

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ М. И. Гладышев

подпись инициалы, фамилия

«_____» _____ 2018 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Цикличность годичного прироста лиственницы сибирской на верхней границе
Горного Алтая

06.03.01 - Биология

| | | | |
|--------------|---------------|----------------------------|-------------------------|
| Руководитель | _____ | профессор, д.б.н. _____ | Силкин П.П. _____ |
| | подпись, дата | должность, ученая степень | инициалы, фамилия |
| Выпускник | _____ | | Ануфриева К.М. _____ |
| | подпись, дата | | инициалы, фамилия |

Красноярск 2018

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Цикличность годовичного прироста лиственницы сибирской на верхней границе Горного Алтая» содержит 39 страниц, 32 использованных источника, 20 иллюстраций и 4 таблицы.

ЛИСТВЕННИЦА СИБИРСКАЯ, ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВАЯ ХРОНОЛОГИЯ, ШИРИНА ГОДИЧНОГО КОЛЬЦА, АЛТАЙ, ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ, КЛИМАТ, ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯ.

Цель работы: провести сравнительный анализ спектральных характеристик хронологий ширины годовичных колец лиственницы сибирской, произрастающей на верхней границе Горного Алтая, и рядов метеорологических параметров двух близлежащих метеорологических станций с целью выявления общих природных циклических закономерностей.

Задачи:

1. Провести измерения ширины годовичных колец лиственницы сибирской, произрастающей на верхней границе Горного Алтая;
2. Построить индивидуальные хронологии ширины годовичных колец, стандартную и остаточную хронологии;
3. Используя корреляционный анализ, выявить связь величины сезонного прироста годовичных колец лиственницы с основными климатическими параметрами метеорологических станций;
4. Методами фурье-анализа получить спектральный состав хронологий ШГК, температуры, осадков двух метеостанций.
5. Провести сравнительный анализ спектрального состава хронологий ШГК и метеопараметров.

В результате исследования проведены измерения и датировка 12 образцов лиственницы сибирской. Построены индивидуальные хронологии древесных кернов для каждого дерева, а так же обобщенные хронологии для всех серий древесных колец.

Преобладающее влияние на годовичный прирост лиственницы сибирской по данным корреляционного анализа оказывают температуры июня. Значимая отрицательная связь прироста лиственницы прослеживается с осадками мая (-0,33) и июня (-0,55). Это объясняется тем, что рост побегов сдерживается таким негативным фактором, как избыток влажности среды обитания.

В спектральном составе прироста лиственницы сибирской выявлены циклы с продолжительностью в 3 – 4 года, 4 – 5 лет, 5 – 6 лет и 6 – 9 лет. Что совпадает с выявленными циклами в спектральном составе осадков (6 – 9 лет) и температуры (3 – 4 года).

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ..... | 5 |
| 1.1. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ..... | 5 |
| 1.1.1 СЕЗОННАЯ АКТИВНОСТЬ КАМБИЯ | 7 |
| 1.1.2. ДРЕВЕСИНА ХВОЙНЫХ | 8 |
| 1.1.3. ФЛОЭМА ХВОЙНЫХ | 10 |
| 1.2. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ | 12 |
| 1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ | 14 |
| 1.4. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ | 16 |
| 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ | 19 |
| 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ | 23 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 24 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 26 |

ВВЕДЕНИЕ

Хронологии годовых колец древесных растений дают возможность изучать реакции радиального прироста деревьев на изменения климатических характеристик. Анализ хронологий необходим для реконструкций изменений климата [10]. В дендрэкологических исследованиях вопрос о возможности извлечения климатического сигнала и реконструкции климатических параметров на основе данных ширины годовых колец имеет первостепенное значение. При этом большое внимание уделяется районам, где летняя температура воздуха или количество атмосферных осадков являются основными лимитирующими факторами для роста древесных пород [17].

Цель работы: провести сравнительный анализ спектральных характеристик хронологий ширины годовых колец лиственницы сибирской, произрастающей на верхней границе Горного Алтая, и рядов метеорологических параметров двух близлежащих метеорологических станций с целью выявления общих природных циклических закономерностей.

Для достижения цели были поставлены несколько **задач**:

6. Провести измерения ширины годовых колец лиственницы сибирской, произрастающей на верхней границе Горного Алтая;
7. Построить индивидуальные хронологии ширины годовых колец, стандартную и остаточную хронологии;
8. Используя корреляционный анализ, выявить связь величины сезонного прироста годовых колец лиственницы с основными климатическими параметрами метеорологических станций;
9. Методами фурье-анализа получить спектральный состав хронологий ШГК, температуры, осадков двух метеостанций.
10. Провести сравнительный анализ спектрального состава хронологий ШГК и метеопараметров.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ

Годичные кольца в ксилеме деревьев формируются в результате ежегодного нарастания конуса ксилемных производных камбия. У хвойных и кольцесосудистых пород умеренной зоны годичные кольца хорошо различимы вследствие различий анатомического строения составляющих элементов, отложенных камбием в начале и конце вегетационного периода. У хвойных пород, древесину которых на 94 - 96% составляют трахеиды, годичные кольца разделяются по границе между толстостенными мелкими клетками поздних трахеид и тонкостенными крупными клетками ранних трахеид следующего кольца прироста [3].

У хвойных видов в начале периода роста формируются крупные и тонкостенные клетки, а у лиственных, кроме того, и крупные сосуды. Этот слой клеток получил название «ранняя древесина». В конце периода роста образуются более мелкие и толстостенные клетки. Этот слой клеток с отсутствием или меньшим количеством сосудов хорошо отличается от предыдущего более темным цветом и называется «поздней древесиной» (Рисунок 1) [18].

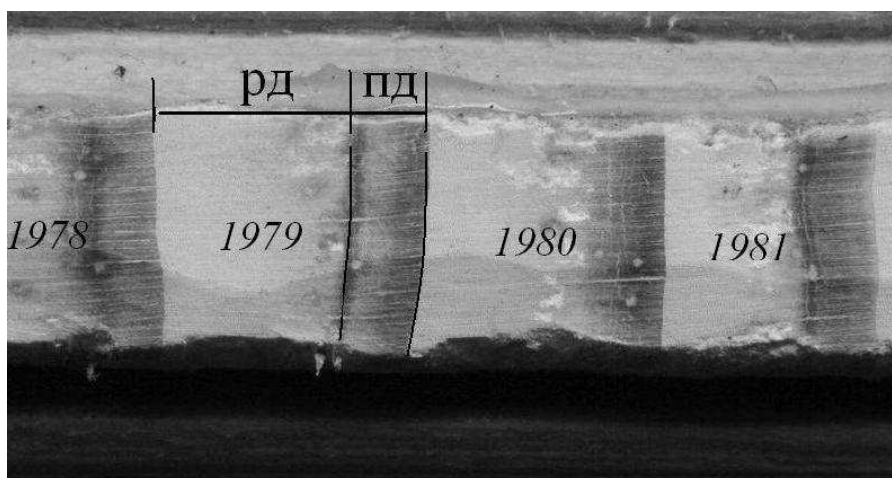


Рисунок 1 – Годичные кольца сосны обыкновенной, рд- ранняя, пд- поздняя древесина (увеличение x 7) [18]

Общей чертой строения отдельных годовичных колец хвойного дерева является переход от тонкостенных крупных к толстостенным мелким трахеидам. Этот переход хорошо прослеживается на отдельных рядах клеток, пронизывающих годовичное кольцо от внутренней границы к внешней. Схематически внутреннее строение годовичного кольца хвойного на поперечном срезе представляет собой плотно сомкнутые радиальные ряды трахеид [21].

Ксилема древесных растений имеет ряд специфических особенностей:

а) клетки ксилемы зачастую организованы в линейные ряды, являющиеся, по-видимому, клеточными клонами, возникшими из одной инициали;

б) образование годовичных колец в древесине позволяет получать календарные отметки времени по мере роста ткани;

в) клеточная неоднородность зрелых клеток дает возможность анализировать особенности роста. Функция трахеид во многом определяется их размерами, следовательно, по простым анатомическим признакам клеток можно изучать рост не только в качественном, но и в количественном отношении;

г) сохранение ксилемных клеток у дерева в течение всей жизни позволяет проанализировать полную динамику роста растения;

д) изучение древесных клеток имеет уникальные методические преимущества. В первую очередь – это возможность многократного взятия материала без существенного повреждения самого растения. Кроме того, линейная упорядоченность клеточной структуры позволяет создавать автоматизированные системы для получения и обработки данных;

е) количественный анализ анатомических изменений клеток дает возможность проследить влияние основных внешних и внутренних факторов на рост и дифференцировку ксилемы и, используя выявленные количественные закономерности, реконструировать динамику внешних условий за большие промежутки времени. Это особенно важно для оценки как фоновой изменчивости среды обитания, так и антропогенных воздействий на отдельные растения и фитоценоз в целом [3].

1.1.1 СЕЗОННАЯ АКТИВНОСТЬ КАМБИЯ

Вторичный рост, обусловленный камбиальной активностью, тесно связан с деятельностью первичных частей тела растения и обнаруживает колебания в зависимости от изменения физиологического состояния растения [21].

На активность камбиальных клеток влияют как внутренние, так и внешние комплексно действующие факторы. Из внутренних факторов наибольшее влияние оказывают порода дерева, наследственная индивидуальная изменчивость, возраст и плодоношение. Из внешних факторов на величину прироста влияют климатические и почвенно-грунтовые условия, фитоценотические взаимоотношения, разного рода катастрофы, а также хозяйственная деятельность человека. Радиальный прирост деревьев (ширина годичного кольца) находится под контролем внутренних факторов и модифицируется внешними [18].

Образование камбием новых клеток замедляется или полностью прекращается во время периода покоя, и проводящие ткани дифференцируются более или менее близко к инициальному слою. Зимний период покоя сменяется весной возобновлением камбиальной активности. С анатомической точки зрения этот процесс реактивации камбия можно разделить на два этапа: 1) увеличение радиальных размеров камбиальных клеток («набухание» камбия) и 2) начало деления клеток [22].

Увеличение радиальных размеров сопровождается снижением механической прочности радиальных стенок. Клеточные деления, происходящие во время второго этапа реактивации камбия, представляют собой аддитивные (периклиналиные) деления. У хвойных, как и двудольных, годичный прирост ксилемы значительно превышает прирост флоэмы.

Первоначальная стимуляция деятельности камбия часто приписывается ростовым веществам, передвигающимся из растущих почек в базипетальном

направлении. Однако после этого поддержание камбиальной активности происходит независимо от роста нового побега [21].

1.1.2. ДРЕВЕСИНА ХВОЙНЫХ

Вторичная ксилема хвойных устроена проще, чем у большинства двудольных (Рисунок 2). Одна из наиболее общих черт в ее строении — это отсутствие сосудов. Трахеальные элементы неперфорированные и представлены главным образом трахеидами. Волокнистые трахеиды могут встречаться в поздней древесине, но волокна либриформа отсутствуют. Трахеиды — длинные узкие клетки, в среднем от 2 до 5 мм в длину. Вершины имеют клиновидную форму; усеченная сторона вершин видна на радиальном срезе (Рисунок 2) [22].

Трахеиды ранней древесины имеют округлые окаймленные поры с такими же округлыми внутренними апертурами. Трахеиды поздней древесины (или волокнистые трахеиды) обычно имеют редуцированное окаймление с овальной внутренней апертурой [21].

Это различие в структуре пор связано с увеличением толщины оболочки клеток поздней древесины. Пары пор, расположенные между трахеидами, обычно имеют торусы. В большей части кольца прироста поры встречаются только на радиальных стенках (Рисунок 2); в поздней древесине и тангенциальные стенки могут нести поры. Особенно многочисленны пары пор на перекрывающихся вершинах трахеид.

Типичным для хвойных является однорядное расположение пор, только у *Taxodiaceae* и *Pinaceae* некоторые широкие трахеиды ранней древесины могут иметь два или несколько рядов супротивно расположенных пор. Трахеиды хвойных помимо сплошной пористой вторичной оболочки иногда имеют спиральные утолщения. Осевой паренхимы в древесине хвойных может и не быть. У некоторых родов (*Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Pseudotsuga*) осевая паренхима

встречается только в ассоциации со смоляными ходами. В древесине некоторых видов Pinaceae имеются всегда смоляные ходы и, кроме того, при поранениях они образуются дополнительно. Лучевые трахеиды характерны для большинства видов Pinaceae, а также встречаются у Sequoia и Cupressaceae. Они всегда располагаются одним или двумя рядами вдоль края луча. Каждая осевая трахеида находится в контакте с одним или несколькими лучами (Рисунок 2).

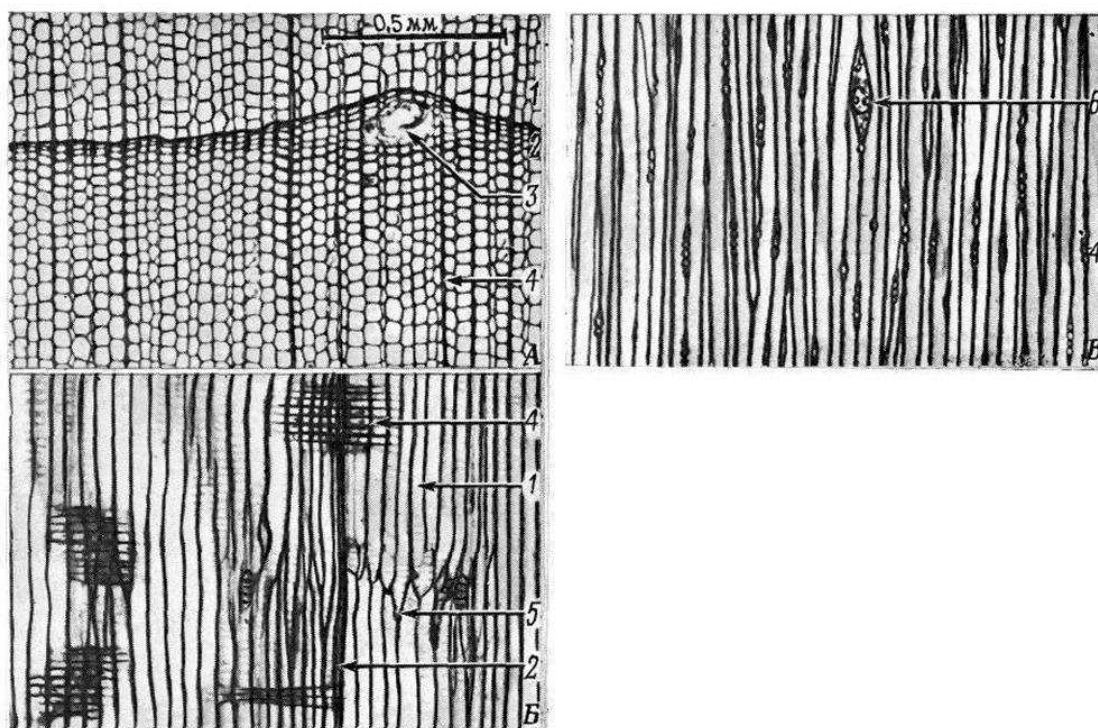


Рисунок 2 - Три среза древесины сосны (*Pinus strobus*): поперечный (А), радиальный (Б) и тангенциальный (В). 1- ранняя древесина; 2- поздняя древесина; 3- смоляной ход; 4- луч; 5- вершина трахеиды; 6- луч со смоляным ходом [21]

Между осевыми трахеидами и клетками лучевой паренхимы располагаются полуокаймленные пары пор, причем окаймление образуется только со стороны трахеальной клетки; пары пор между осевыми и лучевыми трахеидами являются окаймленными с обеих сторон. Форма, распределение и число пор между клетками лучевой паренхимы и осевыми трахеидами на радиальных срезах имеют очень характерную картину, называемую полем перекреста [22].

1.1.3. ФЛОЭМА ХВОЙНЫХ

У хвойных вторичная флоэма обычно имеет более простое строение и отличается меньшим видовым разнообразием, чем у двудольных. Осевая система состоит из ситовидных и паренхимных клеток (Рисунок 3), причем некоторые из этих последних могут дифференцироваться как альбуминовые клетки. В осевой системе встречаются также волокна и склереиды. Лучи однорядные и содержат паренхимные и альбуминовые клетки. В большинстве случаев альбуминовые клетки располагаются на концах лучей. Смоляные ходы могут присутствовать в обеих системах [22].

Ситовидные элементы представляют собой длинные клетки, имеющие множество ситовидных полей, расположенных преимущественно на радиальных стенках. Паренхимные клетки собраны в тяжи (Рисунок 3, Б, В) или рассеяны поодиночке. Волокна обычно отсутствуют у *Pinus* и всегда присутствуют у *Taxaceae*, *Taxodiaceae* и *Cupressaceae*, у которых они располагаются, как правило, в виде однорядных тангенциальных полос (Рисунок 3, Л), перемежающихся со сходными полосами паренхимных и ситовидных клеток [21].

На поперечных срезах флоэмы хвойных только узкая полоса клеток, приблизительно равная одному годовому приросту, может быть отнесена к активной флоэме; остальные слои являются непроводящими. Паренхимные клетки увеличиваются в непроводящей флоэме и остаются живыми до тех пор, пока не срезаются перидермой (Рисунок 3). Клетки лучевой паренхимы также сохраняются активными, кроме альбуминовых клеток, которые в нефункционирующей флоэме разрушаются [22].

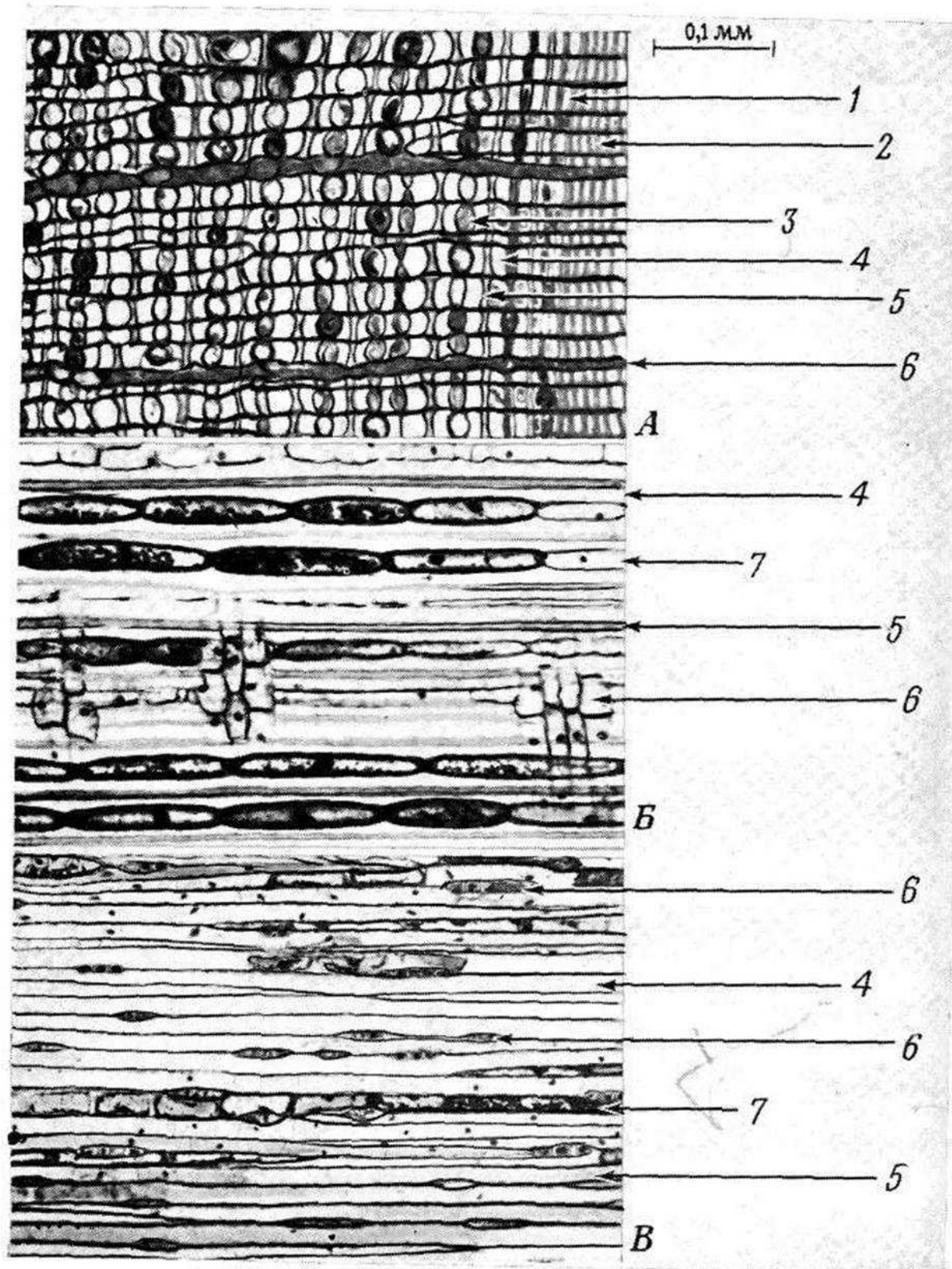


Рисунок 3 - Три среза вторичной флоэмы хвойного растения *Thuja occidentalis* (туя западная). Ситовидные клетки, клетки флоэмной паренхимы и волокна, расположенные тангенциальными рядами, чередуются друг с другом. А. Поперечный срез. Б. Радиальный срез. В. Тангенциальный срез. 1- камбий; 2- ксилема; 3- паренхимная клетка; 4- ситовидная клетка; 5- волокно; 6- луч; 7- паренхимный тяж [22]

1.2. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ

Все экзогенные факторы можно распределить на две группы. В первую группу входят факторы, которые прямо воздействуют на ксилему древесных колец. Вероятнее всего, они связаны с неблагоприятными явлениями разного масштаба, протекающими вблизи дерева:

- Температурное воздействие;
- Прямое механическое воздействие;
- Радиационное воздействие.

Физические факторы из второй группы действуют на образование колец ксилемы косвенно, опосредованно через физиологические процессы в дереве, интенсивность которых определяется силой влияния этих факторов. К ней можно отнести целый комплекс постоянно и попеременно действующих факторов в течение вегетационного периода, влияющих на фотосинтетические процессы, баланс гормонов роста, ассимилятов и других питательных веществ, которые определяют динамику ростовых процессов дерева и формирование его органов и структуры годичных колец [16][5].

При определении сроков, в которые начинается период вегетации, а также теплового режима, внутри отдельного физико-географического района, определяющую роль играет то, насколько высоко над уровнем моря располагается место произрастания, а также рельеф данного места. Тем не менее, момент окончания периода вегетации для разных высот произрастания деревьев является одинаковым, несмотря на сравнительно значительную возможную разницу во времени инициации камбия для них (более четырех недель для разницы высот произрастания в две тысячи метров) [16].

Почвенные характеристики относятся к постоянно действующим факторам. Механическое строение и химический состав почвы определяют её влагоёмкость и, как следствие, количество доступной воды для древесных растений. Увеличение почвенного слоя препятствует теплообмену между

почвой и воздухом, что приводит к поднятию границы вечной мерзлоты, вследствие чего происходит подавление развития корневой системы деревьев. Внесение дополнительного минерального питания в условиях, где сказывается явная нехватка вносимого элемента, приводит к ускорению ростовых процессов дерева и изменению характеристик годичных колец [4].

К переменным факторам внешней среды в первую очередь следует отнести температуру и осадки. Их соотношение в отдельные периоды сезона роста определяют ускорение или замедление ростовых процессов, что оказывает сильное влияние на структуру годичных колец [9].

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ



Рисунок 4 - Молодая женская шишка *Larix sibirica*. Молдова, Кишинев, Ботанический сад АН Молдовы. 05.04.2015 [29]

шириной [7].

Растет частично вместе с другими хвойными, частично образует чистые, довольно светлые, насаждения. Предпочитает каменистые, песчаные, сухие почвы. Лиственничные леса образуют ассоциации не только с полукустарниками и травами, но и с мхами и лишайниками.

Кора прочная, может достигать 10 см и больше. Это позволяет дереву выживать после лесных пожаров. Листья на удлинённых побегах расположены спирально, а на укороченных – пучками. Семена созревают в сентябре-октябре, но выпадают из шишек зимой или весной. Освободившиеся от семян шишки остаются висеть на дереве, постепенно чернеют и опадают лишь через 1-3 года. В пору семяношения лиственница вступает в 15-30 лет. Предельным возрастом лиственницы сибирской считают 450-500 лет, но известны долгожители, в возрасте 900 лет.

Систематика:

Отдел Pinophyta

Класс Pinopsida

Порядок Pinales

Семейство Pinaceae

Род *Larix*

Вид *Larix sibirica* Ledeb., 1833 [28].

Ботаническое описание: Лиственница

имеет крону пирамидальной формы, вырастает в высоту до 40 метров. Ствол конусовидный, снизу утолщён. Хвоя линейная, по 30-40 в пучке, в длину 2 – 4 см и 0,1 – 1 мм в ширину. Незрелые шишки (Рисунок 4) розовые, зрелые бурые,

яйцевидной формы, 2—4 см длиной и 2—3 см шириной. Их чешуи густо покрыты рыжими волосками, 13—20 мм длиной, 10—15 мм

Лиственница – весьма светолюбивая порода. В свою очередь она сама образует крайне светлые леса, потому что ее крона достаточно ажурная и пропускает много света. Это позволяет поселяться в лиственничниках самым разнообразным деревьям, кустарникам, полукустарникам, травам, мхам, лишайникам. Широкой известностью пользуется корабельная лиственничная роща, заложенная в 1738 г. по завету Петра Великого на Карельском перешейке под Санкт-Петербургом. Высоко ценится древесина лиственницы. Целебные свойства лиственницы определяются значительным содержанием в ее хвое аскорбиновой кислоты (до 325 мг), в живице эфирного масла (до 16 %), в коре – антоциана, флавонола и органических кислот.

1.4. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Верхняя граница леса Горного Алтая проходит на высотах 2200—2400 м над уровнем моря. Здесь преобладают леса, сложенные кедром и лиственницей. Так как в напочвенном покрове доминируют мхи, можно сделать вывод об обильном увлажнении, а также о том, что температура может являться лимитирующим фактором [14][2].

Короткая, семичасовая ночь и довольно большой (60-66 градусов) угол солнца над горизонтом в летнее время, являются отличительными чертами Горного Алтая. Зимой же, ночь становится более чем вдвое длиннее, а угол солнца не превышает и отметку в 20 градусов. Следствием данных природных особенностей становится изменение сумм солнечного тепла. Высокие водоразделы, широкие долины рек, а также межгорные котловины собирают в горах максимальные суммы солнечного тепла. Продолжительность солнечного сияния, к примеру, в Сочи или Ялте, ниже, чем продолжительность солнечного сияния здесь.

Для зимы, обычно, характерна безоблачная холодная погода, довольно редко сменяющаяся метелью. Большое количество глубоких долин и котловин способствует образованию инверсионных условий: на склонах и высоких вершинах в наиболее холодном месяце года, январе, температура может доходить до двадцати градусов ниже нуля, но в то же время в котловинах, неподвижный воздух замерзает до сорока-пятидесяти градусов мороза [26].

Координаты места сбора образцов (Рисунок 1): 51°02'43" с.ш. 85°36'15" в.д. Участок достигает 1716 м над уровнем моря.

Был проведён корреляционный анализ с данными метеостанций Кош-Агач и Усть-Кокса. Сравнительные характеристики географического положения представлены в Таблице 1.

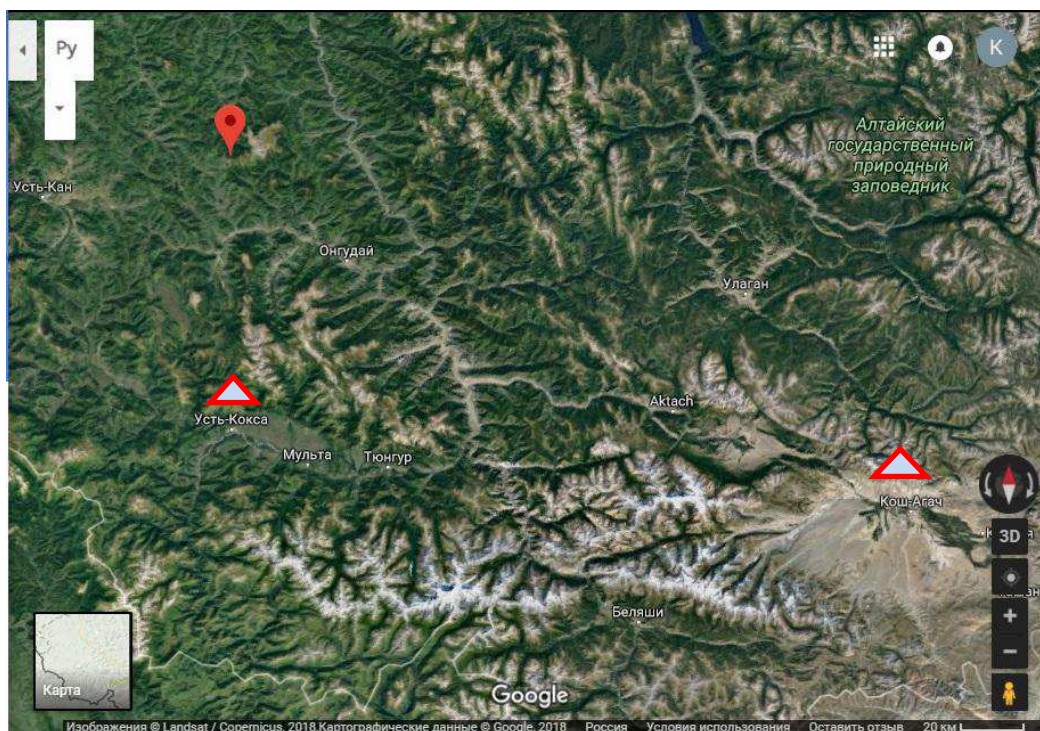


Рисунок 5 – Место сбора образцов. Треугольниками обозначены метеостанции [32]

Расстояние между местом сбора образцов и метеостанцией Кош-Агач 250,95 км. Между местом сбора образцов и метеостанцией Усть-Кокса – 92, 90 км. Между двумя метеостанциями – 222,23 км [32].

Таблица 1 – Географические характеристики метеостанций и места сбора образцов

| Участок | Координаты | Высота над уровнем моря (м) |
|----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Место сбора образцов | 51°02'43" с.ш. 85°36'15" в.д. | 1716 |
| Усть-Кокса | 50°16'48" с.ш. 85°37'12" в.д. | 1080,5 |
| Кош-Агач | 50°00'00" с.ш. 88°40'48" в.д. | 1749,1 |

Между метеостанцией Усть-Кокса и местом сбора образцов расположен Теректинский хребет.

Хребет имеет длину около 150 километров, максимальную высоту в 2927 метров. Его длина примерно 150 км, высоты до 2927 м. Климат засушливый и резко континентальный. Максимальная континентальность наблюдается в межгорных котловинах и степях. Наибольшая температура в летний период: до +30 градусов, наименьшая температура в зимний период: до –50 градусов. Кедровые лиственные и пихтовые леса покрывают северные склоны хребта, также лиственные леса покрывают и южные склоны; на высоте более двух тысяч метров произрастают заросли ивы и карликовой берёзы; горная тундра и альпийские луга располагаются в пригребневой части. Лесные луга и высокогорные плато изобилуют эндемиками и редкими охраняемыми видами, имеется разнотравье [30].

Между местом сбора образцов и метеостанцией Кош-Агач расположен Курайский хребет. Он имеет длину примерно в 140 километров, наивысшая точка имеет высоту 3446 метров. Лиственные леса и субальпийские луга покрывают северный склон хребта ниже гольцовой зоны, степная растительность покрывает южный склон [27].

Место сбора образцов находится вблизи на Чергинском хребте. В составе горных пород преобладают отложения песчаников и сланцев. Кедрово-пихтовая и горная лиственная тайга покрывает верхнюю часть склонов хребта, на нижней же произрастают сосновые боры и располагаются луговые степи. Наивысшая точка расположена на высоте 2014 метров [31].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования была выбрана древесина лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb), которая характеризуется высокими индикационными свойствами (высокая чувствительность прироста к изменению условий окружающей среды) и широкой экологической амплитудой роста [10][1].

На участке (Рисунок 6) изъяты образцы с 12 деревьев по двум радиусам. Керны древесины (Рисунок 7) имеют диаметр 4-5 мм и длину 10-50 см. Для взятия образцов использовался возрастная бур на высоте 1,3 м[11].

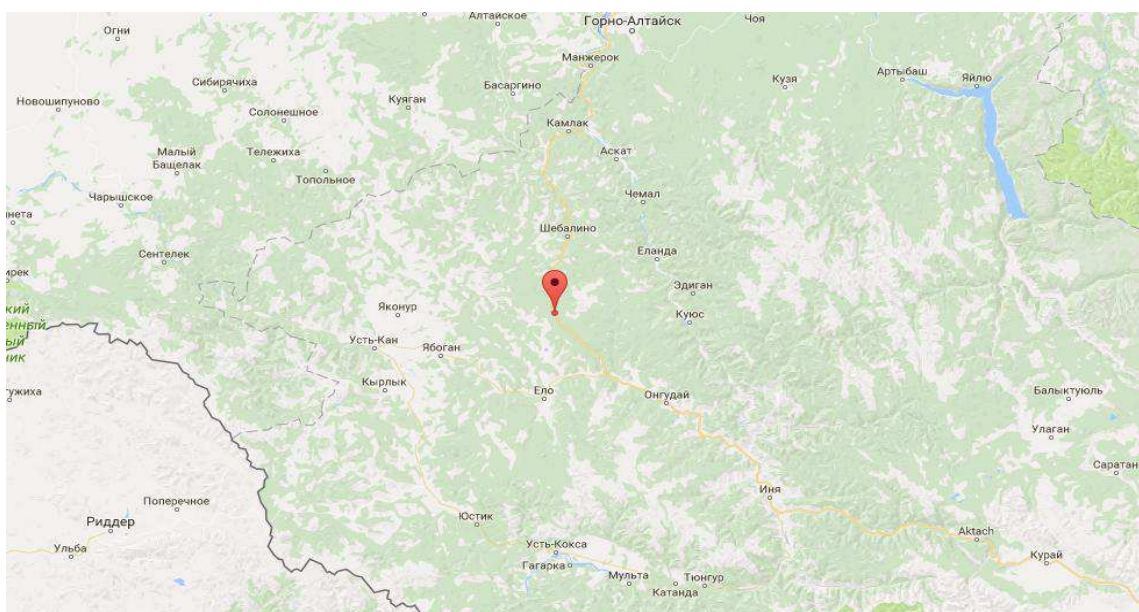


Рисунок 6 – Месторасположение участка сбора дендрохронологических образцов [23]

В лаборатории керны наклеили на деревянную основу, а их поверхность тщательно зачистили скальпелем. Для повышения контрастности и обнаружения очень узких древесных колец в зачищенную поверхность образцов втирали зубной порошок. Далее методом обратного отсчета проводилась предварительная датировка и маркировка древесных колец (Рисунок 8).

Ширина годовичных колец лиственницы измерялась на полуавтоматическом устройстве LINTAB с установленным специализированным пакетом программ TSAP (с точностью 0.01 мм). По

полученным данным строились графики абсолютного радиального прироста для каждого радиуса, которые были использованы для точной датировки годовичных колец при помощи метода перекрестной датировки [19].



Рисунок 7 – Внешний вид древесного керна [19]

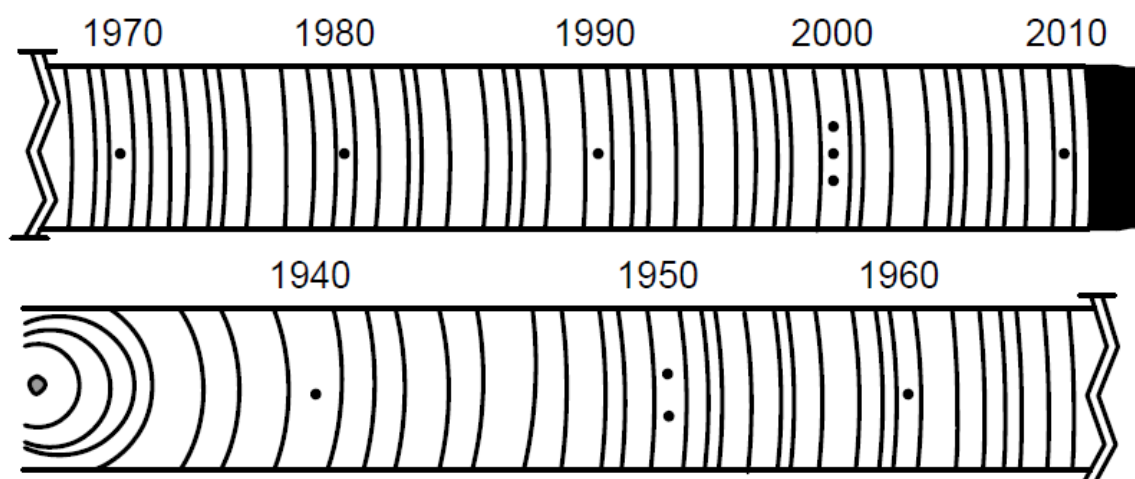


Рисунок 8 – Метод маркировки колец древесины. Одна точка обозначает десятилетие, две – пятидесятилетие, три – столетие [19]

Методом графической перекрестной датировки определялась абсолютная дата каждого годовичного кольца в индивидуальных сериях, выявлялись ложные и выпавшие кольца годовичного прироста. Суть метода заключается в сравнении

сходных графиков годовых колец у разных образцов и обнаружении точного места, где совпадение между ними максимально. Метод перекрестной датировки позволяет производить относительную и абсолютную датировку времени формирования древесных колец. Относительная датировка даёт возможность установить возраст анализируемых кернов относительно друг друга, для которых календарная дата неизвестна. Абсолютная датировка это определение точной календарной даты всех годовых колец у изучаемых кернов. Она может быть проведена только в том случае, если известна календарная дата взятия образца древесины хотя бы у одного дерева. Качество датировки оценивалось с помощью кросскорреляционного анализа в программе COFESHA [19].

Для удаления возрастного тренда и тренда в дисперсиях, а так же для выделения климатического сигнала, влияющего на ширину годового кольца, проводилась процедура стандартизации (индексации) в программе ARSTAN. Индексы – относительные величины, показывающие отклонение абсолютного прироста от многолетней тенденции. Вычислялись индексы прироста путем деления ширины годового кольца каждого года на его среднее значение для данного биологического возраста [15][12].

Осреднением индивидуальных серий индексов прироста получали обобщенные (локальные) для местообитания древесно-кольцевые хронологии [20, 23]. Помимо этого, для каждого индивидуального ряда была рассчитана модель авторегрессии [25, 23] и получена остаточная (residual) хронология, в которой отсутствует изменчивость, зависящая от автокорреляции измерений прироста соседних лет и имеющая не климатическую природу [24, 6].

Осреднением остаточных серий получали обобщенную остаточную серию, которая предполагается содержащей максимальный климатический сигнал [23]. Итак, для исследуемого местообитания были получены две обобщенные хронологии — стандартная (STD) и "остаточная" (RES), которые послужили объектом для дальнейшего исследования [14].

Для статистического анализа индивидуальных и обобщенных хронологий использовались общепринятые статистические показатели: межсерийные и парные коэффициенты корреляции, чувствительность, стандартное отклонение и др. Коэффициент чувствительности является относительной величиной межгодовой изменчивости прироста в сериях годовых колец индивидуальных хронологий. Он вычисляется через нахождение абсолютного значения разности ближайших значений ширины колец, деленной на их среднюю величину. Серия древесных колец является чувствительной, если средний коэффициент чувствительности больше 0.2 [19].

Для выявления климатических факторов, оказывающих наибольшее влияние на прирост лиственницы на верхней границе леса Горного Алтая, был проведён корреляционный анализ индексов прироста с метеоданными. Анализ проводился с помощью программы STATISTICA.

Данные о температуре и осадках на территории Алтая, зафиксированные метеостанциями, были взяты из Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды (ЕГФД) на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации (Meteo.ru).

Для выявления цикличности годового прироста определены ведущие частоты осадков, температуры и годового прироста лиственницы сибирской с помощью спектрального анализа в программе STATISTICA. Далее полученные спектры сравнивались между собой и выявлялась взаимосвязь прироста с метеоданными.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследования в лабораторных условиях проведена камеральная обработка 12-ти древесных кернов лиственницы сибирской. С помощью метода перекрестной датировки выявлена точная дата всех древесных колец у изучаемых кернов. Средний возраст используемых для построения хронологии деревьев составил 205 лет, возраст самого старого дерева — 235 лет, а самого молодого – 172 года. На Рисунке 9 показано соотношение количества образцов для каждого года выборки. Наиболее длительные хронологии построены по шести сериям (1, 5, 7, 10, 11, 12 в Таблице 2 и 3), хронологии для остальных серий не превысили возраст 195 лет.

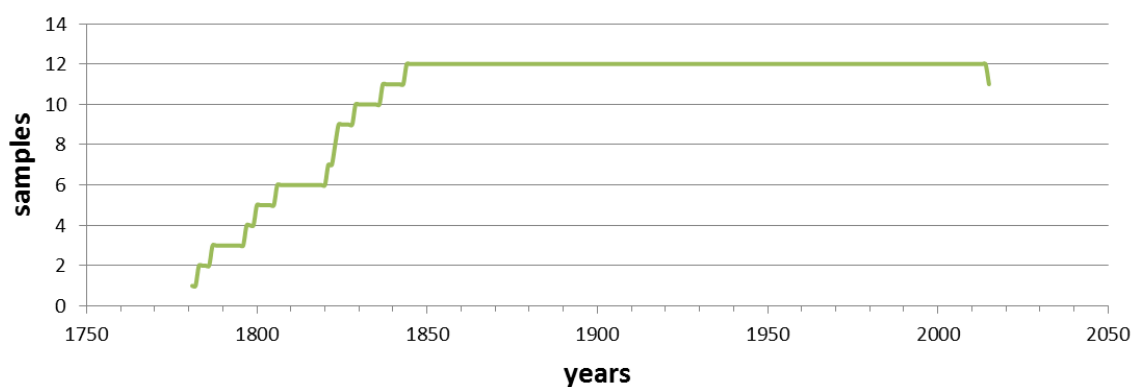


Рисунок 9 – Количество образцов для каждого года выборки

Средняя ширина годичного кольца у исследуемых образцов составила 1,17 мм. Максимальное значение ШГК (ширина годичного кольца) обнаружено в 7 серии - 5,21 мм. Путем выполнения перекрестной датировки индивидуальных серий прироста получена непрерывная древесно-кольцевая хронология протяженностью 235 лет, с 1781 по 2015 г. (Рисунок 10). Она отражает ясно выраженный возрастной тренд, имеющий вид гиперболы. Это один из главных признаков роста здоровых деревьев. До 30 – 40 лет происходит заметное падение (в виде гиперболы) прироста, затем происходит постепенное сглаживание (линия направляется к горизонтали), на которое накладывается "волна", вызванная сменой периодов угнетения и благоприятных периодов для прироста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены измерения и датировка 12 образцов лиственницы сибирской. Построены индивидуальные хронологии древесных кернов для каждого дерева, а так же обобщенные хронологии для всех серий древесных колец. В результате статистического анализа выявлена высокая связь хронологий каждого дерева между собой (коэффициент корреляции 0,73). Данная связь говорит о том, что в обобщенных хронологиях содержится сильный климатический сигнал. Об этом же свидетельствует коэффициент чувствительности 0,29 и 0,34 для стандартной и остаточной хронологий соответственно.

Преобладающее влияние на годичный прирост лиственницы сибирской по данным корреляционного анализа оказывают температуры июня. Высокие коэффициенты корреляции (0,52, 0,47) говорят о перспективности использования деревьев, произрастающих на данной территории применительно к задачам, связанным с проведением температурных реконструкций.

Корреляционный анализ показал, что для исследования влияния осадков на прирост лиственницы на данной территории из-за особенностей микроклимата и рельефа рациональнее использовать данные с метеостанции Усть-Кокса.

Значимая отрицательная связь прироста лиственницы прослеживается с осадками мая (-0,33) и июня (-0,55). Это объясняется тем, что рост побегов сдерживается таким негативным фактором, как избыток влажности среды обитания.

В спектральном составе прироста лиственницы сибирской выявлены циклы с продолжительностью в 3 – 4 года, 4 – 5 лет, 5 – 6 лет и 6 – 9 лет. Что совпадает с выявленными циклами в спектральном составе осадков (6 – 9 лет) и температуры (3 – 4 года).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что строение годовичных колец лиственницы сибирской отражает динамику сезонного роста дерева, а так же сезонную изменчивость условий внешней среды. С помощью дендрохронологических методов можно с успехом использовать показатели годовичных колец для восстановления погодных и климатических условий прошлого, выявления цикличности климатических условий, определения факторов среды, оказывающих наибольшее влияние на скорость сезонного роста деревьев в разных экологических условиях.

В ходе выполнения дипломной работы были решены следующие задачи:

1. Проведены измерения ширины годовичных колец лиственницы сибирской, произрастающей на верхней границе Горного Алтая;
2. Построены индивидуальные хронологии ширины годовичных колец, стандартная и остаточная хронологии;
3. С помощью корреляционного анализа выявлена связь величины сезонного прироста годовичных колец лиственницы с основными климатическими параметрами метеорологических станций;
4. Методами фурье-анализа получен спектральный состав хронологий ШГК, температуры, осадков двух метеостанций.
5. Проведен сравнительный анализ спектрального состава хронологий ШГК и метеопараметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабушкина, Е. А. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий их произрастания / Е. А. Бабушкина. и др. // География и природные ресурсы. – 2011. – №1. – С. 159-166.
2. Бочаров, А. Ю. Структура и динамика высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в условиях изменений климата / А. Ю. Бочаров. и др. // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – №352. – С. 203-206.
3. Ваганов, Е. А. Гистометрический анализ роста древесных растений / Е. А. Ваганов. и др. – Новосибирск : Наука, 1985. – 102 с.
4. Ваганов, Е. А. Дендрохронология / Е. А. Ваганов, В. Б. Круглов, В. Г. Васильев. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2008. – 120 с.
5. Ваганов, Е. А. Экологическая биофизика / Е. А. Ваганов. и др. – М. : Логос, 2002. – 360 с.
6. Герасимова, О. В. Климатически обусловленная динамика радиального прироста кедра и пихты в горно-таежном поясе природного парка «Ергаки» / О. В. Герасимова. и др. // Журнал Сибирского Федерального Университета. – 2010. – №1. – С. 18-29.
7. Комаров В.Л. Лиственница – *Larix Miller* // Флора СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1934, Т. 1. — С. 155-156
8. Кухта, А. Е. Влияние температуры и осадков на годичный линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива / А. Е. Кухта. // Вестник Московского государственного университета. – 2009. – 1. – С. 61-66.

9. Ловелиус, Н. В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий / Н. В. Ловелиус. и др. – Л. : Наука, 1979. – 232 с.
10. Мыглан, В. С. Построение 2 367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона / В. С. Мыглан, О. Ч. Ойдупаа, Е. А. Ваганов. // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2012. – №3 (51). – С. 76-83.
11. Мыглан, В. С. Построение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры воздуха юга Алтая за последние 1500 лет / В. С. Мыглан. и др. // География и природные ресурсы. – 2012. – №3. – С. 22-30.
12. Назаров, А. Н. Перспективы построения 6000-летней хронологии по сосне сибирской для территории Центрального Алтая / А. Н. Назаров, В. С. Мыглан. // Журнал Сибирского Федерального Университета. – 2012. – №1. – С. 70-88.
13. Николаева, С. А. Климатогенная реакция деревьев сосны на юге Томской области / С. А. Николаева, Д. А. Савчук. // Журнал Сибирского федерального университета. – 2008. – 4. – С. 400-413.
14. Овчинников, Д. В. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской на верхней границе леса в Горном Алтае / Д. В. Овчинников, Е. А. Ваганов. // Сибирский экологический журнал. – 1999. – №2. – С. 145-152.
15. Ойдупаа, О. Ч. Построение и анализ 1104-летней древесно-кольцевой хронологии *Thuja* для Алтае-Саянского региона (Юго-Восточная Тыва) / О. Ч. Ойдупаа. и др. // Журнал Сибирского Федерального Университета. – 2011. – №4. – С. 368-377.
16. Силкин, П. П. Методы многопараметрического анализа структуры годовичных колец хвойных: монография / П. П. Силкин. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2010. – 335 с.

- 17.Скомаркова, М. В. Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги центральной сибери / М. В. Скомаркова. и др. // География и природные ресурсы. – 2009. – №2. – С. 80-85.
- 18.Тайник, А. В. Прирост лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на верхней границе леса в республике Тыва / А. В. Тайник. и др. // География и природные ресурсы. – 2015. – №2. – С. 91-99.
- 19.Тишин Дендрэкология (Методика древесно-кольцевого анализа) / Тишин, В. Д.. – Казань : Казанский университет, 2011. – 33 с.
- 20.Шиятов, С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С. Г. Шиятов. – М. : Наука, 1986. – 136 с.
- 21.Эзау, К. Анатомия семенных растений. Книга 1 / К. Эзау. – М. : Мир, 1980. – 283 с.
- 22.Эсау, К. Анатомия растений / К. Эсау. – М. : Мир, 1969. – 659 с.
- 23.E. Cook, L. Kairiukstis, eds. *Methods of Dendrochronology, Application in the Environmental Sciences* (Dordrecht, Boston, London, Kluwer Acad. Publ., 1990)
- 24.H. C. Fritts, *Tree-rings and Climate*, N. Y., London, San Francisco, Acad. Press, 1976
- 25.S. G. Shiytov, V. S. Mazepa, E. A. Vaganov, F. H. Schweingruber, *Radiocarbon*, 1996, 1-4, 37-48
- 26.Климат Алтая - Altai-tourist [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://altai-tourist.ru/altai/climate> (дата обращения: 10.03.18)
- 27.Курайский хребет - Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 10.03.18)
- 28.Лиственница сибирская - *Larix sibirica*- Описание таксона- плантариум [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.plantarium.ru/page/view/item/22096.html> (дата обращения: 15.01.18)

- 29.Плантариум - *Larix sibirica* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.plantarium.ru/page/image/id/496273.html> (дата обращения: 15.01.18)
- 30.Теректинский хребет - Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 10.03.18)
- 31.Чергинский хребет - Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 10.03.18)
- 32.Google карты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.google.ru/maps> (дата обращения: 17.03.18).

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 М. И. Гладышев

подпись инициалы, фамилия

« 21 » июня 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Цикличность годичного прироста лиственницы сибирской на верхней границе
Горного Алтая

06.03.01 - Биология

Руководитель



подпись, дата

профессор, д.б.н.

должность, ученая степень

Силкин П.П.

инициалы, фамилия

Выпускник



подпись, дата

Ануфриева К.М.

инициалы, фамилия

Красноярск 2018