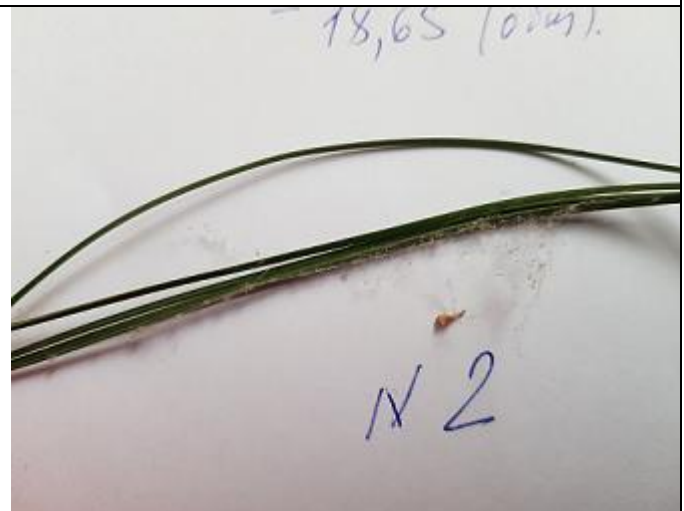


фото 6. Пример образца хвои №2

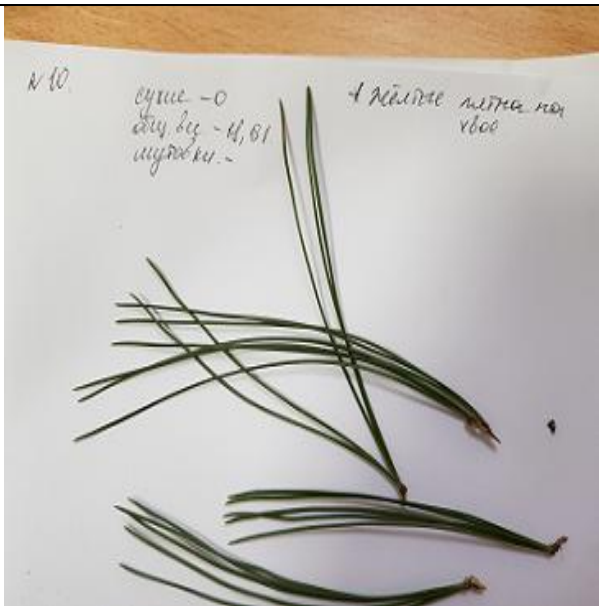


фото 7. Пример образца хвои №10

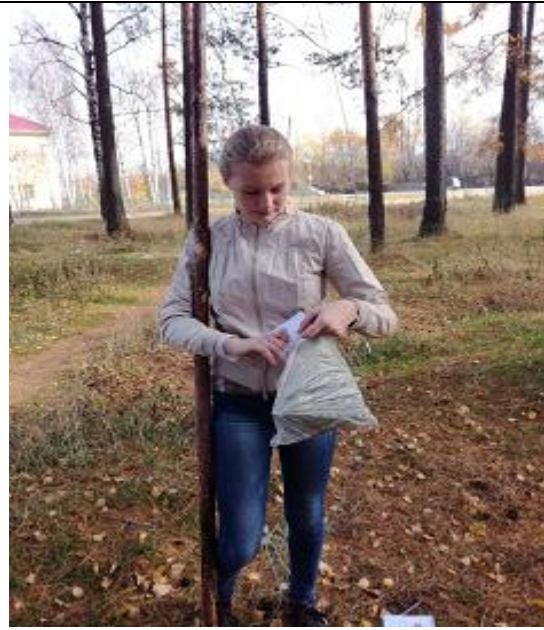


фото 8. Сбор хвои



фото 9. Использованный прибор для извлечения кернов конструкции В.Жукова



**Фото кернов сосны кедровой опытных и контрольных экземпляров из  
Памятника природы «Старые культуры кедр» в сравнении с лесными  
экземплярами**



ф. 10. Керны пробных экземпляров ПП «Старые культуры кедр»



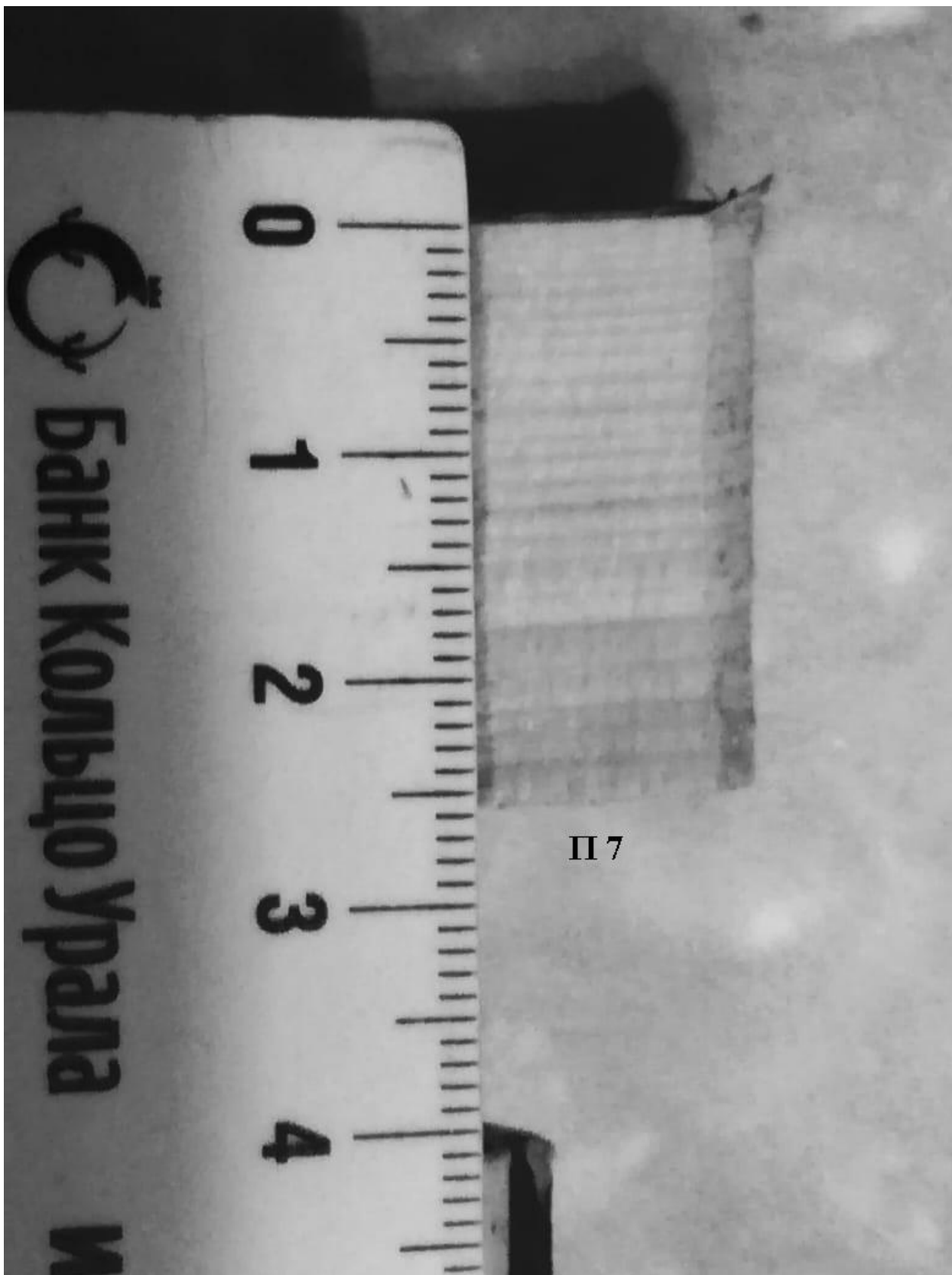
ф.11,12 Керны контрольных экземпляров ПП «Старые культуры кедр»



ф.13. Керны лесных экземпляров у Медной Шахты



ф. 14. Увеличенный керн лесного экземпляра

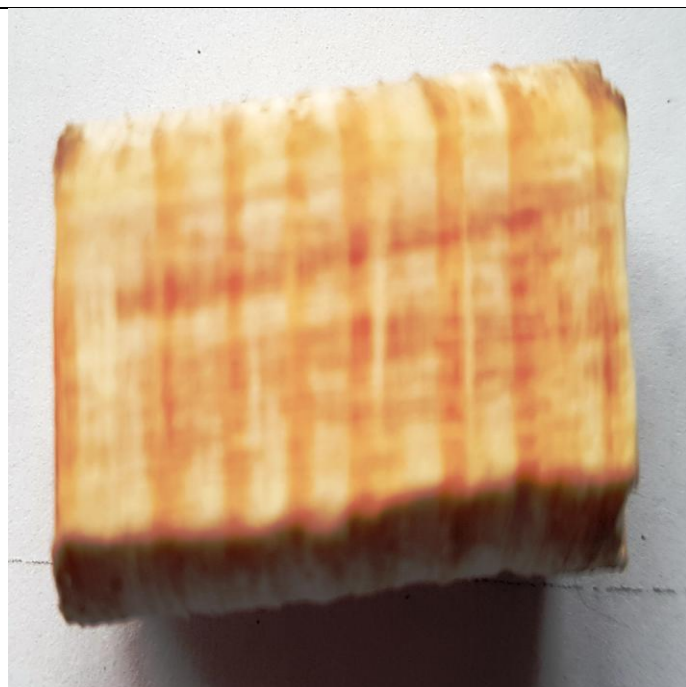


ф.15, обработанное в программе Photoshop для подсчёта годовых колец





ф.16. Кедр сибирский, 40 лет,



ф.17.Керн кедр сибирского, 40 лет. Шахта №3  
максимальная ширина годичных колец

## Приложение 5

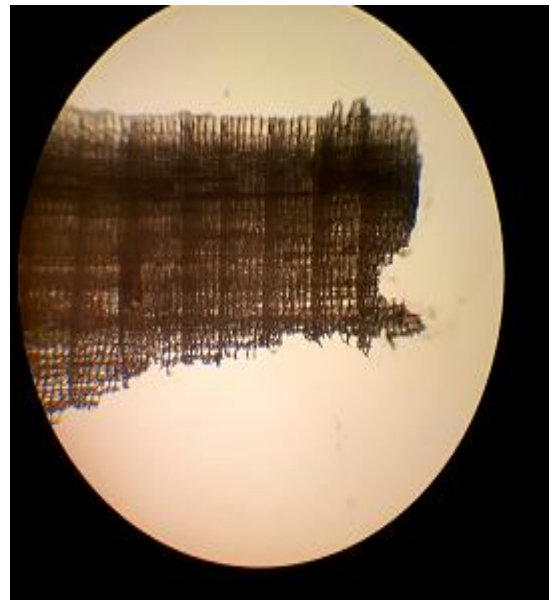
### Приготовление срезов и изучение их под микроскопом



ф.18. Использование тисков для приготовления срезов

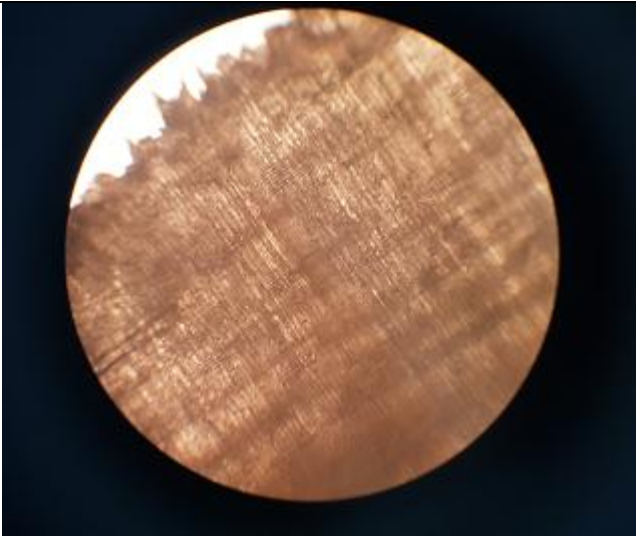


ф. 19,20 Визуальное изучение кернов и срезов

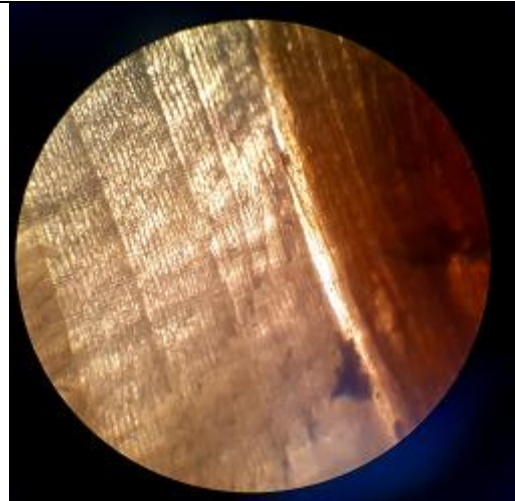


ф. 21. Микроскопическое исследование срезов, увеличение 16x4 ф.22. К.7- ПП «СКК»

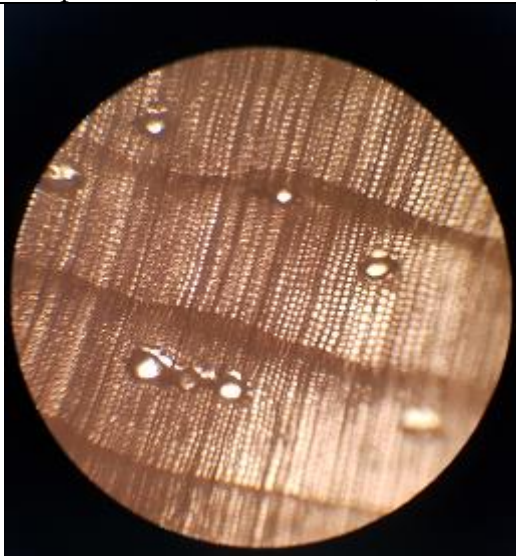




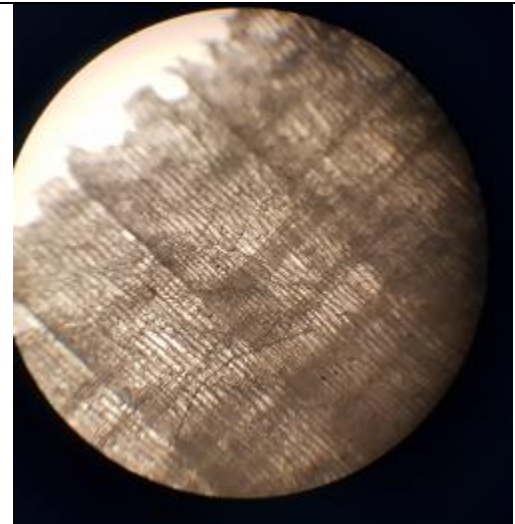
ф. 23. К.7 –ПП «СКК», 10x16



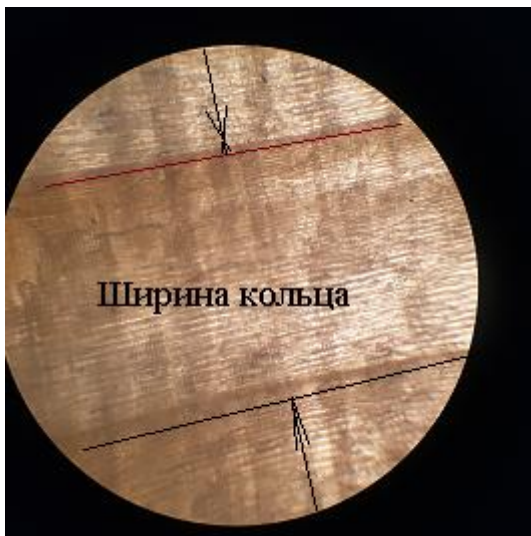
ф.24. П5 –ПП «СКК» 4x16



ф.25 П.7 4x16

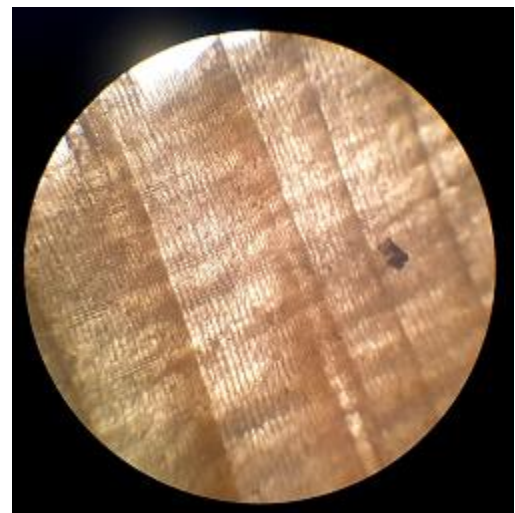


ф.26. Шахта 1, лесные кедры



Ширина кольца

ф.27. Шахта 2 10x16



ф.28. Шахта 3, увеличение 4x16

**вес и длина 50 хвоинок 2 экземпляра на пробе**

9	11,6	11,9	13	150,5
12	11,8	11,4	12,5	155,8
9,4	9,7	11,7	9,9	157,5
10,5	12,1	10,5	12,3	91,6
8,5	8,3	12,7	12,7	<b>Сумма дл.</b> 555,4
12,2	11,5	8,2	8,5	<b>X = 11,1 см.</b>
12,4	9,8	11	11,2	<b>вес общ. Ветки 13,1 гр.</b>
8,3	12,3	13,5	11,5	<b>вес 50 хв. 12,4 гр.</b>
11,5	11,3	11,6	91,6	<b>вес сух. Хв. 0,1 гр.</b>
12,2	11	11,5		<b>вес 1 мутовки= 0,25 гр.</b>
12,3	11,2	12,7		
10,9	10,7	8		
11	13,2	11,3		
10,3	11,3	11,5		
150,5	155,8	157,5		

**вес и длина 50 хвоинок 5 экземпляра на пробе**

			<b>вес 50 хв. 4 экземпляра на пробе</b>		
10	12,2	11,6			
10,5	12,4	12,6	14,1	13	12,8
9	8	9,9	11,8	14,3	11,8
10,2	11,4	12,5	12,2	12,4	12,1
11,3	12,5	10,8	12,7	12,7	11,8
12,1	12,5	11	12,5	11,2	11,2
10,9	11,5	10,4	12,7	10,5	13,7
10	12,5	10,5	12,5	14	11
12,7	11,3	11,2	11,2	14,5	14
11,3	12	11	11,8	12	14,7
9,9	12	9,4	11,7	13,2	113,1
11,2	11,6	11,8	12	13,7	
11,8	9,4	10	11	13,7	<b>Общ. Вес 22,25</b>
11,8	10,6	10	12,5	15,4	<b>вес 50 шт. 11,75</b>
11,2	12,1	12,6	11	12,5	<b>вес сух 0,1</b>
11,5	9	11,7	12,4	11,7	
10,4	11,2	177	11	12	
185,8	192,2		193,1	206,8	
			сумма длины 50 хв.		513
185,8	192,2	177	555	<b>Сумма длины 50 хв. X = 10,3 см.</b>	
		<b>X= 11,1 см.</b>		<b>Ср. длина хвоинки</b>	

**вес и длина 50 хвоинок 7 экземпляра на пробе**

6,8	14	13,1	10,7
12	11,9	11,6	11,7
11,1	12,7	14,40	11,3
13,3	12,4	13	11,4
12,8	13,4	11,9	11,6
11,7	13,5	8,8	56,7
13,4	10,1	9,7	
13,7	12,6	13,5	
10,4	13,7	12,6	
12,4	12,8	12	
13,9	13,2	14,4	
12,5	13,7	8	
11,7	11,3	9,9	
14,7	12,8	11,9	
13,7	13,5	11,4	
184,1	191,6	176,2	

сумма длины =

**X = 12,2**

**вес общ.=18,65**

**вес 50 хв. = 9,47**

**вес сух хв. = 0,1**

**вес 50 хвоинок 1 экземпляра на пробе**

11,4	12,8	11	13,3
11,5	11,1	10,2	13
11,5	12,2	11	14
11,2	13,6	11,3	13
10,2	10,8	11,5	11,8
11,1	12,9	11,3	65,1
10,5	12,8	10,10	
11,4	10,6	12,5	
<b>9,5</b>	<b>10,5</b>	<b>11,1</b>	
10	11,5	10,3	
10	11,2	10,8	
11	11	11,6	
10,8	11,2	12	
11	11,3	11,5	
10,9	11,2	11,7	
162	174,7	167,9	

сумма длины =569,7

**X= 11,4 см.**

**общ. Вес= 16,13 гр.**

**вес 50 хв. =11,4 гр.**

**вес сух = 0,7 гр.**

**вес 50и I хвоинок 6 экземпляра на пробе**

9,8	10,5	12,7	12,2
9,8	9,50	12,7	8,4
10	11	9,7	10,4
10,3	9,7	9	9,8
10	12,5	10,2	12,2
13	13,2	9,5	53
11,5	11,8	11,4	
9	11,4	9,7	
8,5	11,8	9,2	
13	13,5	12,9	
12,1	13,4	10,9	
13,4	12,5	10,5	
12	13,7	10,1	
11	9,5	9,8	
11,8	13,5	10,2	
165,2	177,5	158,5	

сумма длины хв. = 554.2 см.

**X = 11,1 см.**

**вес общ. 21,2 гр.**

**вес 50 хв. 10 гр**

**вес сух. 0,13 гр.**

**Вес и длина 50 мутовок на пробе 9**

10,8	11	10,6	10,9
10	12,2	9,3	11,3
10,6	11,8	10,4	11,5
10,9	11	10,8	10,4
12,2	10,4	10,3	11,3
10,3	10	10	11,2
12,6	11,1	10,7	11,2
10,8	9,7	9,8	11,9
11,8	10	11,6	9,5
11,3	10,4	10	10,6
10,7	10,4	11,3	10,9
10,4	9,7	10,6	9
11,4	11,2	9,6	10
143,8	138,9	135	139,7

**X=11,1 см.**

**вес сухих мутовок= 0,3 гр.**

**общий вес ветки =22,75 гр.**

**вес 50 мутовок= 10,52**

**вес 1 мутовки= 0,21 гр.**

**Вес и длина 50 мутовок на контроле 5**

11,5	11,7	10,5	9,7
8,9	10,4	10,7	9,90
10,7	10	11,4	9,4
10,5	11,2	9,7	10
11,4	10,7	8,4	10,4
11,8	11,6	9,3	8,9
10,4	10,5	9,4	9,8
10,4	11,3	9	9,6
10,4	10,3	11	8,4
10,5	10,4	10,1	9,4
11,2	10,4	9,7	10,6
11	9,6	9,4	106,1
9,6	9,6	9,6	
10,5	8,7	9,8	
148,8	146,4	138	

**Итого= 539,3 см.**

**X=10,8 см.**

**общий вес= 19.69 гр.**

**сухие=0,01 гр.**

**вес 50**

**мутовок=11,99**

**вес 1 мутовки=0,24 гр.**

**Вес и длина 50 мутовок на пробе 8**

12,2	12,6	9,3	13,5
14	13,1	13	10,8
13,5	13,7	13,5	13
11,6	13	12,5	11,8
12,6	13,1	11,5	8,9
11,4	13,5	12,1	13,5
12,5	12,4	11,1	10,8
11,1	13,5	11,4	8,8
14	12,2	13	91,1
11,6	12,2	12	
11,1	11	11,5	
13,1	11,8	12,6	
11,1	13,6	12,6	
13,3	13,3	13,5	
173,1	179	169,6	

**Итого = 612,8**

**X = 12,3 см**

**общий вес= 10,61 гр.**

**вес мутовок=7,33**

**гр.**

**вес 1 мутовки=**

**0,15 г**

**Вес и длина 50 мутовок на контроле 9**

11	10,9	11,2	10,5
10,20	10,3	9,8	10,8
10,2	11,1	10,5	11,4
11,3	10,2	9,6	9,6
10,4	11	11	11,1
11,7	11,8	8,5	8
11	12	12	9,5
11,3	11,2	10,5	70,9
9	11,8	11,2	
9,8	11,4	11,2	
11,4	12,5	11,6	
11,4	10	10,4	
11,6	12	10,6	
10,8	9,8	10,5	
151,1	156	148,6	

**Итого=526,6 см**

**X= 10,5 см.**

**сухие= 0,23 гр.**

**общий вес=13,84**

**гр.**

**вес 1**

**мутовки=0,21**

**гр**

**вес 50**

**мутовок=10,36**

**Вес и длина 50 мутовок на контроле 7**

10	11,9	12,7	11,6
10,8	13,5	13,4	12,6
10,4	9	13,5	11,2
13,4	14	12,5	12,5
12	8	12,7	12,3
13	12,8	10,1	13,1
5	9,2	11,8	10,9
11,5	12,5	11	11,8
13	8,2	11,4	13,4
11,80	11,3	11	14,2
13,2	8,1	13,2	11,3
12,3	12,2	12,1	14
13,1	12,5	12,6	148,9
149,5	143,2	158	

итого= 599,6

**мутовка в мутовке**

**X=12 см.**  
**вес сухих=0,09 гр**  
**общий вес= 12,27 гр.**  
**вес 50 мут.=10,48 гр.**  
**вес 1 мутовки=0,21 гр.**

**Вес и длина 50 мутовок на пробе 10**

11,6	11,9	13,2	11,1
10,4	10,5	10,6	13,80
13,7	11,7	13	14,1
13,9	11,9	11,7	14,7
13,4	11,3	10,8	11,3
12,3	12,8	12,9	11,4
3,8	11	13,3	11,4
11,9	13	11,5	13,6
13	13	14,2	12,2
10,8	14,4	12,9	12,2
11,9	13,1	13,1	12,6
14	12,4	11,6	138,4
11,7	12,3	13,1	
152,4	159,3	161,9	

Итого=612 см.

**Желтые пятна на хв. X=12,24 см.**  
**общий вес= 18,91 гр.**  
**вес 50 мутовок= 10,98 гр.**  
**вес 1 мутовки=0.22 гр.**

**Вес и длина 50 мутовок на контроле 1**

10,5	12,4	14	10,7
12,3	13,5	10,30	12,7
12,2	12,2	10,6	10,5
14,6	13,2	12,7	11,8
13,8	13,6	13	12,2
14	14	12,1	13,1
10,3	12	13	12
10	12,6	10,5	13,2
10,5	11,4	13,6	11,8
13,5	12,5	13	12,4
12,5	10,6	13,6	120,4
13,3	11	11,4	
12,2	13,9	12	
159,7	162,9	159,8	

итого= 602,8 см.

**X= 12,1 см**  
**общ. Вес= 19,49 гр.**  
**вес 50 мутовок= 15,9**  
**вес 1 мутовки= 0.32 гр.**

**Вес и длина 50 мутовок на контроле 3**

9,9	11,1	13,5	11
10,3	13,1	12,8	14
10,6	11,6	14,1	13,8
10,6	11,8	10,3	14,7
14,5	11,3	13	12,2
9,7	12,2	9,1	13,9
10,6	12,1	9,5	9,4
11,8	12,3	11	13,2
12,8	11,8	11,7	13,2
9,9	13	11,9	11,3
12,4	11,10	12,4	126,7
10,8	12,1	11,8	
11,40	11,3	12,3	
145,3	154,8	153,4	

итого=580,2 см.

**общ вес= 13,24 гр.**  
**вес 50 мут.=11,55 гр.**  
**вес 1 мут.=0,23 гр.**  
**сухие=0,12 гр.**  
**X= 11,6 см**

вес и длина 43 мутовок на контроле 2

12,5	Общий вес - 10,44		
14,5	Вес 50 мутовок - 10,00		
12,4	Вес сухих - 0,01		
14	10,4	10,4	10,1
14,4	10,8	13,9	10,3
14,9	11,3	13,8	10,5
10,1	12,6	14,1	10,2
14,5	11,3	14,4	14,2
9,8	14,1	13,4	157,1
11,6	10,5	13,3	
13,6	15,3	14,4	
14,8	12,5	13,6	
	13,6	14,1	
	14,2	9,1	
		12,5	
		13,7	
		ср. дл.1	
	13,09167	мутовки	

Вес и длина 38 мутовок на контроле 6

7	Общий вес - 13,95	
11,6	Вес 50 мутовок - 11,88	
12,5	Вес сухих - 0,02	
8,7	13	13,2
12	12,2	13,3
11,3	13,4	12
12,2	12,5	13,6
11,6	13,2	12,7
13,5	12,2	14
11,5	13,4	12,6
13	11,3	13,5
11,3	13,6	13,7
11,6	12,9	181,3
11,5	12,9	
11,6	10,4	
10,4	12	
		ср. длина 1
	11,33125	мутовки

вес и длина мутовок на контроле 4

8,7	Вес сухих -0,13	
10,7	Общий вес-11,67 гр.	
8,9	Вес мутовок- 10,27	
9,3		11,2
8,6		7,7
9,4		10
9,2		9,2
11,8		9,8
10,3		10,6
11,1		11,5
10,2		9,8
10,8		10,9
11,2		11,6
11,4		11,7
10,2		8,8
10,2		11,4
10,4		10,6
		11,8
		8,8
		9,2
		9
		10,8

Вес и длина мутовок на контроле 8

9,8		
12		
11,9	Вес сухих - 0,12	
12	11,5	10
8,1	11,3	11,2
11,9	11,5	9,6
12	11,3	10,4
10,9	11,2	11,3
10,8	11,2	12,1
10,1	12,8	9,6
11	11,7	10,4
10,5	12,2	10,6
10,7	13,1	10,7
10,6	13	11
10,8	10,5	11,4
11,6	11,7	10,3
11,7	11,2	11,2
11,4	12,6	8,2
		12
		197,8
	Вес 50 мутовок - 10,94	10,98889
	Общий вес -	
	12,73	



9

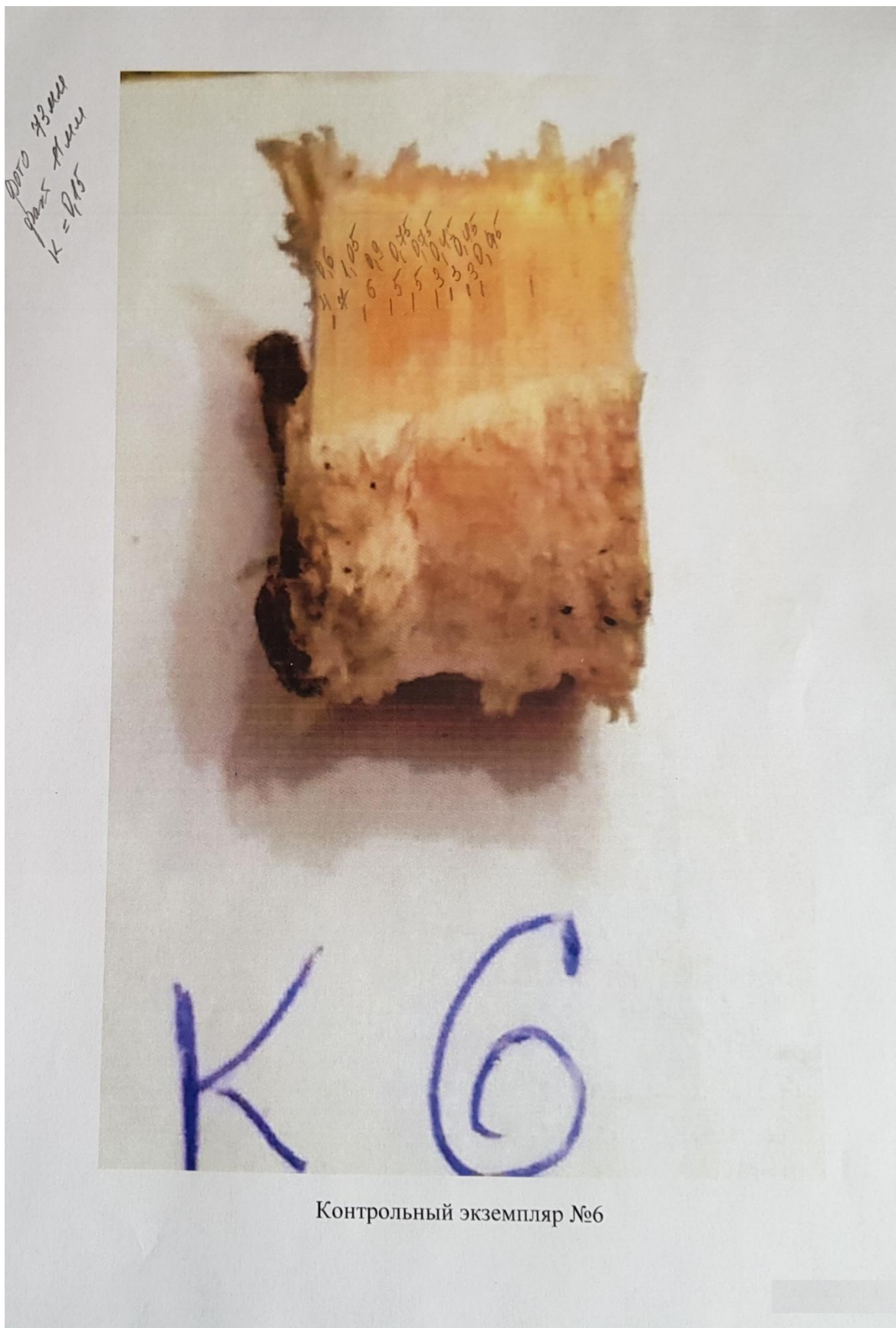
10,14118		172,4			
проба	контроль	проба	контроль	проба	контроль
11,1	10,8	13,1	10,4	12,4	10
11,1	10,5	13,1	16,7	9,6	11,9
10,3	12	22,3	11,7	11,7	10,2
11,1	12,1	22,8	13,8	10,5	10,3
12,3	11,6	10,6	12,7	7,3	10,9
12,2	13,1	18,7	12,3	9,5	10,4
11,1	10,9	21,2	14	10	11,8
11,4	11,6	16,1	19,5	11,4	15,9
12,2	11,3	18,9	13,2	10,9	11,5
11,42222	11,54444	17,42222	13,81111	10,36667	11,43333
длина хвои средняя		вес общий ветки среднее		вес 50 мутовок средний	

проба	контроль	проба	контроль
0,1	0,1		
0,6	0,1		
0,1	0,1		
0,3	0,2		
0,1	0,9		
0,1	0,2		
0,7	0,1		
0,285714	0,1		
	0,225		

вес сухих среднее      вес одной мутовки среднее

## Средние по трём экземплярам

	Ср. вес побегов пробы, гр.	Ср. вес побегов контроль, гр.	Ср. толщина ГК проба, мм.	ср. толщина ГК контроль, мм.
до 2014				1,1 0,6
2015- 2019	17,4	14,1		1,6 0,9
	вес побега	вес хвои	дефект мутовки	Длина хв.
проба ср.	17,40	0,29	0,2	1
контроль ср.	14,1	0,24	0,1	4
	средний вес побега	вес 1 хвоинки		
проба	17,4	0,29		
контроль	14,1	0,24		



Рого 185 м  
Вагет 22 мм  
K = 0.16

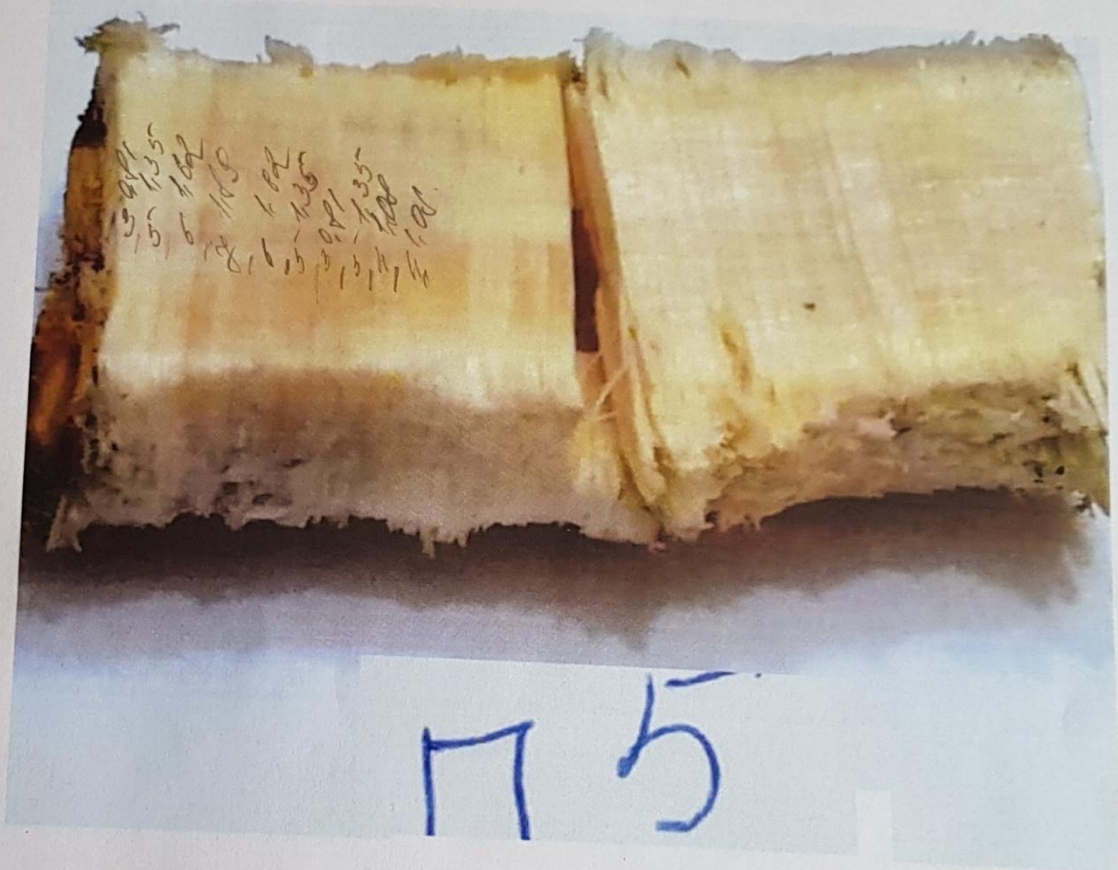


К 9

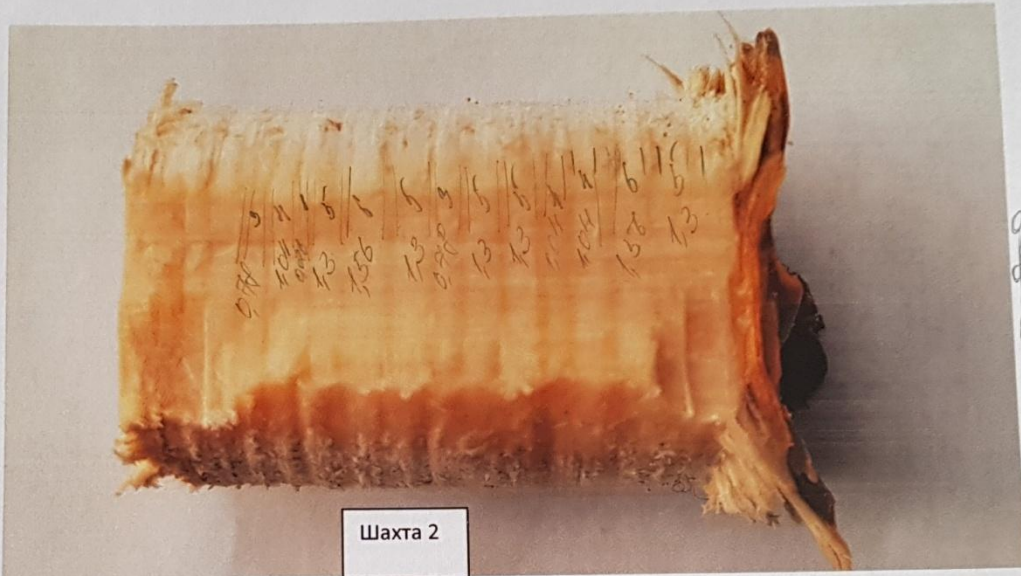
Контрольный экземпляр №9



форт-62  
фрак-17  
K = 0,22



Пробный экземпляр №5



Шахта 2

Керны с лесных экземпляров у Медной Шахты

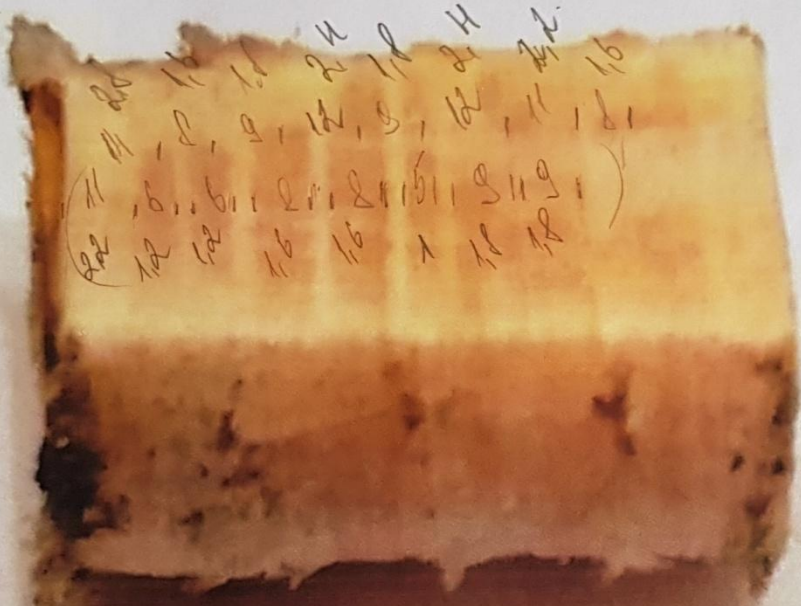


Шахта 3

Фотом - 13 см  
Факт - 3 мм  
R = 0,23



Форм. 113 мм.  
Факт. 113 мм.  
К. 0,20



178

Пробный экземпляр №8