

На правах рукописи



Клевцов Денис Николаевич

**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ
СОСНЯКОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ**

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
доктора биологических наук

Архангельск – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный консультант: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Бабич Николай Алексеевич

Официальные оппоненты: **Румянцев Денис Евгеньевич,**
доктор биологических наук, доцент, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», профессор кафедры лесоводства, экологии и защиты леса;

Коновалов Владимир Фёдорович,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», профессор кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна;

Лебедев Евгений Валентинович,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Защита диссертации состоится 22 мая 2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.394.04, созданного на базе ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», по адресу: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, ауд. 1220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», www.narfu.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Тюкавина Ольга Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Важнейшая задача таёжного лесоводства – изучение природы лесных биогеоценозов и их изменений под влиянием хозяйственной деятельности человека в целях наиболее рационального использования и восстановления лесов, повышения их продуктивности. Поэтому необходимо всестороннее комплексное исследование таёжных лесов, дальнейшее раскрытие присущих их природе объективных закономерностей (Чертовской и др., 1974).

В таёжной лесорастительной зоне европейской части России при искусственном лесовосстановлении из представителей рода сосна (*Pinus* L.) предпочтение отдают сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Это древесное растение занимает обширный естественный ареал и приспосабливается к разнообразным условиям местопроизрастания в силу высокой экологической пластичности. Данным обстоятельством обусловлено применение сосны обыкновенной при искусственном восстановлении лесов в разных географических (зональных) и экологических (лесорастительных) условиях.

Сущность биогеоценологических процессов и специфика воспроизведения органической массы в растительных сообществах проявляется, прежде всего, в структуре фитомассы и её количественном выражении. Именно запасы фитомассы отражают особенности развития насаждений (Бобкова, 1987). Фактические данные о запасах, структуре и возрастной динамике формирования фитомассы древостоев сосны обыкновенной в зависимости от лесорастительных условий и географического положения культурфитоценозов вносят существенный вклад в теорию и практику создания лесонасаждений искусственным путём. Такие сведения необходимы для оценки биологического потенциала культур сосны обыкновенной, а также при разработке научно-обоснованных лесохозяйственных приёмов формирования продуктивных и устойчивых насаждений искусственного происхождения с оптимальными параметрами биопродукционного процесса, особенно при целевом выращивании.

В последние десятилетия широкое распространение получает идея использования всей фитомассы леса, включая не только стволую древесину, но и крону, корни, другие компоненты (Мелехов, 1989). В прикладном аспекте всё большее значение в современной науке и обществе приобретает биологический потенциал фитомассы лесных насаждений: биоресурсный потенциал – сырьё для различных секторов экономики (в том числе биоэнергоаккумуляционная способность компонентов лесных насаждений); экологический потенциал – средообразующая и средостабилизирующая способности (в том числе депонирование углерода лесными формациями) и другие экосистемные функции.

Отмеченные выше обстоятельства позволяют считать данное исследование актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Анализ различных источников информации позволяет констатировать, что большой объём исследований по проблемам биологической продуктивности лесов в таёжной лесорастительной зоне Европейского Севера России проведён в насаждениях есте-

ственного происхождения. На территории исследованного региона фитомасса лесных формаций наиболее детально изучена в Архангельской области. Данные исследования разнятся как по целям и задачам, так и по применяемым методам сбора и анализа эмпирического материала, количеству используемых пробных площадей, отбору и обработке модельных (учётных) деревьев на них, выделяемым фракциям фитомассы и другим аспектам.

Обзор научных работ, посвящённых вопросам формирования запасов и структуры фитомассы искусственно созданных сосновых насаждений, произрастающих в пределах Европейского Севера, позволяет резюмировать, что относительное количество их не велико и ограничивается рядом исследований. Изменения структуры фитомассы культур сосны обыкновенной в связи с рубками ухода изучал Н.С. Минин (1980, 1981, 1984, 1989, 1992 и др.). Биометрические параметры и продуктивность ассимиляционного аппарата культур сосны обыкновенной обсуждается в ряде работ (Минин, 1988; Феклистов, Бабич, 1990; Бабич и др., 2016; Тюкавина, Клевцов, Бабич, 2017 и др.). Биологическую продуктивность культурфитоценозов сосны обыкновенной исследовал Н.А. Бабич лично (1983, 1989) и в соавторстве (1985, 1990, 1992, 1998, 2004 и др.). Исследованию процессов формирования надземной фитомассы древесного яруса культур сосны обыкновенной Европейского Севера посвящены диссертации И.В. Евдокимова (2003), Д.Н. Клевцова (2008).

Несмотря на важность изучения биологической продуктивности культур сосны обыкновенной, произрастающих на севере европейской части России, многие аспекты данной научной проблемы изучены недостаточно. В связи с этим сформулирована цель и определены задачи представленного диссертационного исследования.

Цель диссертационной работы – выявление динамики формирования и биологического потенциала надземной фитомассы сосновых древостоев искусственного происхождения в условиях Европейского Севера как научной основы устойчивого лесопользования.

Задачи исследования:

- установить эколого-географические изменения лесоводственно-таксационных параметров искусственных сосновых насаждений;
- на основе данных о фитомассе культур сосны обыкновенной выявить особенности пространственного и временного распределения её в пределах таёжной лесорастительной зоны района исследования;
- установить взаимосвязь между процессом биологической фиксации органического вещества в искусственных сосняках и лесорастительными условиями их произрастания в пределах исследованного региона;
- определить влияние биометрических параметров ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной на продуктивность исследуемых объектов в разных экологических условиях;
- выявить биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной;
- выявить экологический потенциал (углеродный пул) древесного яруса культурфитоценозов сосны обыкновенной.

Научная новизна исследования:

1. Выявлена возрастная структура надземной фитомассы и построен профиль биологической продуктивности сосновых древостоев искусственного происхождения по зонально-типологическому градиенту в условиях Европейского Севера.

2. Обоснованы модели динамики формирования запасов надземной фитомассы древостоев искусственных сосняков I-III классов возраста, произрастающих в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания.

3. Проведена сравнительная оценка фракционной дифференциации и запасов надземной фитомассы древесного яруса сосновых культурфитоценозов в разных эколого-географических условиях региона проведения исследований.

4. Установлена закономерность изменения запасов надземной фитомассы древесного яруса сосновых насаждений искусственного происхождения по эколого-географическому градиенту в пределах Европейского Севера: при продвижении с юга на север на 1° по широте общий запас надземной фитомассы древостоя культурфитоценозов сосны обыкновенной в лишайниковом и брусничном типах условий местопроизрастания уменьшается на 4,5 и 5,3 т/га в свежесрубленном состоянии соответственно.

5. Обоснованы оптимальные модели регрессионной зависимости, аппроксимирующие взаимосвязи компонентов надземной фитомассы с таксационными параметрами древостоев сосновых культурфитоценозов.

6. Определены взаимосвязи биометрических параметров и возрастной структуры ассимиляционного аппарата деревьев с продуктивностью исследованных культурфитоценозов сосны обыкновенной.

7. Выявлен биологический потенциал надземной фитомассы древесного яруса, включая энергоаккумуляционную способность и пулы углерода культур сосны обыкновенной, произрастающих в лишайниковом, брусничном и черничном типах лесорастительных условий.

8. Сформирован банк данных надземной фитомассы отдельных деревьев и древостоев культурфитоценозов сосны обыкновенной региона проведения исследований.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что **доказаны** положения, вносящие вклад в решение научной проблемы повышения комплексной продуктивности лесов, предполагающей совершенствование подходов рационального и устойчивого использования биоэкологического потенциала лесных экосистем, а также дополняют представления о биогеоценотических процессах формирования органического вещества древесного яруса сосновых культурфитоценозов в разных географических и эколого-ценотических условиях; **изложены** оценки экосистемного процесса накопления и дифференциации надземной фитомассы, а также биологического потенциала древесного яруса сосновых насаждений искусственного происхождения и представлены доказательства зависимости биологической производительности древостоев сосновых культурфитоценозов от эколого-географических условий их произрастания; **обоснованы** модели динамики формирования надземной фитомассы сосновых

древостоев искусственного происхождения; **раскрыты** особенности формирования биологического потенциала древесного яруса сосновых насаждений искусственного происхождения в разных лесорастительных условиях; **изучены** закономерности пространственного и временного распределения надземной фитомассы древесной части искусственных сосновых ценозов в пределах таёжной лесорастительной зоны района исследования.

Практическая значимость работы. Полученные в результате проведённых исследований данные о биологической продуктивности древесного яруса сосновых насаждений искусственного происхождения применимы при реализации мониторинга лесных экосистем и при формировании базы данных о фитомассе лесов. Результаты исследований процессов формирования запасов, структуры надземной фитомассы и биологического потенциала древесного яруса культур сосны обыкновенной, произрастающих в лишайниковом, брусничном и черничном типах лесорастительных условий могут являться научной основой при комплексном и устойчивом лесопользовании.

Данные по углеродному пулу в культурфитоценозах сосны обыкновенной применимы при расчётах углеродного бюджета лесных экосистем, а также при реализации природоохранных проектов и исследований. Результаты проведённых исследований биоэнергоаккумуляционного потенциала сосняков искусственного происхождения могут служить исходным материалом при составлении энергетического баланса лесных фитоценозов, при создании перспективных планов развития «Зелёной энергетики», в том числе при выборе и эксплуатации энергоустановок, работающих на древесном биотопливе, удалённых от централизованного энергоснабжения.

Методология и методы исследования. Методология настоящих исследований основана на биогеоценотических принципах изучения растительных сообществ с применением системного анализа, предполагающего выявление структурно-функциональной роли слагающих их компонентов. Применение данного подхода позволяет представлять объективную характеристику лесных фитоценозов и обеспечивать методологическую преемственность при получении новых научных данных, сопоставимых с результатами исследований других учёных.

В ходе реализации программы выполнен комплекс полевых и камеральных исследований с использованием общих и специальных методов получения данных о лесоводственно-таксационных показателях и биологической продуктивности сосновых насаждений. Это позволило получить репрезентативные данные с последующей их систематизацией и анализом. Интерпретация полученных результатов исследования проведена с учётом принципов системного анализа, объясняющего сложные процессы, протекающие в лесных экосистемах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Биологическая продуктивность, возрастное распределение и фракционная структура надземной фитомассы искусственных сосновых древостоев в разных зонально-типологических условиях Европейского Севера.

2. Изменение таксационных параметров искусственных сосновых насаждений в связи с их эколого-географическим положением.

3. Влияние биометрических параметров хвои сосны обыкновенной (длины, ширины и толщины) исследованных культурфитоценозов на продуктивность исследуемых объектов, произрастающих в разных эколого-ценотических условиях.

4. Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы сосновых культурфитоценозов как основа рационального лесопользования.

5. Экологический (углерододепонирующий) потенциал древесного яруса искусственных сосняков в аспекте климатической повестки.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Для получения экспериментального материала использованы достаточные по объёму репрезентативные выборочные совокупности (пробные площади и модельные деревья), отражающие изучаемые явления и процессы в районе проведения исследований. Данные наблюдений получены с использованием сертифицированного оборудования и измерительных инструментов, обеспечивающих необходимую дискретность и точность в соответствии с действующими стандартами. Объём опытных данных обеспечивает достоверность результатов, их методологическую преемственность. Результаты экспериментальных исследований обработаны методами сравнительного, дисперсионного и регрессионного анализа. Комплекс полевых и камеральных исследований, включая сбор, обработку, анализ и обобщение полученных результатов, выполнен автором лично или при его непосредственном участии.

Основные результаты проведённых диссертационных исследований опубликованы в профильных изданиях и докладывались на научных конференциях разного уровня: Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) «Молодые учёные в решении актуальных проблем науки» (Красноярск, 2011); 71-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе» (Караваево, 2020); Всероссийская научно-практическая конференция «II Пахтусовские чтения: арктические горизонты» (Архангельск, 2021); Молодёжная научно-исследовательская конференция «Адаптация природных и социально-экономических систем к условиям меняющегося климата» (Архангельск, 2021); VIII Международная научно-практическая конференция «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» (Саратов, 2021); XIV Перфильевские научные чтения, посвящённые 140-летию со дня рождения Ивана Александровича Перфильева «Растительный покров Европейского севера и Арктики» (Архангельск, 2022).

Результаты проведённых исследований по теме диссертации представлены в 34 опубликованных научных работах, в том числе: 1 монография, 15 статей в изданиях по перечню ВАК РФ.

Диссертация представлена на 313 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения, приложения и списка литературы, включающего 481 источник отечественных и зарубежных авторов. Текст содержит 45 таблиц и 30 рисунков.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной характеристикой лесных экосистем является биологическая продуктивность (Бубнов, Дэви, 2013). Биологическая продуктивность – фундаментальное свойство биосферы, означающее способность живого вещества воспроизводить биомассу и образовывать тем самым биотический покров (Базилевич, 1993). Лесные сообщества играют важную роль в глобальных потоках веществ и энергии, являясь существенными накопителями фитомассы в биосфере. За счёт процессов депонирования и эмиссии углерода, леса участвуют в изменении климата Земли. Потоки углерода можно связать с продуктивностью лесных насаждений, а именно с запасом древесины и её приростом, так как основная часть фитомассы лесов сосредоточена в деревьях (Тишин, 2011).

Первоочередной задачей лесоведения и лесоводства является повышение продуктивности лесов (Басакова, 2017). Сложность проблемы повышения продуктивности лесов в связи с их многоцелевым назначением не исчерпывается вопросами утилизации биомассы. Процесс образования и накопления биомассы леса в целом, изменение её характера в пространстве и во времени оказывает глубочайшее влияние не только на условия дальнейшего существования леса, но и на внешнюю среду в широком смысле, в том числе и на жизненную среду современного и будущих поколений людей. Не умаляя большого значения древесины, и в целом биомассы и её продуктов, следует подчеркнуть назревшую необходимость серьёзного поворота в оценке так называемых «невесомых» полезностей леса, связанных с его влиянием на среду – прежде всего различных защитных функций леса. Поэтому целесообразность введения понятия комплексная (интегральная) продуктивность леса вытекает из многообразия продуктов леса; признания леса как важной составной части биосферы; необходимости широкого использования многостороннего защитного влияния лесов, возросшего особенно в связи с урбанизацией (Чертовской и др., 1974).

В.А. Усольцев с соавторами (1991) отмечают, что изучение количественных и качественных характеристик фитомассы древостоев является составной частью исследований по биологической продуктивности, как в биогеоэкологическом, так и в ресурсоведческом аспектах. Современной тенденцией развития экономики является широкое использование ресурсосберегающих технологий. В этой канве вовлечение фитомассы лесных насаждений в качестве сырья для различных отраслей промышленности – актуальнейшее направление развития лесного комплекса. Использование всех компонентов дерева (древостоя) имеет большой спектр направлений. Отходы лесозаготовок (ветви и листва) и лесопереработки (кора, опилки, щепа) приобретают разнообразные направления применения в ряде отраслей промышленности (химическая, целлюлозно-бумажная, парфюмерная, фармацевтическая, пищевая, строительная), сельском хозяйстве, а также в целях получения энергоносителей для нужд теплоснабжения (Томчук, 1968; Иевинь и др., 1976; Калниньш и др., 1978; Эрнст, Науменко, Ладинская, 1982; Грищенко и др., 1985; Науменко, Ладинская, 1990; Бабич, Любов, 2002; Петрик, Тутыгин, Гаевский, 2005; Рощупкин, 2005; Писаренко, Страхов, 2006;

Мартынюк, 2016; Björheden, 2006; Berndes, Hansson, 2007; Sandström et al., 2007; Ximenes et al., 2012; и др.).

А.И. Уткин (1975) отмечает, что масштабные теоретические обобщения и выкладки при исследовании биологической продуктивности биосферы, при сравнении продукционного процесса экосистем разных биомов, возможны при получении сопоставимых исходных данных. Поэтому необходимо применение сходных методов сбора и обработки эмпирических материалов, а также при оформлении результатов исследований в публикациях. В главе представлен ретроспективный анализ методических подходов определения фитомассы лесов. Методическим вопросам изучения биологической продуктивности лесов посвящено много научных работ, особенно в связи с выполнением Международной биологической программы (МБП). Помимо отдельных монографий и руководств (Программа и методика..., 1966; Молчанов, Смирнов, 1967; Программа-минимум..., 1967; Родин, Ремезов, Базилевич, 1968; Материалы по МБП, 1971; Уткин, 1975; Бабич, Мерзленко, 1998; Усольцев, Залесов, 2005; и др.), опубликовано большое количество методических статей по проблеме в целом (Семечкина, Семечкин, 1973; Аткин, 1974; Токмурзин, 1977; Токмурзин, Байзаков, 1977; Уткин, 1982; Усольцев, 1984; Уткин, Каплина, Ильина, 1987; Бахтин, Коноплева, Попов, 2016; и др.), а также по отдельным частным вопросам (Горбатенко, Протопопов, 1971; Абатуров, Матвеева, 1974; Успенский, 1982; Прохоров, 1986; Пунько, 1993, Бахтин, 2015; Минин, 2016; и др.).

Также в главе приводится краткая характеристика развития лесокультурного производства на Европейском Севере, на основе которой можно говорить о значительных масштабах работ по искусственному лесовосстановлению и высокой продуктивности созданных сосновых насаждений. Опыт показывает, что при соблюдении необходимых требований в условиях региона можно создать искусственным путём полноценные сосновые ценозы. Уже в скором будущем культуры сосны, созданные на ранних этапах лесокультурного производства, достигнут возраста спелости и будут вовлечены в эксплуатацию.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

В главе описываются географическое положение, рельеф, а также многообразие климатических, гидрологических, почвенных условий района проведения исследований.

Под Европейским Севером на основе сходства природных и естественно-исторических условий принято считать территорию Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми (Калинин, 1965; Мелехов, 1966; Львов, 1971; Чупров, 1981; Бабич, Мерзленко, Евдокимов, 2004 и др.). Леса Архангельской и Вологодской областей, Республики Коми по признакам относительной однородности роста древостоев и схожей их продуктивности объединены в один Северо-Восточный лесотаксационный район. В основу лесотаксационного рай-

онирования положено различие продуктивности и динамики основных таксационных показателей в разрезе классов бонитета (Лесотаксационный справочник..., 1986).

Масштабность Европейского Севера, высокая разнородность слагающих его пространства ландшафтов и существенные различия в экологических характеристиках лесных районов определяют разнообразие биогеоценотического покрова. В распространении и существовании лесной растительности с одной стороны проявляют интегральное действие экологические факторы, с другой амплитуда их колебаний с экстремальными значениями, которые зачастую становятся лимитирующими. Обширность территории исследуемого региона с высоким многообразием экологических условий обуславливают значительное разнообразие типов леса, которые характеризуются различным составом, полнотой, продуктивностью и биоресурсный потенциалом.

3. ПРОГРАММА, МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Планирование и организация настоящих исследований предусматривало определение цели и стратегии её достижения с выделением этапных задач, последовательное решение которых обуславливало системность и целостность получаемой информации, выбор методологического аппарата, обеспечивающего достаточность исходных данных и достоверность результатов их анализа.

Программой исследований предусмотрена комплексная оценка экосистемного процесса формирования и дифференциации надземной фитомассы и выявление биологического потенциала древесного яруса сосновых насаждений искусственного происхождения эколого-фитоценотического, зонально-климатического и возрастного рядов таёжной лесорастительной зоны Европейского Севера. Для проведения исследований в указанных рядах подбирались искусственно созданные насаждения трёх типов леса (сосняки лишайниковые, брусничные и черничные), имеющие существенные различия по продуктивности и фракционному распределению фитомассы.

Поскольку на формирование и развитие экосистемы влияют многие факторы, исследование среды обитания живых организмов должно выполняться на системном уровне (Ковязин, 2008). Методология настоящей работы основана на системе принципов и подходов биогеоценотических исследований, с учётом положений системного анализа, предполагающего выявление структурно-функциональной роли слагающих растительные сообщества компонентов, полифакторный анализ экологических условий, определяющих биологическую продуктивность древостоев. Применение биогеоценотической концепции позволяет получать объективную характеристику лесных фитоценозов и обеспечивать методологическую преемственность при получении новых научных данных, сопоставимых с результатами исследований других авторов.

При реализации программы исследований методологической основой служили положения и принципы методов, широко применяемых в лесоведении, лесоводстве, лесной таксации, а также при изучении лесных культур (Сукачёв,

Зонн, 1961; Молчанов, Смирнов, 1967; Огиевский, Хиров, 1967; Кобранов, 1973; Маслаков и др., 1978; Родин, Мерзленко, 1983; Чмыр, Маркова, Сеннов, 2001; Крышень и др., 2003; Бабич, Мерзленко, Евдокимов, 2004; Усольцев, Залесов, 2005; и др.).

Для решения научной проблемы исследования при получении полевых и экспериментальных данных использованы достаточные по объёму репрезентативные выборочные совокупности (пробные площади и модельные деревья), отражающие изучаемые явления и процессы в районе проведения исследований. Эмпирический материал получен в результате закладки и обмера пробных площадей с отбором и обработкой модельных деревьев и образцов.

При проведении полевых работ в соответствии с действующими стандартами, апробированными базовыми и специальными методами произведено исследования лесоводственно-таксационных параметров и фитомассы сосновых насаждений искусственного происхождения. Данные наблюдений получены с использованием сертифицированного оборудования и измерительных инструментов, обеспечивающих необходимую дискретность и точность в соответствии с действующими стандартами. Объём опытных данных обеспечивает достоверность результатов, их методологическую приемственность.

Объектами исследований являлись чистые по составу (в черничном типе леса с незначительной примесью берёзы), идентичные по методу создания (посевы), культурфитоценозы сосны обыкновенной, занимающие разное зонально-климатическое, эколого-ценотическое и возрастное положение. Качественная оценка древостоев исследуемых сосняков искусственного происхождения проводилась в трёх наиболее часто встречающихся на территории региона типах леса (черничный, брусничный и лишайниковый). Данные типы леса характеризуются существенными различиями в почвенно-грунтовых условиях, живом напочвенном покрове, лесовосстановительных процессах и как, следствие, запасах фитомассы древостоев. Объекты наблюдений не подвергались промежуточному пользованию и представляют собой нормальные, высокопроизводительные искусственные насаждения сосны обыкновенной. Обработка почвы на участках посевов сосны обыкновенной заключалась в основном в измельчении и перемешивании подстилки с минеральными горизонтами на глубину до 15 см на площадках. Работы проводились вручную с использованием мотыг и лопат.

Исследования проведены в культурах сосны обыкновенной путём их предварительных рекогносцировочных обследований с последующей закладкой пробных площадей. Экспериментальный материал получен методом повторных перечётов на постоянных пробных площадях и однократных обмеров на временных пробных площадях, закладку которых осуществляли в соответствии с требованиями ОСТ 56-69-83, а также с учётом методических рекомендаций В.В. Огиевского, А.А. Хирова (1967); Н.Н. Соколова (1978); А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко (1983) в наиболее характерных по составу, полноте и однородных по живому напочвенному покрову, микрорельефу участках культур. Описание ботанического состава живого напочвенного покрова выполнено в соответствии с методикой, изложенной Л.Е. Астрологовой, Г.Б. Гортинским (1980). Морфологическое описание почв выполнено с учётом ОСТ 56-81-84, а также в

соответствии с рекомендациями А.Л. Паршевникова (1974); Е.Н. Наквасиной, Е.В. Шавриной (1998); Е.Н. Наквасиной, В.С. Серого, Б.А. Семёнова (2007).

Отбор модельных деревьев реализован с использованием полученных рядов распределения деревьев по ступеням диаметра (высоты) на пробных площадях. При этом в пределах всего диапазона варьирования размеров деревьев на пробной площади отбирали не менее 5 экземпляров. Модельные деревья тщательно выбирали за пределами пробных площадей, избегая значительных отклонений по развитию крон, без повреждений стволов и признаков усыхания и т.п.

После валки и обмера дерева его разделяли на фракции: ствол, с подразделением на древесину и кору; крона, с разделением на древесную зелень (согласно техническим требованиям ГОСТ 21769–84 «Зелень древесная. Технические условия» древесная зелень хвойных древесных пород представляет собой охвоённые ветви с диаметром у основания не более 0,8 см, заготавливаемые со свежесрубленных деревьев) и ветви; сухие сучья. Для определения массы фракций фитомассы использовали весовой способ. Расчёт фитомассы вели регрессионным методом, в качестве аргумента для моделей регрессии брали диаметр ствола на высоте 1,3 м.

Для определения биометрических показателей хвой (длины, ширины, толщины) у модельных деревьев крону размечали на три равные части. Затем от каждой части отбирали средние по диаметру у основания и длине ветви. У каждой ветви отбирали по 50 пар хвоинок отдельно каждого года. Измерения производили цифровым штангенциркулем с точностью 0,1 мм. Продолжительность жизни хвои учитывали как на модельных ветвях, так и на верхушечных приростах модельных деревьев.

Теплоту сгорания образцов, отобранных в ходе проведения полевых работ от каждой фракции фитомассы, определяли по ГОСТ 33106–2014 (EN 14918:2009) с использованием калориметра сгорания бомбового АБК-1В. Данная установка предназначена для измерения энергии (теплоты) сгорания топлива. Управление работой калориметра и расчёт результатов измерения осуществляется системой управления на базе персонального компьютера.

Полученный в ходе полевых исследований эмпирический материал обработан с применением персонального компьютера. Для выявления закономерностей применены методы регрессионного и двухфакторного дисперсионного анализа полученных данных. Статистическая обработка результатов наблюдений выполнена с использованием программ KKOREL, STAT, REGRES, разработанных на кафедре лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, а также программ Microsoft Excel и Curve Expert 1.3. Обработка эмпирического материала выполнена с необходимыми статистическими оценками точности и достоверности полученных данных.

Теоретические исследования, включающие информационный поиск, анализ и обобщение литературных данных по разрабатываемой научной проблеме, сбор, обработка и интерпретация полевого и экспериментального материала, проведены в период 2004–2021 гг. При обследовании и исследовании

сосняков заложено 64 пробных площади. Кроме того, для построения профиля биологической продуктивности сосновых древостоев искусственного происхождения по зонально-типологическому градиенту для анализа привлечены данные по 87 пробным площадям (Бабич, Мерзленко, 1998; Бабич, Мерзленко, Евдокимов, 2004).

Для определения элементов надземной фитомассы сосновых древостоев отобрано и обработано 360 модельных деревьев, от которых выполнено 1800 замеров фракций. В ходе проведения почвенных исследований заложено 19 почвенных разрезов, что позволило уточнить тип условий местопроизрастания сосновых культурфитоценозов. При исследовании биометрических параметров хвои (длина, ширина, толщина) деревьев сосны обыкновенной сделано около 12 тыс. измерений. Для определения теплотворной способности компонентов надземной фитомассы в ходе проведения полевых работ отобрано 360 образцов для последующих лабораторных калориметрических исследований.

В заключительной части данной главы представлена лесоводственно-таксационная характеристика изученных искусственно созданных ценозов сосны обыкновенной.

4. ФОРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

4.1. Эколого-географические изменения таксационных показателей искусственных насаждений сосны обыкновенной

Влиянию экологических факторов на рост и развитие древесных растений, географической обусловленности продуктивности лесов посвящены исследования учёных в нашей стране (Дмитриева, 1950; Воробьёв, 1959; Молчанов, 1961; Лисеев, 1968; Правдин, 1964; Вихров, Протасович, 1965; Кайрюклитис, Юодвалькис, 1968, 1972; Курнаев, 1973; Львов, Ипатов, 1976; Львов, Ипатов, Плохов, 1980; Кищенко, 1978; Шпалте, 1978; Гортинский, Евдокимов, 1981; Цветков, 2000; Лебедев, 2015; Коновалов и др., 2021; и др.) и за рубежом (Дре, 1976; Райт, 1978; Одум, 1986; и др.).

Поскольку эколого-географическая обусловленность роста и продуктивности лесов прослеживается, прежде всего, в изменении таксационных показателей, считали необходимым рассмотреть данный вопрос.

Изменение показателей биологической производительности и роста в эколого-географическом разрезе исследовали в северо-таёжном лесном районе (Емецкое лесничество Архангельской области) и в южно-таёжном лесном районе (Устюженское лесничество Вологодской области). Объектами исследований служили 65-летние чистые по составу или с незначительной примесью берёзы, идентичные по методу создания (посевы), участки культур сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах лесорастительных условий, где древостой существенно отличаются по продуктивности и таксационным параметрам. Усреднённые таксационные показатели исследованных

нами (Клевцов, Коновалов, Макаров, 2020) насаждений сосны обыкновенной искусственного происхождения представлены в табл. 1 (полная характеристика содержится в диссертации).

Таблица 1 – Усреднённые таксационные показатели 65-летних сосняков

Состав	Первоначальная густота, п.м./га	Средние		Класс бонитета	Количество деревьев, шт./га	Полнота (Р)	Запас древесины, м ³ /га
		Д, см	Н, м				
Северо-таёжный лесной район							
Сосняк лишайниковый							
10С	4660	6,1	9,6	V	7107	1,1	132
Сосняк брусничный							
10С	4171	9,9	13,1	III	3195	1,0	193
Сосняк черничный							
10С+Б	4087	14,6	16,4	II	1878	1,0	270
Южно-таёжный лесной район							
Сосняк лишайниковый							
10С	4894	11,0	13,6	IV	3000	1,1	213
Сосняк брусничный							
10С	4006	13,4	15,6	III	1482	0,9	203
Сосняк черничный							
10С	3930	20,6	21,9	I	905	0,9	340

Анализируя результаты исследований (табл. 1, рис. 1–3) можно констатировать, что при продвижении с севера на юг в пределах района проведения исследований основные таксационные показатели древесного яруса искусственно созданных ценозов сосны обыкновенной возрастают. Данные табл. 1 демонстрируют особенности отпада деревьев в древостоях лесных культур, созданных методом посева. Как по широтному, так и по лесотипологическому градиенту прослеживается схожая динамика формирования густоты древостоев в посевах сосны обыкновенной. При близкой первоначальной густоте создания исследованных искусственных сосняков к 65-летнему возрасту наблюдается следующее: в древостое менее продуктивного лишайникового типа лесорастительных условий сохраняется примерно в 3 раза больше деревьев, чем в древостое более производительного черничного типа условий произрастания. Предположительно, такой характер отпада деревьев в разных эколого-ценотических условиях можно объяснить неодинаковой скоростью прохождения физиологических процессов, связанных с потреблением питательных веществ, влаги, ассимиляцией органического вещества хвоей. В более продуктивном черничном типе лесорастительных условий скорость физиологических процессов выше, а поэтому и отпад происходит более интенсивно.

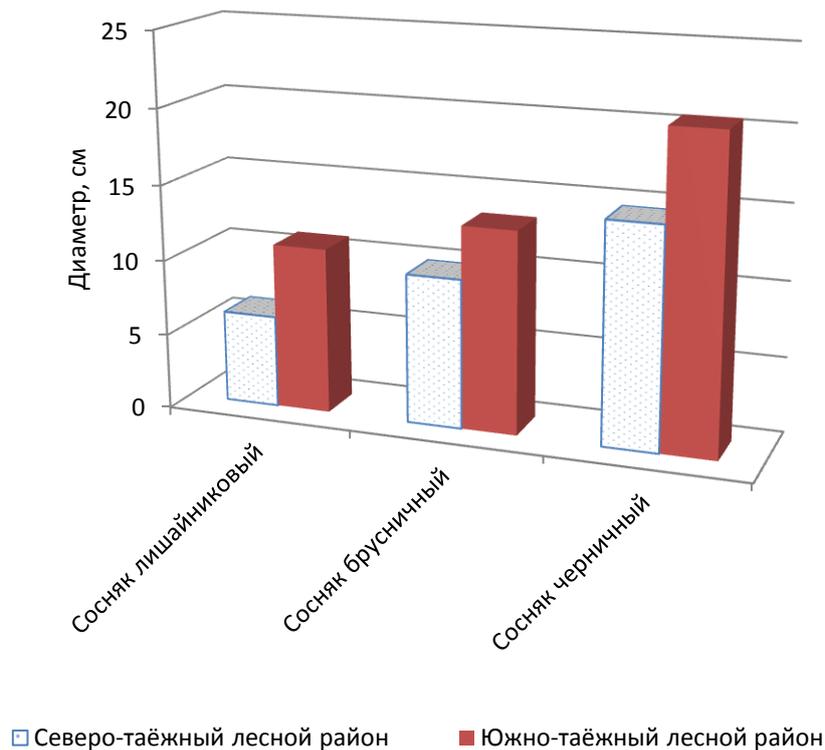


Рисунок 1 – Средние диаметры древостоев сосновых культурфитоценозов в разных эколого-географических условиях

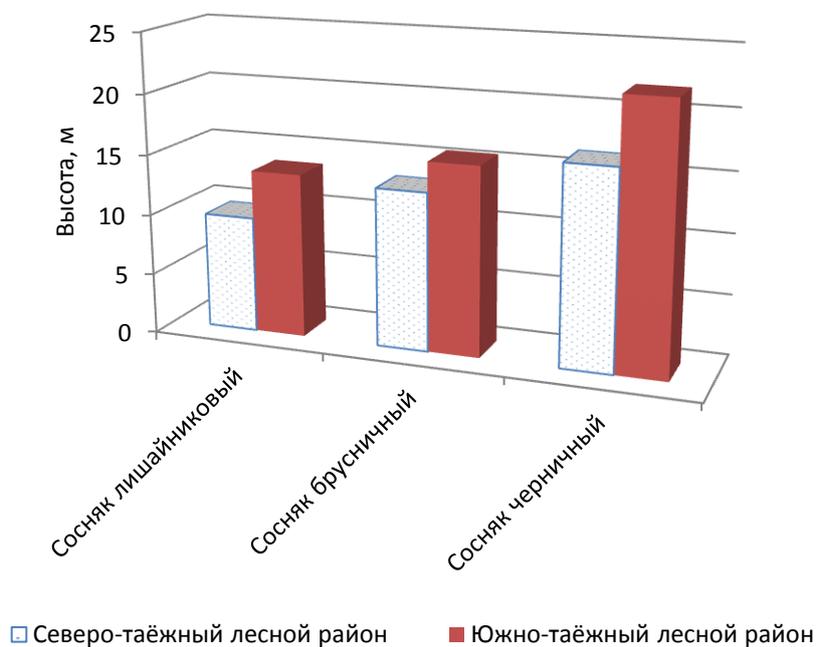


Рисунок 2 – Средние высоты древостоев сосновых культурфитоценозов в разных эколого-географических условиях

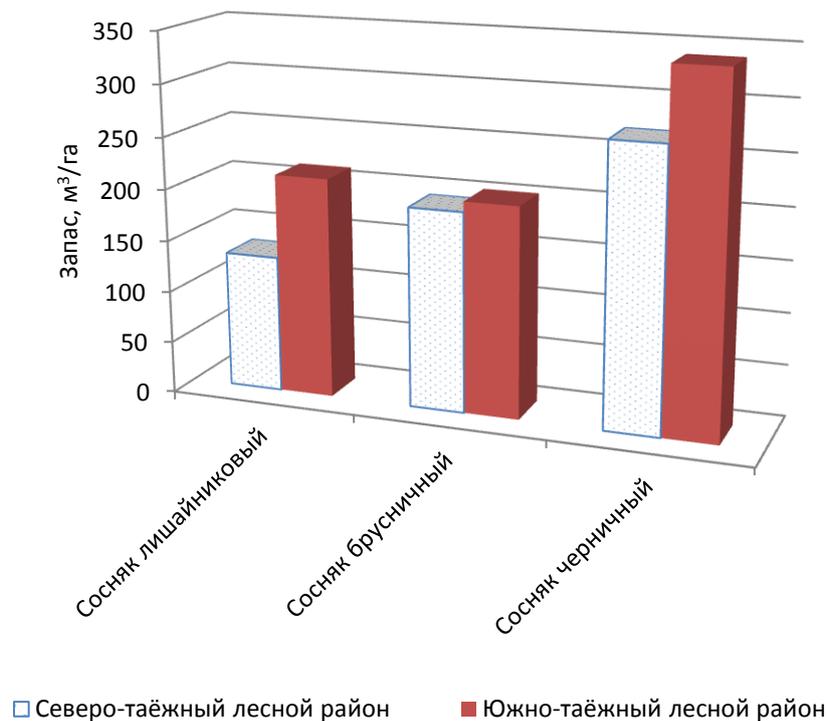


Рисунок 3 – Запасы древесины сосновых культурфитоценозов в разных эколого-географических условиях

Кроме влияния географического положения на биологическую производительность древостоев исследованных искусственных сосновых ценозов чётко проявляется и её зависимость от экологических условий местопроизрастания (рис. 1–3). П.Н. Львов с соавторами (1980) отмечают географическую изменчивость одноименных типов лесов, обусловленную снижением их производительности при продвижении с юга на север, а также указывают на различный характер роста анализируемых древесных пород в разных лесорастительных условиях. Подобная тенденция просматривается при выполнении сравнительного анализа средних таксационных показателей исследованных нами древостоев искусственных сосняков, произрастающих в разных лесных районах (табл. 1).

В диссертации представлен анализ изменчивости и достоверности различий в значениях таксационных показателей исследованных искусственных сосновых древостоев, на основе которого можно отметить, что для сосняков черничных и лишайниковых в южно-таёжном лесном районе значения основных показателей достоверно больше, чем в северо-таёжном (t -критерий > 3). Для сосняка брусничного достоверное различие установлено только по диаметру, по высоте и запасу древесины оно не достоверно (t -критерий < 3). Обнаруживается чётко выраженная дифференциация основных таксационных показателей древостоев. Так, например, различие в среднем диаметре сосняка черничного северо-таёжного лесного района с таким же сосняком южно-таёжного лесного района достигает 6 см, с сосняком брусничным и сосняком лишайниковым – 3,5 и 4,9 см соответственно. Подобная тенденция сохраняется и для других таксационных признаков анализируемых сосновых насаждений.

4.2. Сравнительный анализ продуктивности сосновых древостоев разного происхождения

Природные условия Европейского Севера в целом благоприятны для восстановления древесных пород, но лесообразовательные процессы в естественной обстановке не всегда идут в желательном для хозяйственного использования направлении, поэтому не отпадает необходимость в создании лесных культур и отсюда, в сравнительном анализе эффективности их выращивания (Львов, Ипатов, Плохов, 1980).

Среди работников лесного хозяйства и лесоустроителей бытует мнение, что лесные культуры растут хуже, чем естественные насаждения. Это мнение возникло в связи с довольно частым списанием лесных культур по причинам, которые, прежде всего, зависят от хозяйственной деятельности человека. Изучая особенности роста чистых сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения Л.Ф. Ипатов (1974) пришёл к выводу, что культуры по росту превосходят естественные насаждения.

Сравнительный анализ продуктивности сосновых древостоев разного происхождения на территории северо-таёжного лесного района проведён нами (Клевцов, Кунников, 2011; Феклистов, Клевцов, Кунников, 2015) в Приморском районе Архангельской области. В рамках данного исследования в пределах Архангельского лесничества заложены пробные площади в естественных сосновых насаждениях (Исакогорское участковое лесничество) и в культурфитоценозах сосны обыкновенной (Усть-Двинское участковое лесничество). В качестве объектов исследования подобраны лесные участки в черничном типе условий местопроизрастания. Таксационная характеристика исследованных сосняков представлена в диссертации.

Чистую первичную продуктивность определяли только у надземной части древесного яруса сосняков разного происхождения. Для определения чистой первичной продуктивности древостоев исследовали компоненты надземной фитомассы. Полученную массу фракции делили на время (возраст её нарастания) и получали накопленную фитомассу в сыром виде за год. Затем рассчитывали массу сухого вещества с учётом содержания воды в каждой фракции фитомассы. Содержание воды принимали по литературным данным (Веретенник, 1976; Комар, 1988; Феклистов, Евдокимов, Барзут, 1997; Феклистов, Бирюков, Федяев, 2008).

В результате проведённых исследований установлено, что наибольший вклад в биологическую производительность сосняков естественного происхождения вносит древесная зелень (табл. 2). Она составляет от 45,1 % до 68,6 % от общей продуктивности в естественных насаждениях разного возрастного состояния. В среднем же продуктивность древесной зелени примерно равна 55 %. Другой важной фракцией надземной фитомассы является древесина, на долю которой приходится в среднем 37 %. Продуктивность ветвей и стволовой коры составляет чуть больше 3 %.

В культурфитоценозах сосны обыкновенной доля древесной зелени выше по сравнению с естественными сосновыми насаждениями и составляет от

58,6 % до 75,8 % от общей продуктивности на разных возрастных стадиях. В среднем на долю древесной зелени приходится около 70 %, но доля древесного прироста ощутимо ниже, чем в насаждениях естественного происхождения, и составляет около 21 %.

Таблица 2 – Продуктивность сосняков черничных естественного и искусственного происхождения

Возраст, лет	Продуктивность по компонентам фитомассы				Всего
	Ствол		Крона		
	древесина	кора	ветви	древесная зелень	
<i>Искусственные сосновые насаждения</i>					
28	0,539 *	0,121	0,170	1,177	2,007
	26,9	6,0	8,5	58,6	100
48	0,718	0,087	0,175	3,063	4,043
	17,8	2,2	4,3	75,7	100
48	0,643	0,076	0,164	2,775	3,658
	17,6	2,1	4,5	75,8	100
<i>Естественные сосновые насаждения</i>					
32	1,480	0,131	0,084	1,813	3,508
	42,2	3,7	2,4	51,7	100
43	1,659	0,243	0,138	1,675	3,715
	44,7	6,5	3,7	45,1	100
56	1,363	0,128	0,220	3,738	5,449
	25,0	2,4	4,0	68,6	100

* Примечание в числителе – т/га в год, в знаменателе – %.

4.3. Зависимость надземной фитомассы деревьев от таксационных показателей сосновых ценозов

Для выявления аллометрических закономерностей, описывающих зависимость высоты дерева, фитомассы различных фракций деревьев от диаметра ствола на высоте груди нами (Тюкавина, Клевцов, Неверов, 2023) проведены исследования в Бабаевском лесничестве Балтийско-Белозерского лесного района. Объектами исследований являлись культуры сосны обыкновенной разных возрастов в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания. Устанавливали таксационные параметры искусственных сосняков (представлены в диссертации) и надземную фитомассу древесного яруса.

Наибольший интерес исследователей вызывают модели взаимосвязи высот деревьев и их диаметров на высоте 1,3 м (Ogana, Ercanli, 2022; Raptis et al., 2021; Seki, Sakici, 2022; Skudnik, Jevšenak, 2022; Wu et al., 2022). Данные модели позволяют перейти от диаметра к высоте дерева. Измерение диаметра на высоте груди проще, точнее и дешевле, чем измерение высоты дерева (Seki, Sakici,

2022). Теснота связи между диаметром ствола на высоте груди и высотой деревьев высокая, очень высокая, значимая: сосняк лишайниковый $r = 0,9-0,94$ при $t = 16-25$; сосняк брусничный $r = 0,88-0,92$ при $t = 13-19$; сосняк черничный $r = 0,85-0,91$ при $t = 10-17$. Зависимость высоты дерева от диаметра на высоте груди можно описать полиномиальной функцией (табл. 3).

Таблица 3 – Регрессионные модели зависимости высоты дерева от его диаметра ствола на высоте 1,3 м

Условия местопроизрастания	Уравнение	Коэффициент детерминации
Сосняк лишайниковый	$y = 0,0022 \cdot x^3 - 0,0762 \cdot x^2 + 1,3454 \cdot x + 0,6339$	0,86
Сосняк брусничный	$y = 0,0037 \cdot x^3 - 0,1318 \cdot x^2 + 1,9707 \cdot x + 0,5273$	0,83
Сосняк черничный	$y = 0,0048 \cdot x^3 - 0,193 \cdot x^2 + 2,7437 \cdot x - 0,6569$	0,75

Модели соотношения высоты и диаметра представляют ценную информацию для оценки запаса древесины, роста насаждений, а также для исследований дистанционного зондирования, которые позволяют получить информацию по высотам, но диаметр деревьев с их помощью не может быть измерен (Anwar et al., 2018; Volat, Ürker, Günlü, 2022). Зависимость диаметра ствола на высоте груди от высоты дерева можно описать полиномиальной функцией (табл. 4).

Таблица 4 – Регрессионные модели зависимости диаметра на высоте груди от высоты дерева

Условия местопроизрастания	Уравнение	Коэффициент детерминации
Сосняк лишайниковый	$y = 0,0142 \cdot x^3 - 0,2668 \cdot x^2 + 2,7412 \cdot x - 3,912$	0,85
Сосняк брусничный	$y = 0,0104 \cdot x^3 - 0,2259 \cdot x^2 + 2,5199 \cdot x + 4,5654$	0,80
Сосняк черничный	$y = -0,0195 \cdot x^3 + 0,5584 \cdot x^2 - 3,6448 \cdot x + 0,6497$	0,65

Программа Table Curve 3D позволяет подобрать более точные уравнения, описывающие зависимость диаметра ствола на высоте груди от высоты деревьев с учетом доли протяженности кроны в ней, повысив коэффициент детерминации до $0,9-0,94$. Участие в уравнении доли протяженности кроны от высоты дерева позволяет нивелировать влияние лесорастительных условий на аллометрические закономерности и объединить выборки разных типов леса. Диаметр на высоте груди в культурах сосны можно определить по регрессионному уравнению:

$$Z = 4,52 - 0,64 \cdot x - 0,121 \cdot y + 0,03 \cdot x^2 + 0,0006 \cdot y^2 + 0,025 \cdot x \cdot y, \\ R^2 = 0,92;$$

где Z – диаметр на высоте 1,3 м, см; x – высота дерева, м; y – доля протяженности кроны от высоты дерева, %; R^2 – коэффициент детерминации.

Модель построена при условиях $2,3 \leq x \leq 16,2$; $57 \leq y \leq 82$.

Согласно модели с увеличением высоты дерева и доли протяжённости кроны от высоты дерева диаметр ствола на высоте груди возрастает (рис.4).

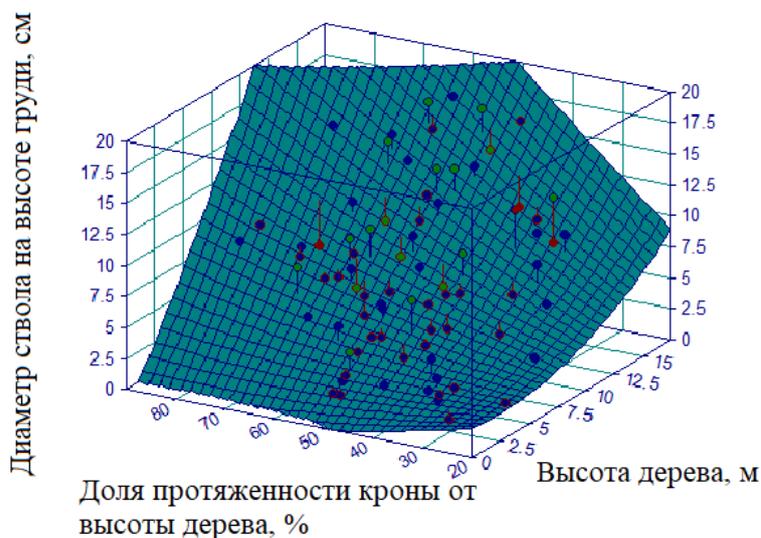


Рисунок 4 – Зависимость диаметра ствола на высоте 1,3 м от высоты дерева и доли протяжённости кроны

Во всех рассматриваемых типах леса выявлены высокие корреляционные связи массы фракций деревьев с диаметром ствола на высоте 1,3 м ($r = 0,88-0,96$ при $t = 24,1-88,6$). Наименьший коэффициент корреляции характерен для массы ветвей с хвоей, наибольший – для массы коры. При объединении выборок лишайникового, брусничного и черничного типов леса теснота связи не снижается, что указывает на закономерности соотношения массы древесины ствола, ветвей с хвоей, коры с диаметром ствола на высоте 1,3 м независимо от типа леса и социального положения дерева в насаждении.

Зависимость массы фракций деревьев от диаметра ствола на высоте 1,3 м можно описать полиномиальной функцией (табл. 5).

Таблица 5 – Регрессионные модели зависимости фракций фитомассы культур сосны от диаметра ствола на высоте груди

Фракции фитомассы	Уравнение	Коэффициент детерминации
Сосняк лишайниковый		
Ветви с хвоей	$y = 0,3556 \cdot x^2 - 2,2813 \cdot x + 3,7403$	0,98
Древесина ствола	$y = 0,5287 \cdot x^2 - 2,5843 \cdot x + 4,2634$	0,98
Кора	$y = 0,0498 \cdot x^2 - 0,0628 \cdot x + 0,1513$	0,97
Сосняк брусничный		
Ветви с хвоей	$y = 0,2172 \cdot x^2 - 1,3939 \cdot x + 2,5829$	0,96
Древесина ствола	$y = 0,1375 \cdot x^{2,43}$	0,98
Кора	$y = 0,0476 \cdot x^2 - 0,0212 \cdot x + 0,1391$	0,99
Сосняк черничный		
Ветви с хвоей	$y = 0,3047 \cdot x^2 - 2,6043 \cdot x + 5,5276$	0,96
Древесина ствола	$y = 0,598 \cdot x^2 - 1,6472 \cdot x + 1,3654$	0,95
Кора	$y = 0,0359 \cdot x^2 + 0,2125 \cdot x - 0,4733$	0,96

5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ СОСНЯКОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

5.1. Биология и экологические особенности сосны обыкновенной

В разделе представлены сведения о биологии и экологических особенностях сосны обыкновенной. Отмечается, что данное древесное растение имеет исключительно важное значение. Она естественно произрастает и может культивироваться в разнообразных климатических и почвенных условиях, даёт ценнейшую древесину, живицу и многие другие «полезности». Поэтому сосновые леса подвергаются интенсивному лесопользованию. С каждым годом всё большее значение приобретает проблема лесовосстановления сосняков (в том числе и искусственным способом), а также исследование биологического потенциала как научной основы их рационального и устойчивого использования.

5.2. Продуктивность и фракционная дифференциация надземной фитомассы древесного яруса сосновых культурфитоценозов в разных зонально-экологических условиях

Для проведения количественного анализа надземной фитомассы и построения профиля биологической продуктивности сосновых древостоев искусственного происхождения по зонально-эколого-возрастному градиенту в условиях Европейского Севера использованы данные собственных исследований по южной подзоне тайги (Бабич, Клевцов, Евдокимов, 2010) и литературные сведения по северной и средней подзонам тайги (Бабич, Мерзленко, 1998; Бабич, Мерзленко, Евдокимов, 2004). В результате установлены основные особенности продуктивности искусственных сосняков в разных эколого-географических условиях, обусловленные изменением комплекса абиотических факторов. Анализ гистограмм (рис. 5, 6) позволяет констатировать, что с возрастом в культурах сосны обыкновенной происходит увеличение запасов надземной фитомассы. Из данных видно, что на всех возрастных этапах развития культурфитоценозов сосны обыкновенной наибольшие запасы надземной фитомассы древесного яруса формируются в южной подзоне тайги, а наименьшие – в северной.

Для определения влияния подзоны тайги и типа условий местопроизрастания на запасы надземной фитомассы древесного яруса культур сосны обыкновенной проведён дисперсионный анализ по алгоритму двухфакторного неравномерного комплекса. В результате установлено, что наибольшей силой влияния от общей дисперсии на запасы фитомассы сосновых культурфитоценозов обладает тип леса – 15 %, наименьшей (2 %) подзона тайги, на их сочетание приходится 1 %. Суммарное воздействие варьирования факторов (А, В, АВ) составляет 18 %. На случайные факторы приходится 82 %. Достоверно доказано

влияние типа лесорастительных условий на запасы фитомассы культур сосны ($F\phi > Fst$), в остальных случаях достоверность не установлена ($F\phi < Fst$).

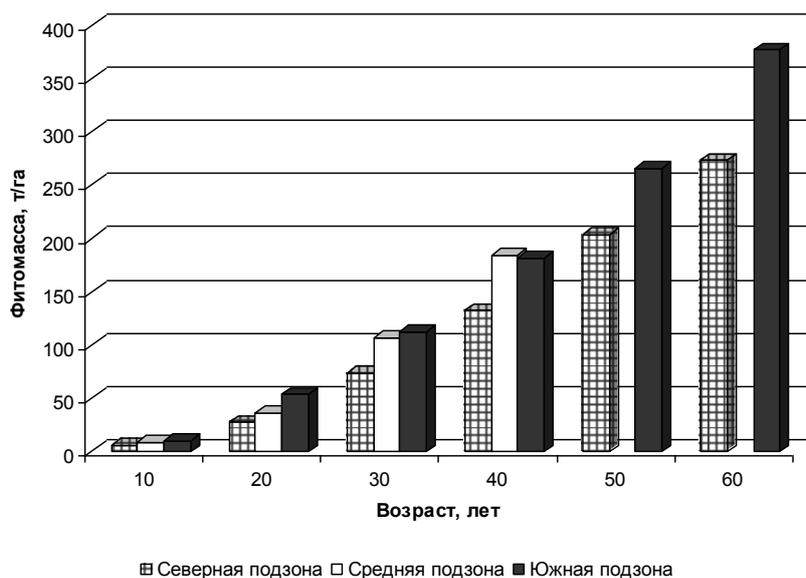


Рисунок 5 – Возрастное изменение запасов надземной фитомассы древостоя искусственных сосняков брусничных по подзонам тайги

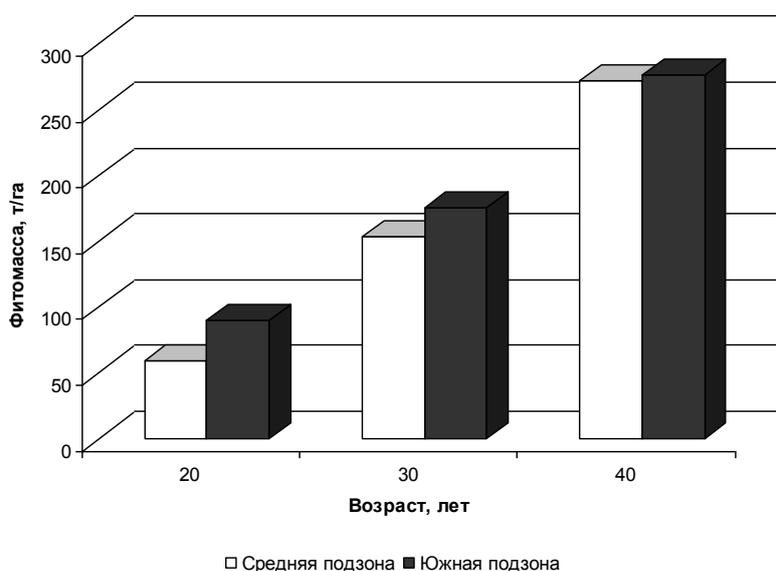


Рисунок 6 – Возрастное изменение запасов надземной фитомассы древостоя искусственных сосняков черничных по подзонам тайги

На основании проведённых исследований и обобщения литературы установлена закономерность изменения запасов надземной фито-массы древесного яруса сосновых насаждений искусственного происхождения по эколого-географическому градиенту в пределах Европейского Севера: при продвижении с юга на север на 1° по широте общий запас надземной фитомассы древостоя культурфитоценозов сосны обыкновенной в лишайниковом и брусничном типах условий местопроизрастания уменьшается на 4,5 и 5,3 т/га в свежесрубленном состоянии соответственно.

5.3. Биометрические параметры и возрастная структура ассимиляционного аппарата деревьев

Хвоя очень чувствительна к условиям окружающей среды (Правдин, 1964, Wood, 1972), что позволяет использовать её как критерий оценки лесорастительных условий (Надуткин, Модянов, 1972; Костин, Преснухин, Тумашевич, 1986; Феклистов, Бабич, 1990; Borgman, Schoettle, Angert, 2015), как индикатор загрязнения атмосферного воздуха (Торлопова, Робакидзе, 2003; Ballarin-Denti, Soccus, Di Girolamo, 1998), как показатель жизненного состояния конкретного дерева и насаждения в целом (Серебряков, 1962; Цветков, Никонов, 1985; Николаевский, 1989; Онучин, Спицына, 1995; Herrero, Zamora, 2014). Так, конкуренция деревьев приводит к уменьшению длины хвои (McDonald, Skinner, Fiddler, 1992; Houšková, Mauer, 2014), снижение социальной напряженности в насаждении за счёт рубок ухода увеличивает анализируемый показатель (Коновалов, Зарубина, 2010; Primicia et al., 2014). Это связано с зависимостью длины хвои от концентрации в почве элементов минерального питания (Helmisaari, 1992) и от освещённости (Ковалев, 1983; Ковалев, Антипина, 1984).

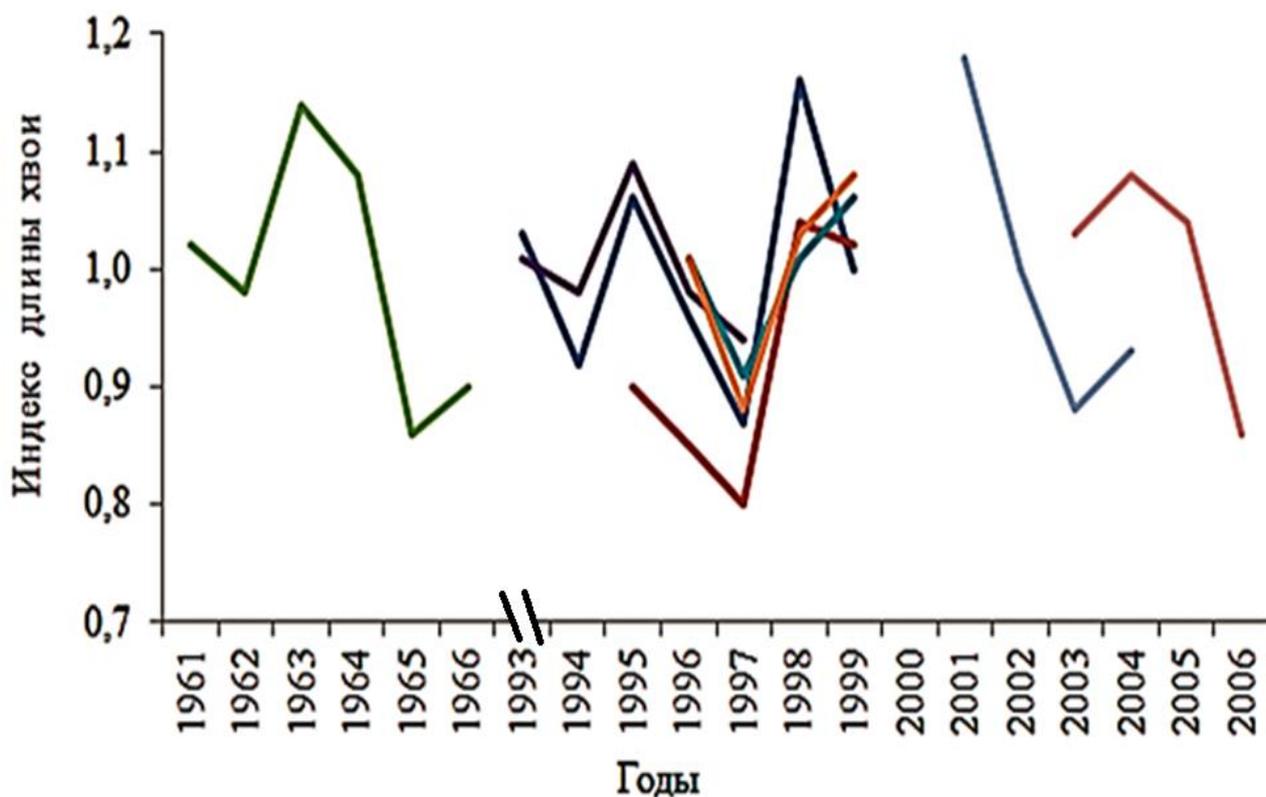
Для выявления сходства погодичной динамики длины хвои в различных экологических условиях нами (Тюкавина, Клевцов, Бабич, 2017) проведены исследования в сосновых культурфитоценозах 10-, 20-, 30- и 40-летнего возраста лишайникового, брусничного и черничного типов условий местопроизрастания Бабаевского лесничества. Для удаления эффектов от воздействия микроклиматических и эдафических факторов рассчитывали индексы длины хвои методом сглаживания с помощью 3–6-летнего (в зависимости от продолжительности жизни хвои) среднего. Для лет с синхронными аномально малыми и большими значениями длины хвои проводили выборки средних месячных значений солнечной активности за 24 месяца: накануне и в годы аномалий. Числа Вольфа, отражающие динамику солнечной активности, брали из базы данных Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН (Сайт ..., 2015).

В исследованных сосняках минимальные значения индекса длины хвои отмечены в 2006 году на всех пробных площадях независимо от возраста и лесорастительных условий (табл. 6). Отклонение от среднего составляло от 5 до 28 %. Наибольшие отклонения характерны для искусственных сосняков лишайниковых, наименьшие – в сосняках брусничных. Максимальные значения индекса длины хвои отмечены в 2004 году на 80 % пробных площадей независимо от возраста и экологических условий. При сопоставлении наших данных с литературными отмечается синхронность динамики длины хвои по годам независимо от условий произрастания, района произрастания, исследователя (рис. 7). Годы аномально высоких значений длины хвои в анализируемых рядах: 1963, 1998, 1999, 2001, 2004; годы аномально малых значений длины хвои в анализируемых рядах: 1965, 1994, 1997, 2003, 2006.

Следовательно, влияние на аномальные значения длины хвои оказывает глобальный фактор, являющийся равносильным как в южной, так и в северной тайге. Он не зависит от показателей микроклимата, возраста насаждения, конкурентных отношений в нём.

Таблица 6 – Динамика индекса длины хвои в зависимости от возраста насаждения и типа леса

Год развития хвои	Индекс длины хвои в искусственном сосняке возраста, лет									
	черничном		брусничном				лишайниковом			
	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
2006	0,84	0,89	0,88	0,93	0,81	0,95	0,72	0,88	0,75	0,88
2005	0,99	1,03	0,97	0,99	1,05	1,03	1,10	1,04	1,13	1,03
2004	1,11	1,05	1,08	1,08	1,05	1,06	1,18	1,09	1,12	1,05
2003	1,06	1,02	1,07	–	1,09	0,97	–	–	0,99	1,05



- Архангельское лесничество; сосняк кустарничково-сфагновый осушенный (Тюкавина, Клевцов, Бабич, 2017)
- Сыктывкарское лесничество; сосняк черничный (Торлопова, Робакидзе, 2003)
- Каджеромское лесничество; сосняк зеленомошный (Надуткин, Модянов, 1972)
- Емецкое лесничество; культуры сосны обыкновенной (Бабич, Мерзленко, Евдокимов, 2004)
- Культуры сосны обыкновенной северной подзоны тайги (Бабич, Мерзленко, Евдокимов, 2004)
- Культуры сосны обыкновенной средней подзоны тайги (Бабич, Мерзленко, Евдокимов, 2004)
- Вологодское лесничество; сосняк кисличный, культуры сосны обыкновенной (Бабич, Клевцов, Евдокимов, 2010)
- Бабаевское лесничество; культуры сосны обыкновенной (Бабич, Клевцов, Евдокимов, 2010)

Рисунок 7 – Динамика длины хвои сосны обыкновенной в различных районах произрастания в период с 1961 г. по 2006 г.

Проанализируем влияние солнечной активности, выражаемой числом Вольфа, на динамику длины хвои по годам. В сериях подобраны годы с синхронными аномально малыми и большими значениями. Для этих лет проведены выборки средних месячных значений солнечной активности. Более полное представление о значении фактора можно получить при их анализе за 24 месяца: накануне и в годы аномалий. Используем относительные значения длины хвои для совершенно разнородных объектов, числа Вольфа индексируем по анализируемым сериям лет (рис. 8).

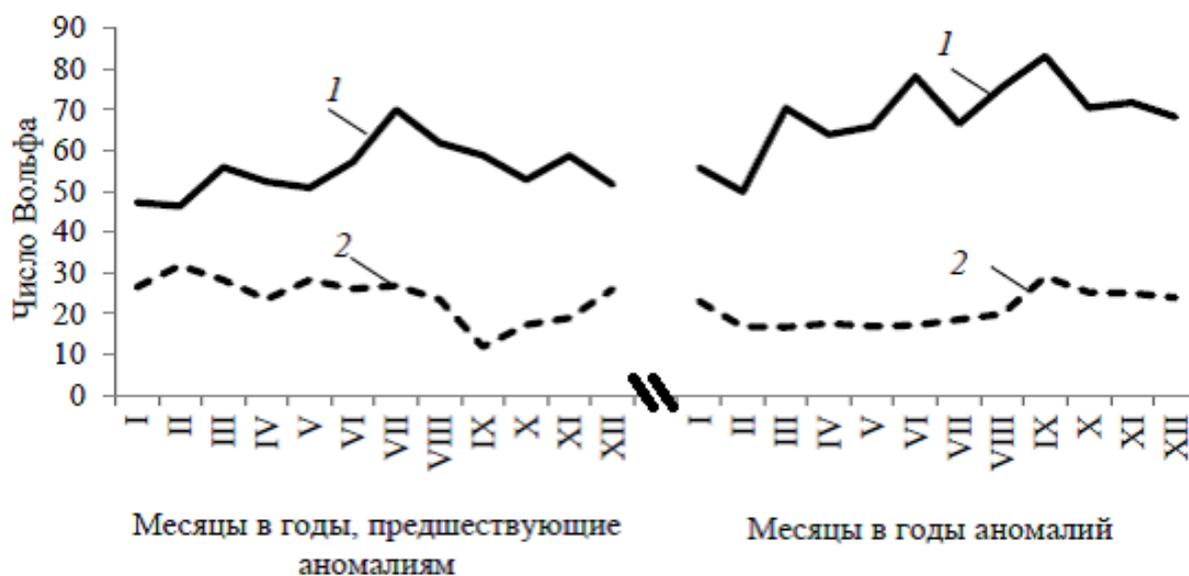


Рисунок 8 – Солнечная активность накануне и в годы максимальных (1) и минимальных (2) значений длины сосновой хвои

Графики (рис. 8) демонстрируют, что и в предшествующий год, и в год развития аномально больших значений длины хвои в серии отмечаются высокие значения чисел Вольфа, которые или равны средним в серии, или превышают средние значения в 1,7 раза. В годы аномально малых значений длины хвои в серии и в предшествующие им годы отмечаются малые значения чисел Вольфа (в 2–5 раз ниже средних в анализируемых сериях). Наибольшее различие между числами Вольфа характерно для лет формирования аномально длинной хвои и аномально короткой. Следовательно, солнечная активность оказывает наибольшее влияние на длину хвои в годы её формирования.

Наибольшие значения чисел Вольфа в годы формирования аномально длинной хвои отмечаются в марте, июне и сентябре. Однако рост хвои завершается в конце июля–начале августа (Феклистов, Бирюков, 2006). Следовательно, наибольшее влияние солнечная активность оказывает на длину хвои в марте (в период вынужденного покоя) и в июне (в период её активного роста).

Таким образом, можно констатировать, что годы формирования аномально длинной хвои сосны обыкновенной в исследованных насаждениях искусственного происхождения характеризуются повышенной солнечной активностью, годы формирования аномально короткой хвои – пониженной (относительно средних значений в серии исследуемых лет).

6. БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ДРЕВЕСНОГО ЯРУСА СОСНОВЫХ КУЛЬТУРФИТОЦЕНОЗОВ

6.1. Биоресурсы надземной фитомассы древесного яруса сосняков искусственного происхождения

В ходе проведения полевых исследований заложены пробные площади с целью выявления возрастной динамики запасов и дифференциации надземной фитомассы древесного яруса искусственных сосняков в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания. Исходные данные соотношения элементов надземной фитомассы модельных деревьев сосны обыкновенной обработаны с применением методов регрессионного анализа. В результате чего получены пофракционные запасы фитомассы древесного яруса сосновых культурфитоценозов. Полученные запасы фитомассы выравнены аналитически по возрастным рядам в пределах каждого из упомянутых типов лесорастительных условий. При моделировании динамики формирования запасов надземной фитомассы древесного яруса сосновых культурфитоценозов в качестве аргумента в уравнениях использован возраст насаждений. На основе полученных данных нами (Бабич, Клевцов, Евдокимов, 2010) обоснованы модели, описывающие динамику формирования запасов надземной фитомассы древесного яруса искусственных сосняков (табл. 7).

Сосняки черничные искусственного происхождения Балтийско-Белозерского таёжного района в древесном ярусе к 40 годам формируют на 96 т/га больше надземной фитомассы в свежесрубленном состоянии по сравнению с сосняками брусничными и на 210 т/га – по сравнению с сосняками в лишайниковом типе условий местопроизрастания. В 40-летнем возрасте запасы нетрадиционного сырья (сухие сучья, ветви, древесная зелень, кора) составляет от 29 т/га в лишайниковом типе леса до 71 т/га в сосняке черничном.

Древесина аккумулирует основную часть надземной фитомассы исследованных сосняков – 37...75 %. С возрастом доля этой фракции в общей фитомассе древесного яруса увеличивается. Например, в 20-летнем сосняке черничном масса древесины составляет 59 % от общей фитомассы древесного яруса, в 30-летнем – 67 % и в 40-летнем – 75 %. Подобная закономерность наблюдается в сосновых культурфитоценозах других исследованных типов леса. В искусственных сосняках I–III классов возраста второй по массе фракцией после древесины является древесная зелень. В 40-летнем возрасте её запас в зависимости от типа леса составляет 13...25 т/га. Процент массы древесной зелени с возрастом снижается. Например, на древесную зелень 10-летних искусственных ценозов сосны обыкновенной в лишайниковом типе условий местопроизрастания приходится 33 % от общей надземной фитомассы, а в 60-летних – всего 10 %.

Обратная картина наблюдается при формировании запасов сухих сучьев. Например, в культурах сосны обыкновенной, произрастающих в лесорастительных условиях брусничного типа, процент массы сухих сучьев с возрастом увеличивается с 0,9 % в 10 лет до 3,9 % к 30 годам, а затем к 60-летнему воз-

расту процент массы этой фракции снижается до 0,8 %. Аналогичная картина наблюдается и в культурфитоценозах черничного типа условий местопроизрастания. Подобна тенденция, но несколько другой возрастной диапазон, характерны для сосняков лишайниковых искусственного происхождения. Здесь процент массы сухих сучьев возрастает до 40-летнего возраста (с 1,1 % в 10 лет до 3,5 % к 40 годам), а затем снижается до 3,1 % в 60 лет. Подобную закономерность формирования запасов сухих сучьев в сосновых культурфитоценозах северной и средней подзон тайги отмечают Н.А. Бабич, М.Д. Мерзленко (1998), указывая, что происходит постепенное накопление сухих сучьев, максимального значения этот показатель достигает при запасе древесины 160–200 м³/га, затем процесс очищения стволов от сухих сучье происходит более интенсивно.

Таблица 7 – Динамика формирования надземной фитомассы древесного яруса сосновых культурфитоценозов Балтийско-Белозерского таёжного района

Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Компоненты фитомассы в свежесрубленном состоянии, т/га					
				сухие сучья	ветви	древесная зелень	кора ствола	древесина ствола	итого
<i>Лишайниковый тип лесорастительных условий</i>									
10	–	1,9	8	0,13	1,13	4,03	0,97	6,03	12,29
15	–	2,7	10	0,30	1,79	5,69	1,78	8,22	17,78
20	2,9	3,4	13	0,55	2,49	7,27	2,74	11,20	24,25
25	3,5	4,1	18	0,89	3,21	8,79	3,83	15,27	31,99
30	4,2	4,8	24	1,30	3,95	10,27	5,03	20,81	41,36
35	4,8	5,4	32	1,80	4,71	11,71	6,34	28,36	52,92
40	5,5	6,1	42	2,39	5,49	13,11	7,74	38,66	67,39
45	6,1	6,7	56	3,06	6,28	14,49	9,23	52,69	85,75
50	6,8	7,3	74	3,82	7,08	15,85	10,81	71,82	109,38
55	7,4	7,9	99	4,67	7,90	17,19	12,47	97,89	140,12
60	8,0	8,5	135	5,61	8,72	18,51	14,20	133,43	180,47
<i>Брусничный тип лесорастительных условий</i>									
10	–	1,1	7	0,09	1,19	2,08	0,15	5,48	9,80
15	3,7	3,6	17	1,26	2,17	7,76	4,50	13,68	29,37
20	4,7	5,7	32	2,41	5,20	12,21	7,80	26,20	53,82
25	5,7	7,5	52	3,48	8,71	15,59	10,36	43,37	81,51
30	6,5	9,1	78	4,40	11,60	18,07	12,45	65,47	111,99
35	7,4	10,4	108	5,11	13,28	19,81	14,22	92,73	145,15
40	8,3	11,6	145	5,53	13,64	20,98	15,75	125,37	181,27
45	9,1	12,6	187	5,59	13,05	21,72	17,10	163,58	221,04
50	9,9	13,4	235	5,24	12,39	22,22	18,31	207,53	265,69
55	10,7	14,1	288	4,40	13,01	22,62	19,40	257,37	316,80
60	11,5	14,7	348	3,01	16,76	23,10	20,40	313,26	376,53
<i>Черничный тип лесорастительных условий</i>									
20	5,3	6,1	65	1,75	11,10	15,69	8,26	53,45	90,25
25	8,0	8,9	96	5,75	13,91	18,31	10,80	82,60	131,37
30	10,1	11,3	133	7,41	16,72	20,78	13,44	117,88	176,23
35	11,7	13,2	174	6,73	19,55	23,13	16,18	159,23	224,82
40	12,6	14,9	220	3,72	22,37	25,38	18,99	206,61	277,07

6.2. Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы сосновых культурфитоценозов

6.2.1. Оценка теплотворной способности компонентов надземной фитомассы древесного яруса искусственных сосняков

Теплотворная способность растений является важным параметром для оценки и индексации материальных циклов и преобразования энергии в лесных экосистемах (Zeng, Tang, Xiao, 2014). Теплотворная способность является качественной характеристикой древесины как топлива (Адамов, 2011). Древесное биотопливо находит всё более широкое применение при производстве тепловой энергии (Ермоченков, Евстигнеев, 2017). Спрос на древесные брикеты и пеллеты увеличивается (Адамов, 2011; Gravalos et al., 2010; Janssen et al., 2002). Кроме того, биотопливо по сравнению с традиционными видами топлива более экологично (Obernberger, Thek, 2004; Petersen, Raymer, 2006; Ravindranath et al., 2006), так как при его использовании отсутствуют серные окислы, снижаются выбросы сажи (Орсик и др., 2008).

Исследования проведены на территории таёжной лесорастительной зоны в северо-таёжном лесном районе европейской части России (Емецкое лесничество Архангельской области). Объектами наблюдений являлись чистые по составу или с незначительной примесью берёзы, идентичные по способу создания участки культур сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания, где имеются существенные отличия в продуктивности древостоев. Таксационная характеристика исследованных искусственных сосняков представлена в диссертации.

На каждой пробной площади отбирали в трёхкратной повторности мелкое, среднее и крупное модельные деревья, избегая значительных отклонений по развитию крон, повреждений стволов, признаков усыхания и т.п. У модельных деревьев от каждого элемента надземной фитомассы отбирали образцы. Теплотворную способность древесины и других компонентов надземной фитомассы устанавливали при помощи автоматизированного бомбового калориметра АБК -1В. Поскольку с повышением влажности теплотворная способность материала значительно уменьшается (Orémusová, Tereňová, Réh, 2014), то опыты по её определению проводили в абсолютно сухом состоянии исследуемых образцов. Все пробы фракций надземной фитомассы высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С в открытых алюминиевых бьюксах.

В результате лабораторных калориметрических исследований теплотворной способности элементов надземной фитомассы деревьев сосны обыкновенной древесного яруса искусственных сосняков можно отметить, что наибольшую теплотворность имеет древесная зелень во всех анализируемых типах эколого-ценотических условий произрастания культурфитоценозов (табл. 8).

Древесная зелень является нормированным технологический ресурсом. Согласно ГОСТ 21769-84 древесная зелень хвойных пород представляет собой охвоённые ветви с диаметром у основания не более 0,8 см, заготавливаемые со

свежесрубленных деревьев. Наибольший процент состава древесной зелени имеет хвоя, которая обуславливает высокую её теплотворную способность по сравнению с другими элементами надземной фитомассы. Так, для Архангельской области соотношение хвои и побегов в древесной зелени составляет 70 и 30% соответственно (Бабич, Мерзленко, 1998); в условиях Республики Коми – 73 и 27% (Бобкова и др., 1986); в Республике Карелии – 67 и 33% (Казимиров, Преснухин, Смелягина, 1977; Зябченко, 1984).

Таблица 8 – Теплотворность элементов надземной фитомассы сосны обыкновенной исследованных культурфитоценозов, Дж/г

Тип леса	Номер пробной площади	Компоненты фитомассы				
		древесина ствола	кора ствола	древесная зелень	ветви	сухие сучья
Сосняк лишайниковый	1	21461,85	21342,22	22429,82	21233,10	20960,29
	2	20730,82	21123,77	21999,46	21108,75	21302,97
	среднее	21096,34	21233,0	22214,64	21170,93	21131,63
Сосняк брусничный	3	20784,70	21568,47	22037,65	20916,72	20857,45
	4	20551,34	21330,17	21440,32	21464,21	22855,14
	5	20473,34	21376,78	22111,59	20762,13	21252,07
	6	20661,96	21281,69	21417,46	21121,58	21424,56
	среднее	20617,83	21389,28	21751,75	21066,16	21597,30
Сосняк черничный	7	20541,82	21489,08	21932,34	21107,92	20593,88
	8	20483,10	20923,08	22246,06	21481,13	20778,93
	среднее	20512,46	21206,09	22089,20	21294,535	20686,41

Высокую теплотворность хвои по сравнению с другими компонентами фитомассы отмечают исследователи в разных регионах нашей страны (Н.П. Курбатский, 1962; А.А. Молчанов, 1971; Н.И. Казимиров и др., 1977; Н.А. Бабич и др., 2010). Например, по данным А.А. Молчанова (1971), теплотворная способность хвои сосны составляет 5210 ккал/кг, древесины этой же породы – 4921 ккал/кг.

Теплотворная способность таких элементов надземной фитомассы как ветви, сухие сучья и стволовая кора по сравнению с древесной зеленью несколько ниже. Однако эти компоненты фитомассы, как возобновляемый ресурс, нельзя недооценивать в виде технологического сырья для нужд лесной биоэнергетики.

6.2.2. Структурный анализ энергетического потенциала сосновых культурфитоценозов

Оценка работы фотоавтотрофного компонента биогеоценозов в весовых характеристиках образованной биомассы недостаточна для суждения об эффективности созидательной деятельности первого трофического уровня биоценозов. Специальным комитетом Международной биологической программы рекомендовано количественные данные о биомассе и приростах выражать в коли-

честве запасаемой в ней энергии (Дадыкин, Кононенко, 1975). Растительную биомассу принято считать «благородным» источником энергии, в этой связи мировая научная общественность рассматривает её как перспективный энергетический ресурс (Писаренко, Страхов, 2006; Berndes, Hansson, 2007; Björheden, 2006; Sandström et al., 2007; Ximenes et al., 2012). Поскольку фитомасса и продукты её биодegradации при сгорании рассматриваются как часть природного карбонового цикла, образуемый при энергетическом использовании из биотоплива углекислый газ не относится к «парниковым газам».

При изучении степени использования солнечной энергии культурфитоценозами сосны обыкновенной ставилась задача выявить количество тепловой энергии, заключённой в их надземной фитомассе. Пофракционные запасы надземной фитомассы древесного яруса культур сосны обыкновенной получены в результате проведённых полевых исследований в Балтийско-Белозерском лесном районе. Размеры аккумулированной солнечной энергии в фитомассе искусственных сосняков рассчитывали исходя из калорийности и количества органики, формируемой культурами за период их жизни. Теплотворную способность элементов надземной фитомассы получали, используя данные экспериментальных исследований с применением калориметрического метода (Курбатский, 1962; Молчанов, 1971; Дадыкин, Кононенко, 1975; Казимиров и др. 1977). При этом выводили средние величины, которые для хвои, древесины, коры и ветвей составили 5195, 4903, 4842 и 4959 ккал/кг соответственно.

Произведённые расчёты показали, что количество энергии, аккумулированной надземной фитомассой деревьев сосны обыкновенной древесного яруса исследованных искусственных сосняков в форме химических связей органических соединений, колеблется по типам лесорастительных условий в значительных пределах и связано с их производительностью (табл. 9).

Изменение биоэнергетической продуктивности исследованных культурфитоценозов, на наш взгляд, объясняется эколого-ценотическими условиями их произрастания. Для выявления влияния типа лесорастительных условий на биоэнергетическую продуктивность сосновых ценозов искусственного происхождения выполнен сравнительный анализ исследуемых объектов одинакового возрастного состояния (30 лет). В результате проведённой оценки можно отметить, что наименьшее количество аккумулированной древостоем 30-летних сосновых культурфитоценозов энергии наблюдается в лишайниковом типе условий местопроизрастания (443,1 ГДж/га), наибольшее – в черничном (1915,1 ГДж/га). В искусственно созданном сосняке брусничном биоэнергетическая продуктивность характеризуется промежуточным положением (1210,7 ГДж/га).

Структура аккумулированной компонентами надземной фитомассы энергии исследованных сосновых насаждений искусственного происхождения обусловлена разными эколого-ценотическими условиями их произрастания. Наибольшей относительной величины аккумулированная энергия достигает в таком компоненте надземной фитомассы как древесина ствола. По данной фракции изменение наблюдается от 50,2 % в лишайниковом типе условий местопроизрастания до 65,8 % – в черничном от общего запаса надземной фитомассы древесного яруса исследованных культурфитоценозов.

Таблица 9 – Динамика аккумуляции энергии компонентами надземной фитомассы древостоя искусственных сосняков в разных лесорастительных условиях, ГДж/га

Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Фракции фитомассы					
				сухие сучья	ветви	древесная зелень	кора ствола	древесина ствола	итого
<i>Лишайниковый тип лесорастительных условий</i>									
10	–	1,9	8	<u>2,35</u> 1,8*	<u>11,50</u> 8,9	<u>41,23</u> 31,8	<u>10,04</u> 7,8	<u>64,42</u> 49,7	<u>129,54</u> 100
20	2,9	3,4	13	<u>9,94</u> 3,9	<u>25,35</u> 9,8	<u>74,38</u> 28,9	<u>28,35</u> 11,0	<u>119,65</u> 46,4	<u>257,67</u> 100
30	4,2	4,8	24	<u>23,50</u> 5,3	<u>40,22</u> 9,1	<u>105,07</u> 23,7	<u>52,04</u> 11,7	<u>222,31</u> 50,2	<u>443,14</u> 100
40	5,5	6,1	42	<u>43,20</u> 5,9	<u>55,90</u> 7,7	<u>134,12</u> 18,5	<u>80,08</u> 11,0	<u>412,99</u> 56,9	<u>726,29</u> 100
50	6,8	7,3	74	<u>69,05</u> 5,8	<u>72,08</u> 6,1	<u>162,15</u> 13,7	<u>111,85</u> 9,5	<u>767,23</u> 64,9	<u>1182,36</u> 100
60	8,0	8,5	135	<u>101,41</u> 5,2	<u>88,78</u> 4,6	<u>189,37</u> 9,7	<u>146,93</u> 7,5	<u>1425,39</u> 73,0	<u>1951,88</u> 100
<i>Брусничный тип лесорастительных условий</i>									
10	–	1,1	7	<u>1,63</u> 1,7	<u>12,12</u> 12,7	<u>21,28</u> 22,4	<u>1,55</u> 1,6	<u>58,54</u> 61,5	<u>95,12</u> 100
20	4,7	5,7	32	<u>43,57</u> 7,5	<u>52,94</u> 9,1	<u>124,91</u> 21,4	<u>80,71</u> 13,9	<u>279,89</u> 48,1	<u>582,02</u> 100
30	6,5	9,1	78	<u>79,54</u> 6,5	<u>118,10</u> 9,8	<u>184,87</u> 15,3	<u>128,82</u> 10,6	<u>699,39</u> 57,8	<u>1210,72</u> 100
40	8,3	11,6	145	<u>99,97</u> 5,1	<u>138,87</u> 7,1	<u>214,64</u> 11,0	<u>162,96</u> 8,3	<u>1339,28</u> 68,5	<u>1955,72</u> 100
50	9,9	13,4	235	<u>94,72</u> 3,3	<u>126,15</u> 4,4	<u>227,32</u> 8,0	<u>189,45</u> 6,6	<u>2216,97</u> 77,7	<u>2854,61</u> 100
60	11,5	14,7	348	<u>54,41</u> 1,3	<u>170,64</u> 4,2	<u>236,32</u> 5,9	<u>211,08</u> 5,3	<u>3346,45</u> 83,3	<u>4018,90</u> 100
<i>Черничный тип лесорастительных условий</i>									
20	5,3	6,1	65	<u>31,63</u> 3,3	<u>113,01</u> 11,7	<u>160,52</u> 16,7	<u>85,47</u> 8,9	<u>570,99</u> 59,4	<u>961,62</u> 100
30	10,1	11,3	133	<u>133,95</u> 7,0	<u>170,23</u> 8,9	<u>212,59</u> 11,1	<u>139,06</u> 7,2	<u>1259,27</u> 65,8	<u>1915,10</u> 100
40	12,6	14,9	220	<u>67,25</u> 2,3	<u>227,76</u> 7,7	<u>256,65</u> 8,7	<u>196,49</u> 6,6	<u>2207,14</u> 74,7	<u>2955,29</u> 100

* в знаменателе приведено процентное выражение показателя аккумуляции энергии

Второстепенное положение по относительной энергетической продуктивности занимает древесная зелень. Доля аккумулированной энергии по данной фракции надземной фитомассы уменьшается от наименее продуктивного

сосняка лишайникового (23,7 %) к более производительному сосняку черничному (11,1 %). Такое распределение биоэнергетических запасов в древостоях исследуемых сосняков объясняется общими закономерностями продуцирования органики в разных экологических условиях, когда ассимиляционный аппарат и скелетная часть деревьев меняют пропорции в связи с бонитетом.

Примерно в равном соотношении депонируют энергию в исследованных типах сосняков искусственного происхождения фракции кора и живые ветви (7,2–11,7 %). Наименьшая доля аккумулированной древесным ярусом сосновых культурфитоценозов энергии по всем типам условий местопроизрастания приходится на фракцию сухих сучьев (5,3–7,0 %).

6.3. Экологический (углерододепонирующий) потенциал фитомассы искусственных сосновых насаждений

В последние десятилетия мировое научное сообщество уделяет большое внимание экологической проблеме углерододепонирующей способности лесов (Cerny et al., 2020; Khan et al., 2020; Pohjola, Valsta, 2007; Williams et al., 2005). При оценке углерододепонирующей функции лесов широко используется биологическая продуктивность (Hunt, Gordon, Morris, 2010; Kolari P., Rannik J., Rannik Ü., 2004; Mälikönen, 1974; Muukkonen et al., 2006; Shanin, Komarov, Mäkipää, 2014; Stinson et al., 2011). Бореальные леса занимают существенное положение в стабилизации биосферных климатических процессов и ослаблении «парникового эффекта», поскольку им свойственны медленные темпы биогенной миграции углерода от связывания при фотосинтезе до растянутого во времени возврата в атмосферу при разложении мёртвой органики.

На глобальном уровне всё острее встают вопросы относительно прогнозирования экологической ситуации, что обуславливается сложившейся нехваткой данных о запасах, структуре и динамике фитомассы лесной растительности, использовании не унифицированных методов наблюдения (Усольцев, Залесов, 2005). Проблемы адекватности моделей потоков углерода затрудняют оценку роли лесов в глобальном углеродном балансе (Усольцев, 2001). Необходима точная оценка количества углерода, хранящегося в различных типах лесов (Lamlom, Savidge, 2003; Malmsheimer et al., 2011).

Актуальность исследования компонентов фитомассы лесных насаждений наряду с прикладными аспектами изучения данной проблемы обусловлена международными соглашениями в природоохранной сфере, в которых участвует Россия. Принятые нашей страной обязательства по данным соглашениям обуславливают необходимость определения существующих запасов, а также оценки величины накопления углерода в лесах (Осипов, 2012).

Для России, располагающей 22 % площади планетарных лесов, оценка углерододепонирующей роли лесного покрова особенно актуальна (Усольцев, Залесов, 2005). Это может обеспечить высокие экологические и экономические выгоды, поскольку удельные затраты на сокращение 1 т выбросов CO₂ в России на два порядка ниже, чем в США и Японии (Ануфриев, 2004). С другой сторо-

ны, на Россию приходится 70 % девственных лесов северного полушария, и именно девственные леса России (а не сельвакультура, т.е. искусственные леса, которыми покрыта вся Западная Европа) представляют собой ценность, превышающую ценность российских минерально-сырьевых ресурсов (Кондратьев и др., 2002).

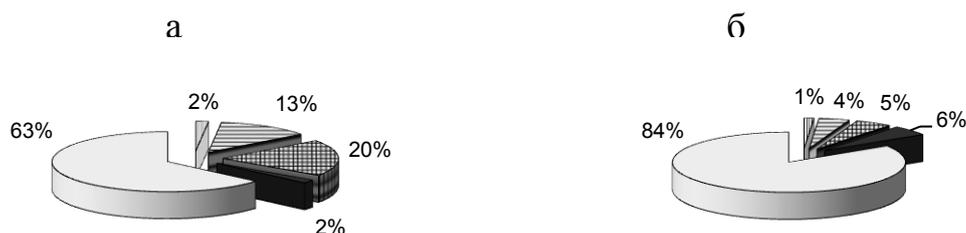
Углеродные пулы древесного яруса искусственных сосняков исследованы нами (Бабич, Клевцов, Евдокимов, 2010) в разных эколого-фитоценологических условиях. В результате проведённых полевых исследований получены пофракционные запасы надземной фитомассы древесного яруса культурфитоценозов сосны обыкновенной в Балтийско-Белозерском лесном районе. Величину депонированного углерода в надземной части искусственных сосняков рассчитывали по запасам фракций фитомассы исходя из того, что в 1 кг абсолютно сухой массы сухих сучьев, ветвей, коры и древесины содержится 0,5 кг углерода, а в 1 кг абсолютно сухой массы древесной зелени – 0,45 кг (Кобак, 1988; Исаев и др., 1993; Алексеев, Бердси, 1994). Содержание сухого вещества в сухих сучьях, ветвях, древесной зелени, коре и древесине принимали в среднем 87, 49, 47, 51 и 52 % соответственно (Бабич и др., 2004). Вычисленная величина связанного углерода фракциями надземной фитомассы исследованных искусственных сосновых насаждений в Балтийско-Белозерском лесном районе в развёрнутом виде приведена в диссертации.

Структура углеродного пула, связанного фракциями фитомассы изученных искусственных сосняков в разных типах условий местопроизрастания, представлена на рис. 9–11. В культурфитоценозах сосны обыкновенной всех возрастов и типов леса наибольшая доля депонирования углерода приходится на древесину ствола – 52...84 %. С возрастом доля углерода, депонированного этой фракцией древесного яруса культур сосны, увеличивается. Например, в 10-летнем сосняке лишайниковом (рис. 9) доля углерода древесины ствола составляет 52 % от общих запасов углерода, а в 60-летнем – 74 %. Подобная закономерность наблюдается и в сосняках других типов леса. К схожим выводам приходят А.И. Уткин с соавторами (1997) при исследовании запасов углерода в сосновых насаждениях естественного происхождения Вологодской области отмечая, что светолюбие сосны, следствием которого является хорошее очищение стволов от сучьев, обуславливает стволам и корням приоритетность в накоплении углерода, при незначительном соучастии в этом процессе крон деревьев.

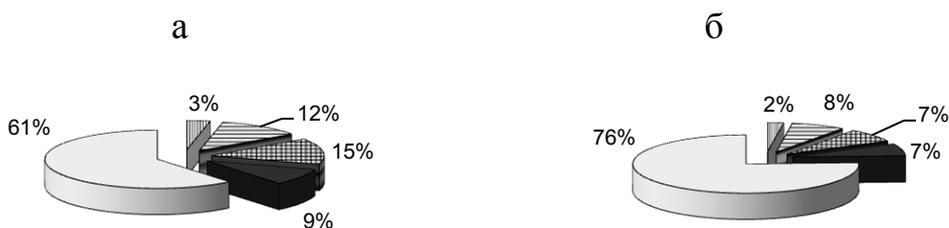
В культурах сосны I–III классов возраста второй по величине депонирования углерода фракцией после древесины является древесная зелень. Доля депонирования углерода древесной зеленью уменьшается с увеличением возраста культур сосны обыкновенной. Например, на древесную зелень 10-летнего искусственного сосняка в брусничном типе условий местопроизрастания (рис. 10) приходится 20 % от всего связанного углерода, а в 60-летнем насаждении того же типа леса – всего 5 %. Такие фракции фитомассы исследованных сосновых культурфитоценозов, как кора и ветви депонируют углерод во всех типах условий местопроизрастания примерно в равных частях. Наименьшая доля депонирования углерода в культурах всех возрастов и типов леса приходится на сухие сучья и составляет 1...5 %.



– сухие сучья – ветви – древесная зелень – кора – древесина
 Рисунок 9 – Структура депонирования углерода фракциями фитомассы в 10-летних (а) и 60-летних (б) искусственных сосняках лишайниковых



– сухие сучья – ветви – древесная зелень – кора – древесина
 Рисунок 10 – Структура депонирования углерода фракциями фитомассы в 10-летних (а) и 60-летних (б) искусственных сосняках брусничных



– сухие сучья – ветви – древесная зелень – кора – древесина
 Рисунок 11 – Структура депонирования углерода фракциями фитомассы в 20-летних (а) и 40-летних (б) искусственных сосняках черничных

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации представлены 17-летние теоретические, экспедиционные и лабораторные исследования экосистемного процесса накопления и дифференциации надземной фитомассы и определения биологического потенциала древесного яруса сосновых насаждений искусственного происхождения в разных эколого-географических условиях таёжной лесорастительной зоны Европейского Севера.

На основании проведённых исследований получены следующие **результаты, имеющие теоретическое значение:**

При продвижении с севера на юг основные дендрометрические характеристики изученных искусственных сосновых культурфитоценозов возрастают. Как по широтному, так и по лесотипологическому градиенту прослеживается схожая динамика формирования исследованных древостоев, созданных методом посева сосны обыкновенной. В 65-летнем возрасте в менее продуктивном лишайниковом типе лесорастительных условий сохраняется примерно в 3 раза больше деревьев, чем в более производительном черничном типе условий произрастания. Предположительно, в более продуктивном черничном типе леса скорость физиологических процессов выше, а поэтому и отпад происходит более интенсивно.

Между таксационным диаметром и фракциями надземной фитомассы древесного яруса исследованных сосняков искусственного происхождения существует довольно тесная корреляционная связь. Теснота связи характеризуется как высокая и очень высокая. Более стабильные и высокие показатели имеет зависимость между диаметром деревьев и массой стволовой древесины.

На долю стволовой древесины приходится основной запас надземной фитомассы искусственных сосняков – 37...76 %. Не зависимо от географического и эколого-ценотического положения объектов исследования наблюдается общая закономерность увеличения с возрастом доли данной фракции в общей надземной фитомассе насаждения.

При продвижении с юга на север на 1° по широте общий запас надземной фитомассы древостоя культурфитоценозов сосны обыкновенной в лишайниковом и брусничном типах условий местопроизрастания уменьшается на 4,5 и 5,3 т/га в свежесрубленном состоянии соответственно.

В 40-летних культурфитоценозах сосны обыкновенной, произрастающих в различных типах лесорастительных условий Балтийско-Белозерского таёжного района, средняя долговечность хвои сосны обыкновенной, определённая нами по данным модельных деревьев, в менее продуктивном искусственном сосняке лишайниковом составляет 4,1 лет, а в более продуктивных сосняках брусничном и черничном 3,6 и 3,9 лет соответственно.

В абсолютном большинстве случаев наблюдается уменьшение биометрических параметров хвои сосны обыкновенной (длины, ширины и толщины) исследованных культурфитоценозов от верхней части кроны к нижней. Также наблюдается взаимосвязь линейных размеров средней хвоинки с лесорастительными условиями искусственных сосняков. Наибольших биометрических параметров хвоя достигает в сосняке черничном искусственного происхождения.

Выявлена возрастная динамика запасов и дифференциации надземной фитомассы древесного яруса искусственных сосняков в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания.

Наибольшей относительной величины энергоаккумуляционный потенциал достигает в таком компоненте надземной фитомассы как древесина ствола. По данной фракции изменение наблюдается от 50,2 % в лишайниковом типе

условий местопроизрастания до 65,8 % – в черничном от общего запаса надземной фитомассы древесного яруса исследованных культурфитоценозов.

Лесорастительные условия, в которых произрастают исследованные искусственные сосновые насаждения, влияют на величину депонирования углерода фракциями надземной фитомассы. Пулы углерода в искусственных сосняках черничных максимальны, по сравнению с брусничными и лишайниковыми типами леса.

В искусственных сосновых насаждениях всех возрастов и типов леса наибольшая доля депонирования углерода приходится на древесину ствола – 53...85 %. С возрастом доля углерода, депонированного этой фракцией древесного яруса культур сосны обыкновенной, увеличивается.

Рекомендации по использованию научных выводов. Древесные растения, являясь первичными продуцентами и взаимодействуя с другими компонентами, образуют сложные растительные сообщества, и в силу своих биологических особенностей и большой продолжительности жизни обладают способностью накапливать существенные запасы органики. Сведения по биомассе лесных сообществ, её структуре, запасах, приросте и особенно динамике, необходимы не только для оценки ресурсов и разработки хозяйственных основ формирования продуктивных и устойчивых насаждений, но и при моделировании лесных пожаров; оценке различного рода воздействий на лес; разработки системы экологического мониторинга.

Полученные в ходе представленного исследования научные выводы целесообразно учитывать в следующих направлениях:

Обоснованные модели динамики формирования запасов надземной фитомассы древесного яруса искусственных сосновых ценозов и составленные таблицы её ресурсов являются теоретической базой учёта традиционно не используемых компонентов леса, могут служить научной основой рационального и устойчивого лесопользования.

Данные по углеродному пулу в искусственных насаждениях сосны обыкновенной целесообразно учитывать при расчётах углеродного бюджета лесных экосистем, а также при реализации природоохранных проектов и исследований. Представленные данные по содержанию углерода в культурах сосны обыкновенной можно использовать для формирования банка данных о запасах углерода в фитомассе лесов, что необходимо в качестве исходной основы для успешной разработки современных экологических программ.

Составленная сводка биоэнергетической продуктивности компонентов надземной фитомассы древесного яруса искусственных сосновых ценозов в разных лесорастительных условиях вносит вклад в решение научной проблемы повышения комплексной продуктивности лесов и может быть применена для повышения эффективности ведения лесного хозяйства, а также служить исходным материалом при составлении перспективных планов развития «Зелёной энергетики».

Полученные данные по теплотворной способности компонентов фитомассы могут быть использованы при разработке теоретических основ тушения лесных верховых пожаров, т.к. важно знать запасы горючих материалов в поло-

ге древостоя. Эти данные необходимы для обоснования правильности выбора дозы огнегасящих материалов (химических средств) и видов их при тушении, а также при разработке и обосновании комплекса необходимых профилактических противопожарных мероприятий. Размещение противопожарных водоёмов необходимо проводить с учётом разных запасов энергии в культурфитоценозах. Также, при совершенствовании схемы противопожарного районирования целесообразно учитывать запасы тепловой энергии.

Дальнейшие исследования биоэнергетического потенциала лесных насаждений должны также ориентироваться на определение процента возможного объёма изъятия фитомассы лесных биоресурсов без значимого экологического ущерба лесным экосистемам, т.е. без истощения плодородия лесных почв и, соответственно, без понижения продуктивности лесных насаждений.

В целом можно заключить, что представленная диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается обоснованной программой и методикой проведения исследований, адекватной интерпретацией анализируемых данных и согласованностью выводов с поставленной целью и задачами исследования.

Представленное исследование в перспективе целесообразно расширять и дополнять сведениями не только о древостое, но и о других компонентах лесного биогеоценоза (живой напочвенный покров, подрост, подлесок, почвы). Отмеченные компоненты в пределах региона наблюдений исследованы слабо, вместе с тем данные по ним (совместно со сведениями по древесному ярусу) необходимы для более полного и комплексного суждения о циклах и потоках вещества, энергии и информации в лесных экосистемах.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Бабич, Н.А. Запасы энергии в культурах сосны / Н.А. Бабич, **Д.Н. Клевцов** // Лесной вестник. – 2012. – № 1. – С. 38–42.
2. Бабич, Н.А. Возрастное изменение показателей надземной фитомассы культур сосны северной подзоны тайги / Н.А. Бабич, Е.Д. Гельфанд, В.И. Мелехов, **Д.Н. Клевцов** // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2012. – № 2. – С. 50–52.
3. Феклистов, П.А. Зависимость фитомассы деревьев сосны от диаметра в сосняках черничных / П.А. Феклистов, Ф.А. Кунников, **Д.Н. Клевцов**, Е.П. Хабарова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 91–99.
4. Феклистов, П.А. Продуктивность сосняков северной подзоны тайги Архангельской области / П.А. Феклистов, **Д.Н. Клевцов**, Ф.А. Кунников // Лесной вестник. – 2015. – № 2. – С. 34–38.
5. Феклистов, П.А. Динамика продуктивности сосновых древостоев разного происхождения / П.А. Феклистов, **Д.Н. Клевцов**, Ф.А. Кунников, Е.П. Хабарова, И.Б.

Амосова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2015. – № 4. – С. 55–60.

6. Тюкавина, О.Н. Черты сходства динамики длины хвои по годам роста сосны обыкновенной в различных условиях произрастания / О.Н. Тюкавина, **Д.Н. Клевцов**, Н.А. Бабич // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2017. – № 1. – С. 73–85.

7. **Клевцов, Д.Н.** Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной таёжной зоны / Д.Н. Клевцов, О.Н. Тюкавина, Д.М. Адаи // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 4. – С. 49–55.

8. Тюкавина, О.Н. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северотаёжного лесного района / О.Н. Тюкавина, **Д.Н. Клевцов**, И.Н. Болотов, Б.Ю. Филиппов, Д.М. Адаи // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 6. – С. 101–108.

9. **Клевцов, Д.Н.** Углерододепонирующая способность надземной фитомассы культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) среднетаёжного лесного района / Д.Н. Клевцов, О.Н. Тюкавина // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 6. – С. 221–224.

10. **Клевцов, Д.Н.** Эколого-географическая изменчивость таксационных показателей искусственных насаждений сосны обыкновенной на европейском Севере / Д.Н. Клевцов, Д.Ю. Коновалов, С.С. Макаров // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. – 2020. – № 4. – С. 52–60.

11. Тюкавина, О.Н. Теплотворная способность древесины сосны в культурах северотаёжного лесного региона / О.Н. Тюкавина, **Д.Н. Клевцов**, Д.М. Адаи // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2021. – № 1. – С. 82–91.

12. **Клевцов, Д.Н.** Сравнительный анализ биоэнергетической продуктивности культурфитоценозов сосны обыкновенной Европейского Севера / Д.Н. Клевцов, О.Н. Тюкавина, Н.Р. Сунгурова // Лесной вестник. – 2021. – № 4. – С. 15–20.

13. Сунгурова, Н.Р. Биоэнергетический потенциал северных лесов / Н.Р. Сунгурова, **Д.Н. Клевцов** // Хвойные бореальной зоны. – 2021. – Т. 39. – № 5. – С. 385–391.

14. Тюкавина, О.Н. Аллометрические закономерности изменения надземной фитомассы культур сосны / О.Н. Тюкавина, **Д.Н. Клевцов**, Н.А. Неверов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. – 2023. – № 3. – С. 121–127.

15. **Клевцов, Д.Н.** Запасы углерода в 40-летних культурах сосны обыкновенной / Д.Н. Клевцов, О.Н. Тюкавина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2023. – № 5. – С. 195–203.

Монография

16. Бабич, Н.А. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: монография / Н.А. Бабич, **Д.Н. Клевцов**, И.В. Евдокимов. – Архангельск: САФУ, 2010. – 140 с.

Другие публикации

17. Коновалов, Д.Ю. Рост и продуктивность сосняков естественного и искусственного происхождения северной подзоны тайги / Д.Ю. Коновалов, А.М. Антонов, **Д.Н. Клевцов** // Сб. научных статей, посвященных 50-летию Костромской лесной опытной станции ВНИИЛМ. – Кострома, 2006. – С. 93–96.

18. Бабич, Н.А. Возрастная динамика надземной фитомассы посевов сосны / Н.А. Бабич, **Д.Н. Клевцов**, Д.В. Локов // Экологические проблемы Севера: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск, 2007. – Вып. 10. – С. 82–85.
19. Бабич, Н.А. Запасы надземной фитомассы *Pinus sylvestris* L. в сосняке черничном и брусничном искусственного происхождения / Н.А. Бабич, **Д.Н. Клевцов**, Д.В. Локов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. научных трудов. – Архангельск, 2007. – Вып. 73. – С. 6–10.
20. Бабич, Н.А. Депонирование углерода в южнотаёжных сосняках искусственного происхождения / Н.А. Бабич, **Д.Н. Клевцов**, Д.В. Локов, Г.А. Дементьев, Д.А. Гороздей // Экологические проблемы Севера: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск, 2008. – Вып. 11. – С. 37–39.
21. Бабич, Н.А. Энергетический потенциал культур сосны южной подзоны тайги / Н.А. Бабич, **Д.Н. Клевцов** // Экологические проблемы Севера: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск, 2009. – Вып. 12. – С. 98–100.
22. **Клевцов, Д.Н.** Изменение надземной фитомассы культур сосны / Д.Н. Клевцов, Ф.А. Кунников // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск: САФУ, 2011. – Вып. 14. – С. 24–25.
23. **Клевцов, Д.Н.** Динамика надземной фитомассы культур сосны / Д.Н. Клевцов // Молодые учёные в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием): Сб. статей студентов, аспирантов и молодых учёных. – Красноярск: СибГТУ, 2011. – Т. 1. – С. 16–18.
24. **Клевцов, Д.Н.** Рост северотаёжных сосняков черничных искусственного происхождения / Д.Н. Клевцов, Д.Ю. Коновалов, И.С. Коновалова, К.М. Семёнов // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск: САФУ, 2015. – Вып. 18. – С. 188–190.
25. Бабич, Н.А. Эколого-биологические особенности ассимиляционного аппарата культур сосны / Н.А. Бабич, **Д.Н. Клевцов**, А.П. Семёнов, М.А. Чуркина // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск: САФУ, 2016. – Вып. 19. – С. 156–158.
26. **Клевцов, Д.Н.** Ресурсный потенциал надземной фитомассы сосновых древостоев / Д.Н. Клевцов // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск: САФУ, 2017. – Вып. 20. – С. 152–154.
27. **Клевцов, Д.Н.** Фракционное распределение надземной фитомассы культур сосны обыкновенной южной подзоны тайги / Д.Н. Клевцов // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сб. научных трудов. – Архангельск: САФУ, 2017. – Вып. 20. – С. 155–157.
28. **Клевцов, Д.Н.** Использование надземной фитомассы древостоев / Д.Н. Клевцов // Форум молодых ученых: электронный ресурс. – 2018. – № 1(17). – С. 539–541. – Режим доступа: http://forum-nauka.ru/_1_17__yanvar_2018/
29. **Клевцов, Д.Н.** Комплексное использование коры древесных растений в разных секторах экономики / Д.Н. Клевцов // Форум молодых ученых: электронный ресурс. – 2018. – № 2(18). – С. 300–302. – Режим доступа: http://forum-nauka.ru/_2_18__fevral_2018/
30. **Клевцов, Д.Н.** Морфологические параметры ассимиляционного аппарата искусственных сосняков / Д.Н. Клевцов, С.С. Макаров // Актуальные проблемы науки

в агропромышленном комплексе: Сб. статей 71-й международной научно-практической конференции. В 3-х томах. Под редакцией Т.В. Головковой, Н.Ю. Парамоновой. – Караваево: Костромская ГСХА, 2020. – Т. 1. – С. 40–44.

31. **Клевцов, Д.Н.** Биоресурсный потенциал фитомассы лесов / Д.Н. Клевцов // II Пахтусовские чтения: арктические горизонты. Сб. материалов Всероссийской очно-заочной научно-практической конференции. – Архангельск, 2021. – С. 326–331.

32. **Клевцов, Д.Н.** Биоэнергетические ресурсы искусственных ценозов сосны обыкновенной Европейского Севера / Д.Н. Клевцов, С.С. Макаров // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VIII Международной научно-практической конференции – ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2021. – С. 503–506.

33. **Клевцов, Д.Н.** Углерододепонирующий потенциал культурфитоценозов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Д.Н. Клевцов, С.С. Макаров // Аграрный вестник Нечерноземья. – 2021. – № 4. – С. 10–14.

34. Алимов, А. С. Биологический потенциал фитомассы лесных экосистем / А.С. Алимов, С.Л. Кузнецов, **Д.Н. Клевцов** // Растительный покров Европейского Севера и Арктики: XIV Перфильевские научные чтения, посвященные 140-летию со дня рождения Ивана Александровича Перфильева. Сборник материалов Межрегиональной научной конференции. Составитель Т.А. Парина. – Архангельск: ООО «Консультационное информационно-рекламное агентство», 2022. – С. 248–252.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с указанием фамилии, имени, отчества, почтового адреса, адреса электронной почты, наименования организации, должности, шифра и наименования научной специальности в соответствии с номенклатурой, по которой защищена диссертация, лица, составившего отзыв, подписанные и заверенные печатью, просим направлять по адресу: 163002 г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17, диссертационный совет 24.2.394.04.

Ученый секретарь Тюкавина Ольга Николаевна E-mail: o.tukavina@narfu.ru