



На правах рукописи

УСОВ СЕРГЕЙ ВИТАЛЬЕВИЧ

**ДИНАМИКА И ОСОБЕННОСТИ ТАКСАЦИИ СМЕШАННЫХ
ЛИСТВЕННЫХ ДРЕВОСТОЕВ В КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ**

4.1.6 – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация,
озеленение, лесная пирология и таксация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Красноярск – 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск

Научный руководитель:	доктор сельскохозяйственных наук, профессор Шевелев Сергей Леонидович
Официальные оппоненты:	Чжан Светлана Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет» (г. Братск), кафедра воспроизводства и переработки лесных ресурсов, профессор
	Кузьмик Наталья Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (г. Красноярск), лаборатория таксации и лесопользования, старший научный сотрудник
Ведущая организация:	ФБУ «Дальневосточный научно- исследовательский институт лесного хозяйства» (ДальНИИЛХ), г. Хабаровск

Защита диссертации состоится 19.12.2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.403.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82
E-mail: kalenskaya1966@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», на сайте СибГУ им. ак. М.Ф. Решетнева: www.sibsau.ru

Автореферат разослан 18.10.2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. с.-х. наук, доцент:



Каленская Ольга Петровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В островных лесостепях Средней Сибири лиственные древостой, представлены чистыми и смешанными осинниками и березняками с участием сосны и лиственницы. Они являются преобладающими древесными растительными сообществами, рост, развитие и формирование которых обусловлены возрастающими антропогенными и техногенными воздействиями. Организация хозяйства в них требует четкого представления об особенностях динамики, характера возрастной структуры и качественного состояния. Безусловно, эти леса выполняют, прежде всего, экологические функции (водорегулирующие, почвозащитные и т.п.), однако это не снижает их ценность как источника древесной продукции, в том числе и экспортной.

Формирование и динамика отдельных элементов леса в составе смешанных древостоев подчинены несколько иным закономерностям, по сравнению с закономерностями формирования чистых древостоев. В более сложных лесных формациях, которыми являются смешанные древостой, на процессы роста и развития оказывают влияние межвидовой конкуренции, генетических особенностей отдельных пород, степень устойчивости к воздействию природных и антропогенных факторов и т.д.

В конечном итоге ведение хозяйства в смешанных древостоях требует применения специфических приемов оценки и адаптированных таксационных нормативов, отражающих их особенности.

Все это обеспечит не только повышение точности оценки этих сложных лесных объектов, но и позволит разрабатывать более рациональные формы ведения хозяйства, дающие возможность увеличения выхода лесной продукции и стабилизирующие экологическую устойчивость территорий, обеспечивающих сохранение природного биологического разнообразия.

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на то, что имеется достаточно обширный ряд исследований, посвященных изучению древостоев островных лесостепей (Антипова, 2012; Спицина, 2014; Ефремова, 2018; и др.), вопросам исследования роста, развития и формирования смешанных древостоев, включающих в состав основные лесообразующие породы региона, не было уделено достаточного внимания.

Смешанные древостой являлись объектом изучения в других регионах России. Поэтому для достижения цели настоящей работы и решения ряда поставленных задач использованы положения, которые были изложены в работах К.К. Высоцкого (1962), И.С. Мелехова (1985), И.И. Гусева, С.В. Третьякова (1992), О.А. Неволина (1991, 2001), Г.В. Брылевой (2007), Г.А. Чибисова (2010), С.В. Третьякова (2011) и др.

Однако, следует признать, что большая часть этих исследований была посвящена хвойным древостоям. Ограничен ряд сведений о таксационных особенностях формирования древостоев с участием осины (Данилин, 1966) в зоне островных лесостепей, отсутствует ряд лесотаксационных нормативов

Цель и задачи исследования. Данная работа была ориентирована на изучение особенностей формирования смешанных лиственных древостоев Канской лесостепи, выявление особенностей формирования стволов, определение характера взаимосвязей между таксационными показателями, разработка таксационных нормативов для района исследования.

В процессе достижения цели решались следующие задачи:

- установление особенностей динамики таксационных показателей смешанных лиственных древостоев, отражающих структурную организацию биогеоценозов;
- изучение зависимостей между таксационными показателями в смешанных древостоях, опосредованных особенностями межвидовых отношений;
- исследование особенностей изменений показателей формы стволов осины в смешанных древостоях;
- получение данных, которые могут быть использованы при оценке и менеджменте углерододепонирующих функций лесных экосистем;
- построение математических моделей и региональных нормативов.

Научная новизна. Впервые для зоны Канской лесостепи:

- установлены особенности динамики таксационных показателей в смешанных лиственных древостоях;
- на основе исследования показателей формы стволов в регионе исследования разработаны объемные таблицы, таблицы массы древесных стволов и накопления углерода из стволовой фитомассы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Исследование имеет теоретическую значимость, так как в результате его выполнения удалось сформировать положения и получить выводы, позволяющие применять более рациональные приемы ведения лесного хозяйства в зоне островных лесостепей.

Практическая значимость обусловлена разработкой таксационных нормативов, повышающих точность таксации смешанных лиственных древостоев.

Методология и методы исследования. В основу работы положены методологические приемы отечественных и зарубежных исследователей, позволяющие изучить структурные особенности смешанных лиственных древостоев, установить закономерность в формировании стволов.

Методика сбора полевых данных основана на методе пробных площадей. Обработка материалов данных велась с использованием пакетов программ Excel, Curve Expert 1.4, SPSS.

Положения, выносимые на защиту:

1. Особенности динамики смешанных лиственных древостоев в зоне островных лесостепей;
2. Особенности формирования стволов осины в смешанных лиственных древостоях;
3. Региональные таксационные нормативы и математические модели, позволяющие повысить точность таксации древостоев.

Степень достоверности и апробации результатов. Уровень достоверности полученных результатов в рамках данного исследования в валидность выводов усилены убедительным объемом собранных полевых данных, которые были обработаны актуальными современными методами обработки.

Результаты проведенных исследований доложены автором и получили одобрение на следующих конференциях:

- Всероссийская научно-практическая конференция «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения», г. Красноярск, 18-19 сентября 2020 г.;
- Всероссийская научно-практическая конференция «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения», секция – Мониторинг и оценка лесных ресурсов, г. Красноярск, 29 октября 2021 г.;

- Всероссийская научно-практическая конференция «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения», секция – Мониторинг и оценка лесных ресурсов, г. Красноярск, 21 октября 2022 г.;

- IX Всероссийская научно-техническая конференция «Леса России»: политика, промышленность, наука, образование», г. Санкт-Петербург, 22-24 мая 2024 г.

Личный вклад. Автор лично участвовал в сборе экспериментальных данных, проводил последующую обработку и анализ. Автором была выполнена статистическая обработка, построены математические модели, написан текст диссертации. Все выводы и заключения, изложенные в работе, были определены автором самостоятельно.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 180 страницах, состоит из введения, 6 разделов, заключения и библиографического списка. Текст диссертации включает 41 таблиц, 30 рисунков, 4 приложения. Библиографический список включает в себя 208 источников, среди которых 16 на иностранных языках.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 статей, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ; 1 в базе цитирования Web of Science.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Исследования растительного покрова островных лесостепей Средней Сибири проводятся на протяжении значительного времени. Д.Г. Мессершмидтом (1713), И.Г. Гмелиным (1751), П.С. Палассом (1768, 1782), были сделаны первоначальные исследования в этой области. Следующим этапом в исследованиях растительного покрова вышеуказанных лесостепей, явились работы В.В. Ревердатто (1931), Л.М. Черепнина (1956), Е.М. Антиповой (2003, 2008, 2012).

По данным Е.М. Антиповой (2012) были собраны сведения о 1566 видах, 79,1% из которых характерны для Канской лесостепи.

Основной структурной единицей исследования принят лесной массив, который рассматривается как биологическая система, отдельные компоненты которой взаимообусловлены и их внутренняя динамика подчиненна определенным закономерностям (И.И. Красиков, С.Л. Шевелев, 2009) и являющаяся минимальной по объему хозяйственной единицей, в рамках которой возможна организация устойчивого лесопользования. Такая трактовка понятия использована также в работах Н. Grossman (1959, 1963), А.С. Матвеева-Мотина (1958, 1960, 1962), С.В. Белова (1962), А.Н. Федосимова (1967, 1971), П.М. Верхунова (1968, 1979), Н.М. Глазова (1976), А.Г. Мошкалева (1982), Р.А. Зиганшина (1986, 1993), В.А. Соколова (2006), Л.Н. Вашука (2006), С.Л. Шевелева (2008, 2016, 2017) и др.

Чистые древостои лиственных пород исследованы достаточно полно, что нашло отражение в трудах многих исследователей таких как: А.А. Крюденер (1913), А.В. Тюрин (1931), Ф.В. Кишенков (1964), М.А. Данилин (1966), Л.М. Морозов (1978), Э.К. Соколов, Г.К. Субочев (1980), В.Л. Черных, А.Г. Мошкалев, Ю.И. Агапитов (1982), В.С. Чернявский (1999), В.В. Корнилина (2013), В.А. Усольцев (2016) и др.

Однако особенностями формирования смешанных лиственных древостоев не было уделено достаточного внимания. Ф.В. Кишенков (1964) впервые выявил, что в березово-еловых древостоях кисличной серии типов леса максимальный фактический

общий текущий прирост превышает в 1,5-2 раза таковой для чистых березовых и еловых насаждений. Одной из значимых работ этого направления является монография К.К. Высоцкого (1962). Отмечая необходимость оценки формирования смешанных насаждений, автор доказал возможность использования для него массового лесоустроительного материала.

Смешанные насаждения явились объектом изучения в работе И.С. Мелехова (1985), И.И. Гусева, С.В. Третьякова (1992), О.А. Неволлина (1991, 2001), И.Н. Жежкун (2004), Г.А. Чибисова (2010), С.В. Третьякова (2011), Д.А. Данилова (2017), В.К. Хлюстова, М.М. Елекшеевой, Ж.Н. Тактасынова (2017) и др.

Аспекты оценки депонирования углерода рассматриваемыми биологическими системами изложены в трудах Р. Matthews (1993), А. Kiviste (1997), М. Penner (1997), Д.Г. Замолдчикова, А.И. Уткина, О.В. Честных (2003), В.А. Усольцева (2004), Е.А. Ваганова (2005), Д.Г. Замолдчикова (2016, 2017, 2018), М. Newmann (2016) и др.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Канская, Красноярская, Ачинская лесостепи, располагаясь изолировано среди сплошных лесных массивов считаются островными. Их территория является хозяйственно освоенным регионом и лесная растительность, имея ряд особенностей выполняет экологические и частично эксплуатационные функции. Общая площадь Канской лесостепи 1533 тыс. га. Представляет собой холмисто-увалистую равнину с высотами в южной части 400-480 метров, а в северной 300-350 метров.

Территория лесостепи дренируется реками Кан и Усолка, озер мало.

Климат континентальный. Абсолютный минимум температуры воздуха: -51°C. Средняя годовая температура: -0,2°C. Период с температурой выше 10°C длится от 106 до 113 дней. Сумма активных температур (выше 10°C) 1600-1800°C. За год выпадает 325 мм осадков, а в предгорных северных районах 452 мм. Из них 2/3 приходится на теплый период, лето жаркое.

Характерно преобладание ветров западных и юго-западных направлений.

Структура почвенного покрова неоднородна – треть территории (32,4%) занята серыми лесными почвами, среди которых преобладают темно-серые (21,5 %). На долю дерново-подзолистых почв приходится всего 2,1%. Южные склоны заняты обыкновенными черноземами.

Более половины лесопокрытой площади занято березовыми и осиновыми древостоями. Березово-осиновые, осиново-березовые с примесью сосны и лиственницы обычно растут на высоких элементах рельефа и по северным склонам где и преобладают серые лесные почвы, а иногда оподзоленные черноземы (Кириллов, 1970).

3 МЕТОДИКА СБОРА ДАННЫХ И ОБЪЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Полевые исследования основаны на методе пробных площадей, закладка на таких площадях проводилась в соответствии с требованиями ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки» (1982).

Были заложены четыре пробные площади с рубкой и обмером 127 модельных деревьев. Также в работе использованы материалы лесоустройства, выполненного филиалом «Востсиблеспроект» ФГУП «Рослесинфорг» на территории КГБУ «Уярское лесничество». Всего были использованы данные натурной таксации 548 выделов.

4 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СМЕШАННЫХ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Сопоставляя особенностей формирования чистых и смешанных насаждений Г.Ф. Морозов (1930), указывал на наличие ряда преимуществ смешанных насаждений перед чистыми. Это выражается в большей экологической устойчивости этих биологических систем, лучшей адаптации к условиям местопроизрастания климату, почвами и в отдельных случаях в большей производительности. Однако, в тоже время он указывает на более сложный характер растительных взаимоотношений внутри смешанных насаждений. Знание особенностей формирования смешанных насаждений необходимо для разработки методов ведения лесного хозяйства в них, повышения продуктивности сохранения ресурсного потенциала, биологического разнообразия, предотвращения нежелательных сукцессий.

Объектом исследования явились смешанные осиново-березовые и березово-осиновые древостои в крупном лесном массиве.

Под лесным массивом понималась «биологическая лесная система, сформировавшаяся в определенных географических условиях соответствующая отдельным элементам ландшафта, занимающая целостную территорию с естественными границами, которой присущи опосредованные орографическими, почвенными, погодно-климатическими и другими факторами структуры биоценозов» (И.И. Красиков, С.Л. Шевелев, 2008).

Аналізу подвергся лесной массив, включающий смешанные лиственные древостои, представленный 548 таксационными выделами, причем 264 выдела (48,2%) приходится на древостои с преобладанием осины и 284 (51,8%) на древостои с преобладанием березы. Все древостои относятся к формации травяных лесов лесостепей, в абсолютном преобладании к группе типов леса – разнотравные (С.Л. Шевелев, С.В. Усов, 2024). Возрастная структура древостоев показана в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение смешанных лиственных древостоев по группам возраста (%)

Группа возраста	С преобладанием осины		С преобладанием березы	
	по количеству выделов	по площади	по количеству выделов	по площади
Молодняки	7,2	3,9	9,8	5,9
Средневозрастные и приспевающие	45,5	41,6	31,0	29,6
Спелые	35,6	42,2	52,2	59,8
Перестойные	11,2	12,3	7,0	4,7
Итого	100	100	100	100

Доля молодняков составляет менее 10% как по количеству древостоев, так и по занимаемой ими площади.

Причем характерной особенностью молодняков является незначительная площадь отдельных участков. Так количество молодняков с преобладанием осины составляет 7,2% от их общего числа в лесном массиве, а по площади их доля всего 3,9% (С.Л. Шевелев, С.В. Усов, 2024). Аналогичная картина наблюдается и в смешанных древостоях с преобладанием березы, где доля молодняков по количеству выделов составляет 9,8%, а по площади 5,9%. Средневозрастные и приспевающие древостои составляют 30-45%, спелые 35-59,8%. Перестойных древостоев немного, в

пределах 12,3% по площади. Однако совокупная доля спелых и перестойных древостоев составляет 50-60%.

Анализ полученных данных отражает ситуацию, когда в древостоях, явившихся объектом исследования в истекшие десятилетия эксплуатация была ограничена (в силу различных причин, среди которых не последнюю роль играла невысокая востребованность древесины этих пород) и они в основном выступали в качестве формации, обеспечивающей экологическую стабильность региона.

Динамика состава древостоев с преобладанием осины характеризуется возрастающим увеличением доли преобладающей породы в среднем составе древостоев (рисунок 1).

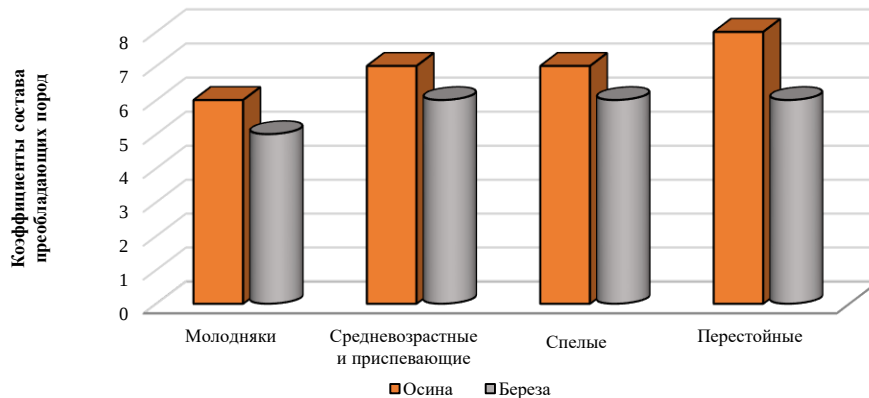


Рисунок 1 – Доля преобладающих пород в составе смешанных древостоев

В числе сопутствующих пород в этих древостоях на первом месте береза и в незначительных объемах ива козья (*Salix caprea* L.), а также пихта сибирская (*Abies sibirica* L.).

В древостоях с преобладанием березы доля главной породы более стабильна – только в молодняках она соответствует 5 единицам среднего состава смешанных березовых древостоев. В древостоях остальных групп возраста в формуле среднего состава древостоев коэффициент её равен шести.

Основные сопутствующие породы – осина, её доля в составе соответствует коэффициенту 3-2 и сосна с коэффициентом состава 2-1.

Анализ данных показывает на близкую по величине изменчивость запасов элементов леса в смешанных древостоях с преобладанием осины и березы. Следует отметить более стабильное формирование древостоя с преобладанием осины, доля которой в составе стабильно возрастает.

Это находит объяснение в способности рода *Populus* к быстрому формированию биомассы стволов, а, следовательно, и запаса древостоев.

Различия по производительности древостоев разных лиственных пород значительны, несмотря на то, что средние величины относительных полнот достаточно близки, с некоторым «отставанием» у древостоев с преобладанием березы (рис. 2).

Древостои, слагающие лесной массив в абсолютном преобладании модальные. В выборке таксационных выделов с преобладанием березы древостои с полнотой 1,0 отсутствуют, а в древостоях с преобладанием осины они составляют 4,1%. Соотношение общих средних запасов древостоев по группам возраста приведено на рисунке 3.

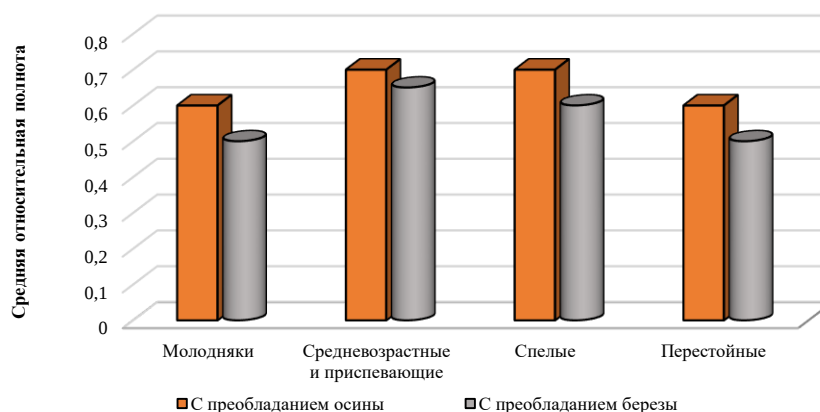


Рисунок 2 – Средняя относительная полнота смешанных лиственных древостоев

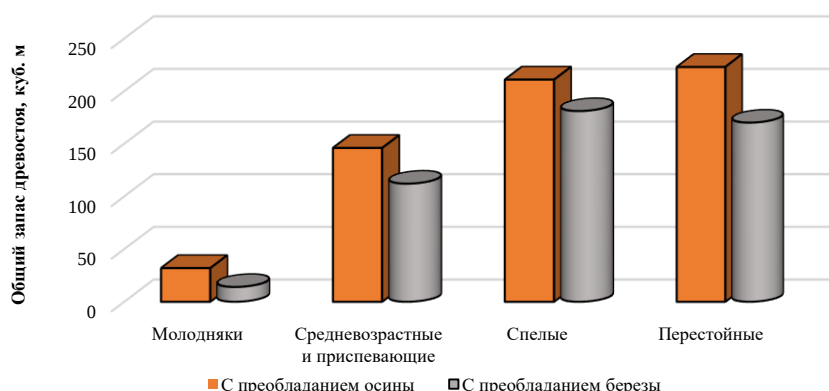


Рисунок 3 – Средняя производительность смешанных лиственных древостоев

Одним из определяющих факторов, отражающих производительность древостоя, является его средний диаметр. В работе Р.А. Зиганшина, А.В. Качаева (2014) посвященной динамике средних диаметров лиственных древостоев лесного массива в Прибайкалье отмечается, что «... в производственной таксации они (средние диаметры) определяются наиболее надежно», что в свою очередь обеспечивает надежность конечных выводов.

Различия в величинах средних диаметров в определенной степени отражают разницу в темпах формирования запасов смешанных древостоев, хотя следует отметить, что сопоставлению подвергались величины средних диаметров только преобладающих пород (таблица 2).

Таблица 2 – Различия в величине средних диаметров преобладающих пород в смешанных лиственных древостоях

Группа возраста	Средние диаметры древостоев с преобладанием (см)		Разница в величине средних диаметров	
	осины	березы	см	%
Молодняки	5,5	3,1	2,4	43,6
Средневозрастные и приспевающие	17,6	15,5	2,1	11,9
Спелые	22,1	21,0	1,1	5,0
Перестойные	31,2	26,0	5,2	1,7

Из содержания таблицы 2 следует, что древостой, где осина является главной породой на всех возрастных этапах в той или иной степени имеют преобладание в темпах формирования средних диаметров, что неизбежно находит свое отражение в формировании запасов.

Обработка данных в пределах классов возраста позволила получить средние значения основных таксационных показателей с достаточно высокой точностью - по рядам высот показатели точности опыта для всех насаждений, исключая молодняки, лежит в пределах 0,7-3,1%. У ряда молодняков этот показатель равен 7,0%. Для рядов диаметров соответственно 1,8-4,0% и 7,6%.

Изменчивость средних высот для древостоев 3,6-16,3%, у молодняков 19,8%. Варьирование средних диаметров в пределах классов возраста 10,1-17,2% и у молодняков 31,4%.

Следующим логическим этапом характеристики рассматриваемых древостоев явилось построение таблиц, отражающих динамику их средних таксационных показателей.

В основу были положены разработки Н.В. Третьякова (1930), получившие развитие в трудах И.В. Семечкина (1964).

Обработка данных велась на типологической основе. Оказалось, что динамика основных таксационных показателей (средней высоты, среднего диаметра и запаса) главного и основного сопутствующего элементов леса в осиново-березовых и березово-осиновых древостоях, а также рассчитанных на их основе с достаточной степенью адекватности отображаются функцией Вейбула вида:

$$y = a - b \exp(-cx^d) \quad (1)$$

Ниже приводится фрагмент таблицы коэффициентов уравнений и показателей их адекватности на примере осиново-березовых древостоев.

Таблица 3 - Коэффициенты уравнений и показатели их адекватности (смешанные лиственные древостой с преобладанием осины)

Таксационный показатель	Коэффициенты уравнений и показатели адекватности					
	a	b	c	d	S	R ²
Элемент леса: Осина						
Средняя высота, м	34,743334	37,222143	0,051216762	0,73333782	0,42	0,998
Средний диаметр, см	209,49422	208,0004	0,0026523021	0,92438366	2,11	0,974
Сумма площадей сечения, м ² /га	36,655418	41,673533	0,096702529	0,48564975	0,27	0,998
Число стволов, шт./га	2378,168	2310,2819	56,137109	-1,4898536	4,03	0,998
Среднее видовое число	1,0047377	0,56076905	9,483937	-1,4697599	0,002	0,999
Запас, м ³ /га	745,0681	756,27238	0,0051960189	0,94717412	9,23	0,988
Элемент леса: Береза						
Средняя высота, м	22,315422	19,239657	0,00058193856	2,0061042	0,42	0,998

Окончание таблицы 3

Средний диаметр, см	41,084243	41,882138	0,0073423421	1,0831666	0,35	0,998
Сумма площадей сечения, м ² /га	28,190128	28,733116	0,018805487	0,61422888	0,41	0,972
Число стволов, шт./га	12487,536	12380,871	34,402417	-2,0634857	34,8	0,998
Среднее видовое число	0,68839441	0,29854811	78,750858	-1,6827721	0,002	0,998
Запас, м ³ /га	205,22289	202,25253	0,00025120816	1,6745303	2,87	0,986
Древостой в целом						
Сумма площадей сечения, м ² /га	33,023742	57,219538	0,40543089	0,33702818	0,31	0,999
Запас, м ³ /га	753,31873	781,63596	0,014272005	0,79276449	9,10	0,996

На основе полученных математических моделей построены таблицы динамики таксационных показателей основных и сопутствующих элементов леса в осиново-березовых и березово-осиновых древостоях, фрагменты которых приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 - Динамика основных таксационных показателей, смешанных осиново - березовых древостоев (фрагмент)

Возраст, лет	Средние		Сумма площадей сечения на 1 га	Запас элемента леса, м³/га	Изменение запаса, м³/га	
	высота, м	диаметр, см			среднее	текущее
Элемент леса: ОСИНА						
5	3,2	3,9	2,8	7	1,40	-
15	9,1	8,1	7,9	38	2,53	3,1
25	13,1	12,0	10,4	67	2,68	2,9
35	16,2	15,7	12,4	95	2,71	2,8
45	18,6	19,3	13,9	120	2,67	2,5
55	20,6	22,7	15,3	144	2,62	2,4
65	22,3	26,1	16,4	166	2,55	2,2
Элемент леса: БЕРЕЗА						
5	3,3	1,0	0,7	2	0,40	-
15	5,4	4,6	2,6	8	0,53	0,6
25	9,0	8,1	3,2	14	0,56	0,6
35	13,0	11,4	3,5	20	0,57	0,6

Окончание таблицы 4

45	16,6	14,4	4,3	30	0,67	1
55	19,1	17,2	5,0	40	0,73	1
65	20,8	19,8	5,7	49	0,75	1,1
Древостой в целом						
5	-	-	3,5	9	1,80	-
15	-	-	10,5	46	3,07	3,7
25	-	-	13,6	81	3,24	3,5
35	-	-	15,9	115	3,29	3,5
45	-	-	18,2	150	3,33	3,5
55	-	-	20,3	184	3,35	3,4
65	-	-	22,1	215	3,31	3,3

Таблица 5 - Динамика основных таксационных показателей, смешанных березово-осиновых древостоев (фрагмент)

Возраст, лет	Средние		Сумма площадей сечения на 1 га	Запас элемента леса, м³/га	Изменение запаса, м³/га	
	Высота, м	Диаметр, см			Среднее	Текущее
Элемент леса: БЕРЕЗА						
5	4	2,4	2,9	4	0,8	-
15	6,6	6,7	3,4	13	0,87	0,9
25	10,6	10	4,8	26	1,04	1,3
35	14,7	13,1	6,2	44	1,26	1,8
45	17,9	15,8	7,7	65	1,44	2,1
55	20	18,4	9,3	85	1,55	2,0
65	21,2	20,7	10,4	101	1,55	1,6
75	21,7	23,0	11,4	113	1,51	1,2
Элемент леса: ОСИНА						
5	2,8	2,0	0,9	1	0,20	-
15	7,6	6,1	1,0	4	0,27	0,2
25	11,1	10,0	1,6	9	0,36	0,5
35	14,3	14,5	2,2	15	0,43	0,6
45	17,6	16,3	2,8	23	0,51	0,8
55	20,0	18,4	3,3	30	0,55	0,7
65	21,2	19,7	3,7	36	0,55	0,6
75	22,2	21,4	3,9	39	0,52	0,3
Древостой в целом						
5	-	-	3,8	5	1,00	-
15	-	-	4,3	17	1,13	0,9
25	-	-	6,4	35	1,40	1,8
35	-	-	8,4	59	1,69	2,4
45	-	-	10,5	88	1,96	2,9
55	-	-	12,6	115	2,09	2,7
65	-	-	14,1	137	2,11	2,2
75	-	-	15,3	152	2,03	1,5

Для сопоставления динамики смешанных лиственных древостоев с разными главными породами были взяты два признака имеющие связь со всеми основными показателями – это средний прирост по величине среднего диаметра элемента леса и средний прирост объема среднего ствола.

На рисунке 4 показаны приросты по величине среднего диаметра для преобладающих и сопутствующих пород.

Оказалось, что, являясь главными породами, береза и осина имеют средние приросты по диаметру превышающие средние приросты по диаметрам в древостоях, где они выступают в роли сопутствующих пород. Причем средние приросты средних диаметров главных пород имеют максимумы в начале возрастного ряда, а у сопутствующих пород в 3-4 классах возраста (рисунок 4).

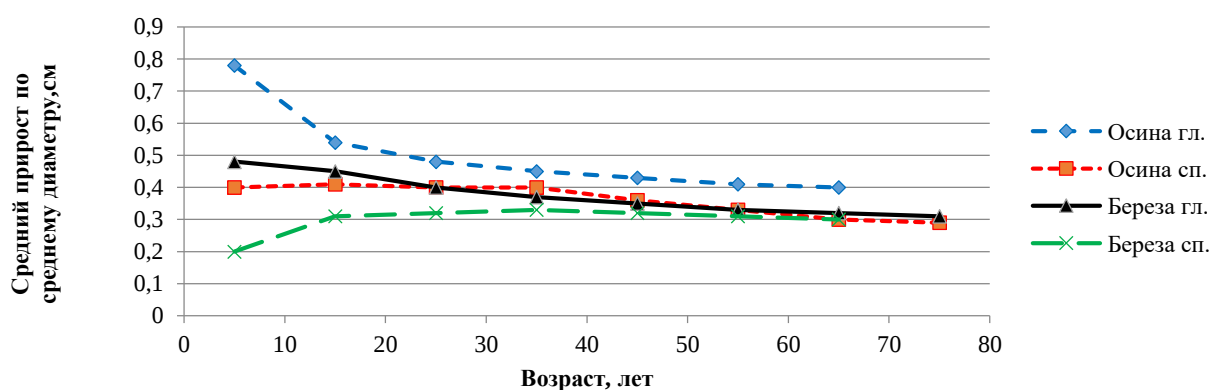


Рисунок 4 – Средние приросты средних диаметров элементов леса в смешанных древостоях

Анализ динамики среднего объема среднего ствола показал разницу в величине этого показателя у основных и сопутствующих пород. Следует отметить, что в березово-осиновых древостоях эти характеристики имеют небольшие различия в отличие от осиново-березовых древостоев, где осина имеет явное превосходство.

Подводя итог рассмотрению особенностей формирования и динамики смешанных лиственных древостоев в Канской лесостепи можно констатировать следующее:

- смешанные лиственные древостои в зависимости от состава имеют особенности в формировании влияющие на их производительность;
- лесные формации с преобладанием березы более долговечны. Учтены отдельные древостои с главными элементами леса IX-X класса возраста;
- лесные формации с преобладанием осины более производительны, во многом в силу экологических (генетических) особенностей породы;
- в обеих формациях осиново-березовых и березово-осиновых преобладающие элементы леса формируют большие приросты как по величине линейных параметров (среднему диаметру), так и по объемам стволов и запасам.

5 ФОРМИРОВАНИЕ СТВОЛОВ ОСИНЫ

Особенности формирования березняков в регионе исследования достаточно полно изучены (В.К. Попов, 1975; Н.Т. Спицина, 1996, 2014; М.Н. Ефремова, 2018 и др.). В то же время оказалось, что показатели формы и полнодревесности стволов березы в смешанных древостоях очень близки с данными М.Н. Ефремовой (2018), выполнившей свою работу на кафедре лесной таксации, лесоустройства и геодезии СибГУ им. ак. М.Ф. Решетнева. Поэтому основное внимание было направлено на

вопросы формирования стволов осины в лесостепных древостоях. Основные исследования этого плана в осиновых древостоях Средней Сибири проведены М.А. Данилиным (1968). Им построен ряд таксационных нормативов, к настоящему времени частично устаревших. Однако отдельные аспекты этой достаточно обширной темы остаются открытыми.

Оценка интенсивности роста стволов с использованием «коэффициента напряжённости роста» по К.К. Высоцкому (1962) показал, что на отдельных этапах интенсивность роста осины превышает интенсивность роста березы.

Среднее значение коэффициента формы q_2 на пробных площадях изменяются в пределах 0,66-0,73. Строение древостоя элемента леса по этому признаку соответствует нормальному распределению.

Связь старого видового числа и второго коэффициента формы отображается уравнением линейного вида при $r=0,85$:

$$f = 0,0572 + 0,547 * q_2 \quad (2)$$

Связь видовой высоты (H_f) с высотой (H), при $r=0,92$ имеет вид:

$$H_f = 1,0656 + 0,3868 * H \quad (3)$$

Полученные данные были сопоставлены с действующими нормативами «Видовые высоты по породам и разрядам высот (1992) (рисунок 5).

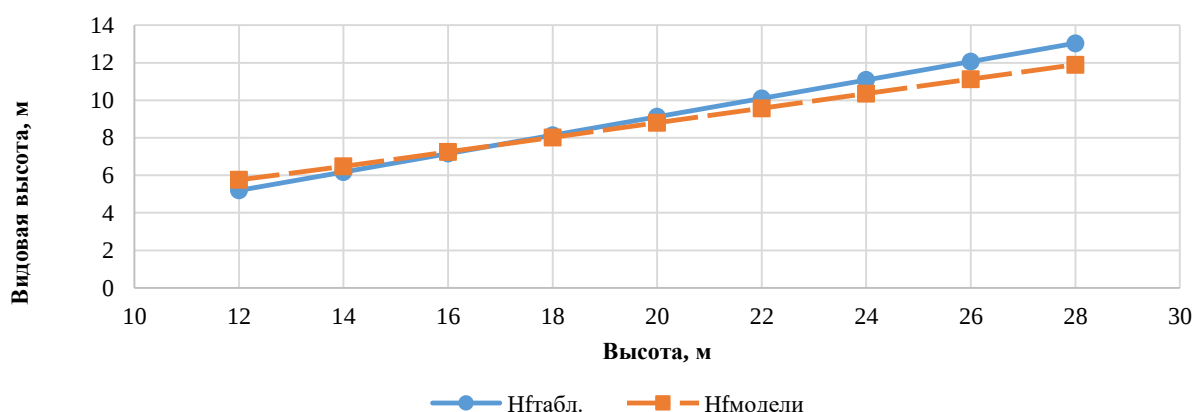


Рисунок 5 – Сопоставление видовых высот

Оказалось, что линии графиков, отображающие связь видовых высот с высотой, не совпадают. Причем при увеличении высоты разница возрастает, достигая 12,6%.

Из этого следует, что величины видовых высот в смешанных древостоях имеют различия с аналогичными показателями в чистых осинниках.

Далее были установлены зависимости между видовой высотой (H_f) и диаметром ствола ($D_{1,3}$), видовым диаметром (D_f) и объемом ствола, которые находят применение при построении некоторых таксационных нормативов.

Для составления таблицы объемов стволов осины был использован показатель «видовая площадь поперечного ствола», под которым понимается произведение площади поперечного сечения ствола на видовое число (gf).

В результате обработки данных получен ряд видовых площадей поперечных сечений для отдельных стволов осины различного диаметра. В результате

статистической обработки ряда получено среднее значение признака равное $0,0162 \pm 0,0012$.

Видовая площадь поперечного сечения (gf) тесно коррелирует с диаметром ствола ($r=0,98$), высотой ($r=0,80$), объемом ствола ($r=0,99$), видовой высотой ($r=0,70$) и видовым диаметром ($r=0,96$).

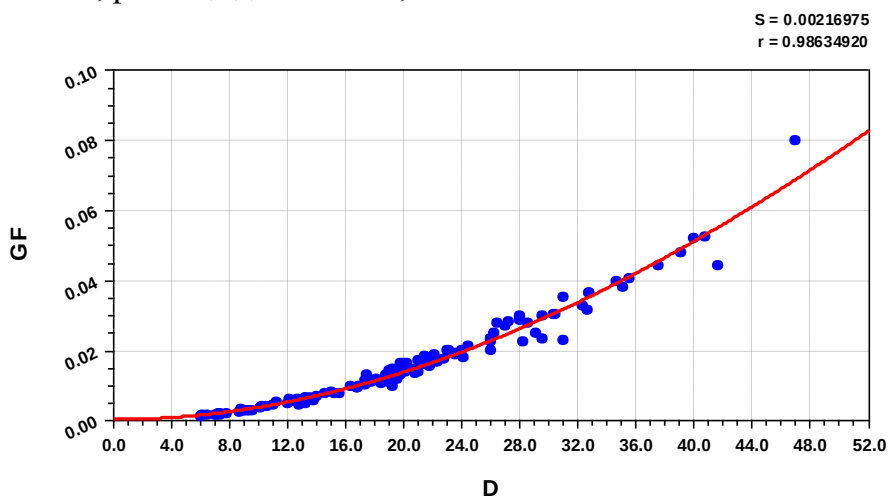
Практическое значение имеет связь gf с диаметром ствола на высоте 1,3 м (D) (рисунок 6).

Анализ графика, отображенного на рисунке, свидетельствует, что особо тесная связь между признаками наблюдается до ступени 24 см. Затем происходит рассеивание ряда, однако оно не критично и вероятнее всего связано с изменениями формы стволов деревьев осины достигшей значительных размеров и произрастающих на относительно открытых пространствах. Такие деревья не испытывают в полной мере конкуренции за свет, минеральные вещества и т.п., что повышает изменчивость величины видовых чисел.

Путем табуляции полученного уравнения построена вспомогательная таблица для определения объемов стволов осины.

Для определения объема ствола осины в смешанных древостоях лесостепной зоны Средней Сибири необходимо замерить его диаметр и высоту. Затем по диаметру найти расчетное значение gf в таблице и умножить его на высоту.

Сопоставление объемов стволов осины найденных предложенным способом и по таблицам для осинников южно-таежных лесов Средней Сибири составленным М.А. Данилиным (1978) показало, что деревья осины лесостепной зоны, произрастающие в смешанных древостоях, имеют несколько меньший объем в крупных ступенях толщины. В ступени толщины 48 см, разница достигает 6,1%.



MMF Model:

$$y = (a * b + c * x^d) / (b + x^d)$$

Coefficient Data:

a =	0.00043148156	c =	0.97045815
b =	25375.466	d =	1.9651453

Рисунок 6 – Связь между видовыми площадями и диаметрами стволов осины

С использованием полученных данных так же построена безразрядная объемная таблица (по типу баварских таблиц). Такая конструкция норматива делает его несколько громоздким, однако позволяет получать искомые величины с большей точностью. Фрагмент норматива приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Фрагмент объемной таблицы

Высота, м D на 1,3 м, см		13	14	15	16	17
14	в коре	0,0938	0,1010	0,1083	0,1155	0,1227
	без коры	0,0825	0,0889	0,0953	0,1016	0,1080
15	в коре	0,1065	0,1147	0,1229	0,1311	0,1393
	без коры	0,0940	0,1013	0,1085	0,1158	0,1230
16	в коре	0,1201	0,1293	0,1385	0,1478	0,1570
	без коры	0,1063	0,1144	0,1226	0,1308	0,1389
17	в коре	0,1344	0,1447	0,1551	0,1654	0,1757
	без коры	0,1192	0,1283	0,1376	0,1467	0,1558

Являясь одной из основных частей древесного ствола, кора оказывает влияние на форму и сортиментную структуру толстокорых пород – лиственницы и сосны (Лебков, 2001; Евстафьев, 2007; Кулакова, 2019 и др.).

Доля коры в объеме стволов осины составляет 11,3% и варьирует в достаточно широких пределах – коэффициент варьирования 30,8% при точности опыта 2,8%.

Проведенный корреляционный анализ показал на наличие закономерной обратной связи между относительным объемом коры и таксационными показателями стволов – диаметром, высотой, объемом коэффициенты корреляции находятся в пределах -0,35-0,44.

Среднее значение двойной толщины коры на высоте 1,3 м равно $1,1 \pm 0,048$ см при коэффициенте варьирования 48,3% и точности опыта 4,3%.

Анализ влияния коры на форму стволов осины велся путем расчёта средних значений старого видового числа (f) для стволов в коре и стволов без коры.

Оказалось, что f для ряда стволов в коре равно 0,455, а для ряда стволов без коры 0,456, при коэффициентах варьирования 11,1 и 11,8% соответственно и точности опыта 0,99 и 1,05. Таким образом можно считать, что величина коры на форму стволов деревьев осины не обнаружено.

6 ФИТОМАССА СТВОЛОВ И ОСОБЕННОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА

Формулируя цель и задачи дисциплины «Лесное ресурсоведение» Л.К. Поздняков (1973) отмечал, что с развитием глубокой переработки древесины потребуются переход от её объемного учета к весовому.

Однако, оценка массы стволовой части – древесины и коры, сопряжена с трудностями, возникающими вследствие сильно варьирующей их плотности. Л.К. Поздняков (1973) указывал, что в практических целях для перевода объемных единиц в единицы массы целесообразно пользоваться в качестве переводного коэффициента средними показателями плотности древесины и коры для абсолютно сухого состояния. Она относительно мало изменяется в географическом аспекте.

«Использование среднего показателя плотности абсолютно сухой древесины и коры позволяет пересчитать его для любой фактической влажности. При этом объемной усушкой можно пренебречь, так как она очень мала.» (Л.К. Поздняков, 1973).

Однако, фитомасса стволовой части дерева неоднородна. Она состоит из древесины и коры, которая представляет из себя достаточно сложную фракцию.

Б.Н. Уголев (2007) отмечает что «плотность коры исследована гораздо меньше, чем древесины, имеющиеся отрывочные данные, отличаются большой пестротой».

В таблице 7 представлен фрагмент таблицы массы стволов осины. При ее построении в расчетах использованы данные О.И. Полубояринова (1976) согласно которым плотность древесины осины в абсолютно сухом состоянии 470 кг/м^3 , а плотность коры 513 кг/м^3 .

Таблица 7 – Фрагмент таблицы массы стволов и коры осины

D 1/3, см	H, м		13	14	15	16
	m, кг					
18	ствол в коре		70,98	76,44	81,90	87,36
	ствола		62,47	67,27	72,08	76,88
	коры		8,51	9,17	9,82	10,48
19	ствол в коре		78,56	84,59	90,62	96,65
	ствола		69,31	74,62	79,94	85,26
	коры		9,25	9,96	10,67	11,38

Глобальное изменение климата, вызванное антропогенными (промышленными) выбросами в атмосферу парниковых газов, обусловило переход в широком масштабе к низкоуглеродному развитию – декарбонизации.

Цель декарбонизации – сокращение выбросов парниковых газов для смягчения климатических изменений и минимизирования наносимого ими ущерба (М.А. Юлкин, 2019).

В рамках этой проблемы важной задачей, стоящей перед учеными, становится оценка баланса углерода в биосфере. Решение этой задачи заключается не только в необходимости сокращения выбросов парниковых газов, но и в необходимости оценки стока углерода в лесах различных природных зон.

Углекислый газ играет роль «тепловой ловушки» в верхних слоях атмосферы, поэтому роль лесов, способных связывать его, в процессе декарбонизации очень высока. Американский экономист Р. Коуз разработал концепцию, позволяющую осуществлять перевод борьбы с загрязнением атмосферы в сферу прав собственности на нематериальные блага и создание общемирового рынка прав на загрязнение атмосферы парниковыми газами.

Однако, по мнению А.О. Кокорина (2016) такой рынок не может быть эффективным, когда в нем участвует ограниченное число предприятий.

В настоящее время не существует общепринятой методики учета поглощения CO_2 наземными экосистемами.

Существует значительный ряд публикаций отечественных ученых, посвященных депонированию углерода лесами России. Результаты наиболее значимых исследований в этой области изложены в трудах В.А. Алексеева (1994), Д.Г. Замолотчикова (1998), В.А. Усольцева (2012, 2018, 2023), А.З. Швиденко, С. Нильсон, В.С. Столбового (2000, 2001), A.Z. Shvidenko, D.G. Schepaschenko (2014) и др. К настоящему времени получено большое количество данных характеризующих суммарный запас депонирования углерода на покрытых лесом землях России, хотя исследования выполнены по различающимся методикам и характеризуются не высокой степенью согласованности.

Однако, уже сейчас специалистами Рослесинфорга (<https://roslesinforg.ru>, 2021) сформирован рейтинг древесных пород по способности к поглощению углерода и в нем первое место занимает осина, второе береза. Ориентировочно один гектар осинового древостоя поглощает до $3,6 \text{ тонн } \text{CO}_2$ в год, а в березовом – $3,3 \text{ тонны } \text{CO}_2$ в год.

Таким образом осиново-березовые древостои лесостепей являются значительными накопителями углерода.

Для основных лесобразующих пород России рассчитаны коэффициенты Rh/t в возрастном интервале 10-120 лет с шагом в 10 лет. Также разработаны нормативы, дающие конверсионные коэффициенты для перевода запасов древостоев в отдельные фракции фитомассы.

Для установления вклада в баланс углерода в лесной биологической формации, являющейся объектом исследования, от стволовой фитомассы смешанных лиственных древостоев были использованы конверсионные коэффициенты, приведенные в работе Д.Г. Замолотчикова, А.И. Уткина, Г.Н. Коровина (1998).

Далее был осуществлен расчет запасов углерода в древостоях с преобладанием осины (таблица 8). По аналогии также был осуществлен расчет запасов углерода в древостоях с преобладанием березы.

Таблица 8 – Расчет массы углерода в смешанных лиственных древостоях с преобладанием осины

А, лет	Запас, м ³ /га	Конв. коэф.	Углерод, т	Средний прирост
I элемент древостоя - Осина				
5	7	0,693	4,9	0,97
15	38	0,549	20,9	1,39
25	67	0,467	31,3	1,25
35	95	0,415	39,4	1,13
45	120	0,386	45,8	1,02
55	144	0,360	51,8	0,94
65	166	0,348	57,8	0,89
II элемент древостоя - Береза				
5	2	0,993	2,0	0,40
15	8	0,499	4,0	0,27
25	14	0,409	5,7	0,23
35	20	0,376	7,5	0,21
45	30	0,364	10,9	0,24
55	40	0,362	14,5	0,26
65	49	0,365	17,9	0,28
Древостой с целом				
5	9	-	6,9	1,38
15	46	-	24,9	1,66
25	81	-	37	1,48
35	115	-	46,9	1,34
45	150	-	56,7	1,26
55	184	-	66,3	1,21
65	215	-	75,7	1,16

Оказалось, что масса углерода, связанная только стволовой фитомассой смешанных лиственных древостоев с преобладанием осины без учета фитомассы кроны, мертвой древесины, подстилки и гумуса почвы достигает 1,66 тонн углерода на гектар в год. Формирование углерода в древостоях с преобладанием березы ниже – 0,88 тонн углерода на гектар в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Лиственные древостои лесостепной зоны Средней Сибири, представленные в настоящей работе Канской лесостепью, выполняют важные средообразующие и сырьевые функции.

Рост и динамика чистых древостоев той или иной породы имеют различия с ростом и динамикой отдельных элементов леса, той же породы, но произрастающих в сложных по составу, смешанных древостоях. Установление особенностей формирования таких древостоев позволит использовать при их оценке, нормативы, соответствующие объекту исследования и проводить необходимые хозяйственные мероприятия.

В результате выполнения настоящей работы установлено:

- динамика смешанных лиственных древостоев в районе исследования имеет особенности, влияющие на их производительность в зависимости от преобладания березы или осины в составе;
- древостои с преобладанием осины имеют большую производительность (в силу генетических особенностей породы), что находит отражение в динамике полнот, средних диаметров и других показателей;
- лесные формации с преобладанием березы более долговечны;
- в обеих формациях осиново-березовых и березово-осиновых преобладающие элементы леса формируют большие приросты как по величине линейных параметров (среднему диаметру), так и по объемам и запасам по сравнению с сопутствующими элементами леса;
- построенные таблицы отражают динамику таксационных показателей главных и сопутствующих элементов леса и могут быть использованы при проектировании хозяйственных мероприятий в смешанных лиственных древостоях;
- установлены особенности роста и формирования стволов осины, строения древостоев элемента леса по форме ствола, средние величины показателей формы (коэффициентов формы, видовых чисел, видовых диаметров, видовых площадей поперечных сечений), установлены особенности связей между ними и таксационными характеристиками стволов;
- сопоставление видовых высот осины в смешанных древостоях района исследования с используемыми, показало, что разница достигает 12,6%, что говорит о завышении запасов при применении действующих нормативов;
- составлены таблицы для определения объемов стволов осины в смешанных лиственных древостоях;
- построены таблицы для определения фитомассы стволов в смешанных лиственных древостоях;
- установлена масса углерода, конвертируемая стволовой частью древостоев рассматриваемых лесных формаций.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК, в базе цитирования Web of Science:

1. **Усов С.В.**, Ефремова М.Н., Шевелев С.Л., Волкова А.С. Нормативы выхода пилопродукции из древостоев // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37. № 6. С. 417-421. (ВАК).
2. Шевелев С.Л., Романова Л.И., **Усов С.В.**, Формирование стволов осины (*Populus tremula*) в зоне островных лесостепей Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. – 2021. – Т. 39. № 3. – С. 212-215. (ВАК).
3. Шевелев С.Л., Немич В.Н., Воробьева И.А., **Усов С.В.** Нормативная база для оценки лесосек в Сибири // Хвойные бореальной зоны. – 2023. – Т. 41. № 1. – С. 73-79. (ВАК).

4. **Усов С.В.**, Шевелев С.Л., Кулакова Н.Н., Зайцева А.С. Объемы стволов осины в зоне островных лесостепей Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. – 2024. – Т. 42. № 4. – С. 55-61. (ВАК).

5. Шевелев С.Л., **Усов С.В.**, Романова Л.И. Оценка секвестрационного потенциала осиново-березовых древостоев островных лесостепей Средней Сибири // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2024. – № 1. – С. 9-22. (в базе Web of Science)

В других изданиях:

6. **Усов С.В.**, Кулакова Н.Н., Шевелев С.Л. К вопросу совершенствования методов оценки лесной продукции // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2021. С. 30-32.

7. **Усов С. В.**, Шевелев С. Л., Романова Л. И. Особенности формирования стволов осины в лесостепях Средней Сибири // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2022. С. 64-66.

8. **Усов С.В.**, Шевелев С.Л., Кулакова Н.Н. Видовые высоты древостоев осины Канской лесостепи // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2023. С. 78-80.

9. **Усов С.В.**, Шевелев С.Л., Кулакова Н.Н. Некоторые особенности формирования смешанных лиственных древостоев островных лесостепей Средней Сибири // IX Всероссийская научно-техническая конференция «Леса России»: политика, промышленность, наука, образование», г. Санкт-Петербург, 22-24 мая 2024 г. – С. 81-83.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.403.02.

В отзыве просим указать почтовый адрес организации, телефон и электронную почту лица, представившего отзыв.

Факс: +7 (391)264-47-09

E-mail: kalenskaya1966@mail.ru

Подписано в печать 15.10.2024.

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 1,0. Заказ № 3479. Тираж 100 экз.

Отпечатано

в редакционно-издательском центре СибГУ им. М. Ф. Решетнева

660049, г. Красноярск, проспект Мира, 82

Тел. +7(391)222-73-28