

На правах рукописи



Кутявин Иван Николаевич

**Структурная организация, рост и продуктивность древостоев
сосновых экосистем европейского Северо-Востока России**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Сыктывкар – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор
Бобкова Капитолина Степановна

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;

Стороженко Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, ФГБУН Институт лесоведения РАН, главный научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности;

Сурсо Михаил Вольдемарович, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБУН ФИЦ комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Уральского отделения РАН, главный научный сотрудник.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН»

Защита диссертации состоится 16 октября 2024 г. в 10 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.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ольга Николаевна Тюкавина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Республике Коми (РК) сосновые леса занимают 7.1 млн. га, что составляет 10.6% площади сосновых лесов европейского Севера России. Они приурочены в основном к борovým террасам бассейнов рек Печора, Вычегда, Мезень (Кутявин, Манов, 2022). На территории этого региона сохранились значительные площади спелых и перестойных сосняков, которые являются основой лесозаготовительного фонда России. В настоящее время в РК ежегодно заготавливается 8–10 млн. м³ древесины, в том числе 40–50% составляет сосновая. Одновременно сосновые леса участвуют в биосферных процессах северных широт, выполняя важную роль в регулировании содержания атмосферного углерода. Количество ежегодно депонируемого углерода сосновыми лесами РК составляет 13.6 млн. т в год (Бобкова с соавт..., 2004).

Происходящее в настоящее время изменение климата вызывает увеличение катастрофических явлений (пожары, ветровалы) на территории северных широт, что приводит к трансформации структуры и функционирования фитоценозов таежных лесов (Ваганов и др., 1994; Фарбер, 2000; Power et al., 2008; Rock et al., 2008; Алесенков и др., 2012; Bastos et al., 2014; Алейников, 2015; Проскуляров, 2015; Drobyshev et al., 2016; Жила с соавт., 2019; Швиденко с соавт., 2019; Kulha et al., 2020; Sumichrast et al., 2020; Кутявин, Манов, 2022 и др.). В XVIII-XIX начале XX веков резкий скачок антропогенного воздействия и пожарной активности на природные сообщества оказали значительное влияние на формирование лесных сообществ (Bergeron et al., 2004; Рысин, 2015; Nowacki, Abrams, 2008; Ryzhkova et al., 2022 и др.). Отмечено, что аномально высокие температуры воздуха в отдельные периоды приводили к снижению продуктивности и устойчивости фитоценозов лесных сообществ (Bastos et al., 2014). Современное развитие сосновых лесов, динамика их породного состава и структуры во многом определяются действиями антропогенной нагрузки. Это ведет к смене естественно развивающихся лесных фитоценозов на производные или искусственно созданные (Bergeron, 1991; Стороженко, 2007; Crotteau et al., 2018). В 30-х годах XX столетия сплошные концентрированные рубки на европейском Севере России привели к деградации и утрате больших площадей продуктивных коренных лесов и смене хвойных насаждений на мелколиственные. Показано, что только в РК за последние 60 лет рубками пройдено 112 тыс. км² площади лесного фонда, где заготовлено около 1 млрд. м³ древесины (Лесное..., 2000). Следовательно, данные о динамике состава, структуры и запасов органического вещества (ОВ) в древостоях необходимы для прогноза отклика лесных экосистем, как на изменение климата, так и ведение интенсивного лесопользования. Длительные наблюдения на постоянных пробных площадях (ППП) позволяют оценить динамику развития лесных экосистем. Данные о пространственно-временных изменениях состава, строения и продуктивности древостоев лесных фитоценозов являются основой для разработки методов

ведения лесного хозяйства (ЛХ) в том или ином регионе Российской Федерации (Рысин, 1981; Методы..., 2002; Кутявин с соавт., 2021; Кутявин, 2023).

Бореальные леса, произрастающие в умеренном поясе Северного полушария, характеризуются небогатым видовым составом древесных растений. Для хвойных фитоценозов характерна простота высотного сложения, где древесный ярус образован в основном видами 4 родов: ель – (*Picea*), сосна – (*Pinus*), пихта – (*Abies*), лиственница – (*Larix*), которые в зависимости от палеоэкологических и современных географических условий сменяют друг друга в долготном и широтном направлениях (Лесная энциклопедия, 1986). Климат территории европейского Северо-Востока России характеризуется относительной неоднородностью, что связано с ее большой широтной и долготной протяженностью и разнообразием орографических элементов с делением ее на две части – Русскую платформу и горы Уральской страны (Научно-прикладной..., 1989; Атлас..., 1997; Кутявин, 2018).

Степень разработанности темы. Изучению сосновых экосистем европейского Севера России, в том числе РК, посвящены работы (Мелехов, 1949; Корчагин, 1954; Лазарев, 1957; Репневский, 1961; Левин, 1966; Цветков, 2008; Неволин, 1969; Соколов, 1970; Иванчиков, 1971; Вопросы..., 1972; Казимиров с соавт., 1977; Иванчиков, 1978; Пахучий, 1978; Феклистов, 1978, Львов с соавт., 1980; Зябченко, 1984; Никонов, Цветков, 1984; Гортинский с соавт., 1986; Листов, 1986; Феклистов с соавт., 1997; Семенов с соавт., 1998; Горшков, Ставрова, 2002; Стороженко, 2007, 2015; Торлопова, Ильчуков, 2007; Тарханов, 2010; Третьяков, 2011; Бахтин, Соколов, 2015; Кутявин, 2018; Кутявин, Бобкова, 2017; Осипов с соавт., 2022; Кутявин, Манов, 2022 и др.). В последнее время интерес к изучению лесов, в частности, не затронутых хозяйственной деятельностью человека, заметно снизился. Однако познание восстановления состава, структуры древостоев и динамических процессов в них являются основополагающим для ведения ЛХ региона (Комин, 1993; Усольцев, 2021). Получение информации преобразования лесных экосистем, находящихся под воздействием различных экологических и антропогенных факторов на европейском Севере России, вызывает необходимость более подробного прогнозирования последствий их воздействия. Такой прогноз требует глубокого изучения динамики структурно-функциональной организации растительных биогеоценозов, выявления и оценки воздействия на них экологических факторов. Следовательно, изучение пирогенной, климатогенной, антропогенной динамики сосняков актуально.

Цель и задачи. Цель - выявление закономерностей структурной организации, динамики роста и продуктивности древостоев сосновых экосистем в зональном аспекте на территории европейского Северо-Востока России. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ строения древостоев сосняков в разных условиях местопроизрастания с учетом зональности.
2. Охарактеризовать динамику пожаров в сосняках.

3. Определить динамику состава и строения древостоев сосновых фитоценозов под воздействием пирогенного, климатогенного и антропогенного факторов.

4. Выявить характеристику возрастной, размерной и пространственной структуры древостоев сосняков. Оценить влияние эндогенных и экзогенных (пожары, ветровалы) факторов на их структурную организацию.

5. Оценить жизненное состояние древостоев сосняков.

6. Охарактеризовать естественный лесовозобновительный процесс под пологом древостоев сосняков.

7. Выявить динамику роста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от лесорастительных условий и климатических факторов.

8. Определить продуктивность древостоев сосняков и оценить влияние пирогенного фактора и ветровала на накопление растительного органического вещества (ОВ).

Научная новизна и теоретическая значимость. Работа представляет раздел комплексных биогеоэкологических исследований структурно-функциональной организации сосновых лесов таежной зоны, проведенных в Институте биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. В результате многолетних лесоводственных, таксационных и экологических наблюдений фитоценозов на ППП получены новые данные характеризующие динамику состава, структуры, роста, продуктивности древостоев и лесовозобновления ненарушенных и нарушенных антропогенной деятельностью сосняков. Выявлено влияние пирогенного, климатогенного и антропогенного факторов на рост и развитие древостоев сосновых экосистем.

Установлено, что сосняки Севера таежной зоны обладают разной возобновительной способностью и образуют древостои условно-одновозрастные, условно-разновозрастные, абсолютно-разновозрастные, относительно-разновозрастные и ступенчато-разновозрастные с демулационной фазой динамики типов возрастной структуры. Значимую роль в формировании структуры сосняков выполняют лесные пожары. Показано, что при длительном отсутствии пожаров и их слабой активности возможна смена сосновых на темнохвойные еловые сообщества. На основе многолетних наблюдений выявлено, что морфометрические показатели деревьев древостоев и подростка характеризуются высокой лабильностью.

Впервые для европейского Северо-Востока проанализированы пространственная структура и взаимосвязи деревьев в древостоях коренных сосняков. Размещение древесных растений на площади меняется с возрастом и при послепожарном заселении территории в основном носит агрегированный характер. Вследствие конкурентных взаимоотношений за элементы минерального питания в группах подростка с высокой плотностью происходит их постепенный отпад, ведущий к случайному типу размещения их на площади. Для деревьев молодого поколения, входящих в древесный ярус, характерно слабое группирование особей. Крупномерные деревья размещены на площади случайно. Установлено, что вертикальная структура полога древостоев имеет

типы: «регулярная понизу», «регулярная поверху», «симметричная» и «диффузная» структуры. Древостои сосняков характеризуются ассиметричным развитием крон деревьев.

Для северотаежных и среднетаежных сосняков с давностью пирогенного воздействия более ста лет назад характерна значительная динамичность изменения в строении древостоев. Вариационный анализ размерной и возрастной структуры указывает на относительно большие изменения статистических показателей их морфоструктуры. Возобновление древесных растений под пологом сосняков происходит удовлетворительно. В большинстве типов условий местопроизрастания имеется подрост различного количества, состава и состояния.

Динамика роста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях средней и северной тайги определяется главным образом условиями местопроизрастания и не зависит от зональности. Лучшим ростом характеризуются древостои сосняков черничного и брусничного типов, далее, по убыванию интенсивности роста сосны следуют лишайниковый, каменистый и сфагновые типы.

Древесно-кольцевые хронологии сосны на европейском Северо-Востоке России в зональном аспекте характеризуются неоднородностью климатического отклика. Установлено, что основным из факторов, определяющих рост сосны, выступают температуры мая на территории северной тайги и северного Предуралья, температуры июля – в центральной части средней и южной тайги. На северной границе распространения леса рост сосны по толщине лимитирован июльскими температурами только на относительно хорошо прогреваемых песчаных почвах. У сосны отрицательная связь прироста по диаметру с осадками мая и июля проявляется только в северных районах рассматриваемого региона.

Установлено, что древостои сосняков, развивающиеся как на автоморфных так и полугидроморфных почвах, формируют насаждения невысокой продуктивности. Основным накопителем ОВ выступает древостой.

Приведенные результаты вносят значительный вклад в развитие теории структурно-функциональной организации фитоценозов сосновых экосистем таежной зоны. Материалы по строению и структуре древостоев на ППП послужат основой для дальнейшего мониторинга сосняков в естественных условиях развития. Пространственно-временные изменения можно использовать для моделирования динамики лесных экосистем и как основу при исследованиях с использованием ГИС. Материалы о динамике роста древостоев и продуктивности насаждений следует использовать при разработке мероприятий, направленных на создание и применение рекомендаций регионального ведения хозяйства в сосновых лесах.

Практическая значимость работы. Материалы важны в практике ЛХ при определении продуктивности фитоценозов и оценке связывания парниковых газов в лесных сообществах. Они необходимы при верификации моделей динамики развития древостоев, формирующихся под влиянием

пирогенного и антропогенного факторов. Данные применимы при инвентаризации лесов, послужат основой при разработке методов, алгоритмов, моделей пространственно-временной динамики древостоев в условиях изменения климата. Материал необходим при оценке ресурсно-экологического потенциала, а также для прогноза состояния сосновых экосистем. Сосняки на ППП послужат в качестве фоновых, для дальнейшего экологического мониторинга лесных экосистем бореальной зоны.

Методология и методы исследований. Для изучения восстановительно-возрастной динамики структурно-функциональной организации использован метод, который включает исследования основных компонентов сосновых экосистем и связи между ними. В сборе полевого материала использован метод постоянных и временных пробных площадей, организованных в подзонах крайне северной, северной, средней и южной тайги. Применены классические методы лесной таксации, геоботаники, дендрохронологии, лесоведения с использованием современного оборудования (Haglof – Швеция, Leica – Германия). Лесовозобновительные исследования проведены методом сравнительного изучения сообществ в контексте онтогенетических смен. Для оценки биологической продуктивности древостоев применялся метод модельных деревьев (Уткин, 1975; Усольцев, Нагимов, 1985). Обработка полученного материала проведена на современном компьютерном оборудовании и приборах (LINTAB V – Германия, Canon 9000F – Китай), с использованием ряда программ MS Excel, R, Cofecha, CDendro, CooRecorder, TsapWin.

Положения, выносимые на защиту:

1. Сосняки европейского Северо-Востока России формируют древостои различной возрастной структуры. Наиболее распространены условно-, ступенчато- относительно-разновозрастные, редкими циклично- и абсолютно-разновозрастные древостои. Построенная модель на основе связи коэффициентов варьирования возраста с диаметром ствола позволяет оценить стадии развития древостоев. Отмечаются отклонения от гипотезы о полной пространственной случайности (ППС), размещения деревьев в древостоях и подроста.

2. Естественное возобновление под пологом древостоев, на вырубках, горях и в постветровальных сосновых сообществах непрерывное и определяется давностью и степенью нарушения. В сосняках таежной зоны нет определенной связи (r^2) между густотой подроста и условиями места произрастания.

3. В условиях северной и средней тайги выявлены схожие темпы накопления стволовой древесины сосны по толщине. Следовательно, рост сосны определяется не зональными климатическими условиями, а условиями местопроизрастания. Корреляция взаимоотношений индексированных хронологий сосны со скользящими 15-дневными значениями климатических значений показала, что в условиях средней и южной тайги в начале вегетационного периода положительная связь радиального прироста с

температурой воздуха и при ослаблении температуры воздуха, сменяется на положительную связь радиального прироста с осадками. В подзонах крайнесеверной и северной тайги на прирост сосны положительное влияние оказывает в основном температура воздуха.

4. Состояние древостоев сосняков зависит от типа их возрастной структуры, пирогенной активности и климатических условий. В среднетаежных сосняках при снижении полноты древостоев индексы жизненного состояния увеличиваются, в притундровых и северотаежных сосняках эта связь обратная. К низкополнотным древостоям относятся в основном послепожарные сосняки, развивающиеся на гидроморфных почвах.

5. Установлена биологическая продуктивность сосняков в зависимости от зональных и типологических условий.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных данных основана на достаточно обширном полевом материале, собранном апробированными методами. Данные обработаны и проанализированы с использованием современных математических и статистических методик и прикладных программ.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были обсуждены на XV-XXIX Всероссийских молодежных научных конференциях «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар 2008–2022); конференции молодых ученых «Биосфера Земли: прошлое, настоящее и будущее» (Екатеринбург, 2008); международной научной конференции «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны» (Сыктывкар, 2011); Всероссийской конференции «Современное состояние и перспективы особо охраняемых природных территорий европейского Севера и Урала» (Сыктывкар, 2011); конференции молодых ученых «Экология: традиции и инновации» (Екатеринбург, 2012); IV Всероссийской школе-конференции «Актуальные проблемы геоботаники» (Уфа, 2012); международной научной конференции «Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения» (Архангельск, 2013); 2 Международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование» (Санкт-Петербург, 2017); XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем» (Киров, 2016); II Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Научные основы устойчивого управления лесами» (Москва, 2016); Всероссийской с международным участием научной конференции «Бореальные леса: состояние, динамика, экосистемные услуги» (Петрозаводск, 2017); Всероссийских научных конференциях с международным участием «Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика» Красноярск (2014, 2019); VI Всероссийской конференции с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» (Апатиты, 2016); школе-конференции «Природные и исторические факторы формирования современных экосистем Среднего и Северного Урала» (Якша,

Печоро-Илычский заповедник, 2017); международной конференции молодых ученых «Лесные ресурсы – Белорусское Полесье» (Гомель, 2018); международной научной конференции «Биологические проблемы Севера» Магадан (2018); Всероссийской научной конференции с международным участием «Дендрэкология, лесоведение и лесовосстановление: теоретические и прикладные аспекты (Уфа, 2020); международной дендрохронологической конференции «РусДендро-2021» (Абакан, 2021); III Всероссийской конференции с международным участием (Иркутск–Листвянка, 2022); IV Всероссийской научной конференции «Биоразнообразие экосистем крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 2023); научно-практической конференции «Актуальные вопросы таежного и притундрового лесоводства на Европейском Севере» (Архангельск, 2023).

Декларация личного участия. В период с 2007 – 2022 гг. проведен сбор фактических данных в полевых условиях. Анализ собранных образцов древесины выполнен лично автором или под его руководством. Проведена математико-статистическая обработка материала и его систематизация. Подготовлена рукопись диссертации, сформулированы выводы и практические предложения. Опубликованные работы написаны лично автором или в соавторстве.

Публикации результатов исследований. По результатам исследований опубликованы 107 научных работ, из них в 1 монографии, 26 статей в журналах, рекомендуемых перечнем ВАК РФ, 23 статьи в Web of Sciens, Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и 10 приложений, на 448 страницах машинописного текста, включающего 75 рисунков, 34 таблиц и 12 фотографий. Список литературы содержит (539) наименований, из них 132 на английском языке.

Организация работ: Исследования проведены на постоянных и временных пробных площадях в разных типах сосняков на территории крайнесеверной, северной, средней и южной тайги европейского Северо-Востока России.

Работа выполнена на базе Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН отдела лесобиологических проблем Севера в ходе выполнения госбюджетных тем НИР (2009–2011; 2012–2014; 2015–2017; 2018–2021; 2022–2024) и следующих научно-исследовательских проектов:

- международный проект «ПРООН/ГЭФ 00059049» договор № 22–2010, (2010-2011 гг.) – исполнитель (и);
- грант Президента РФ для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ МК-6670.2016.5 (2016–2017 гг.) – (и);
- комплексная программа УрО РАН № 15-12-4-39 (2016–2017 гг.) и № 18-4-4-29 (2018–2021) – (и);
- Российский фонд фундаментальных исследований № 18-34-00563 мол_a (2018- 2019) «Структурная организация древостоев в постпирогенных

сосновых экосистемах средней тайги (на примере Республики Коми)» – руководитель;

- Российский фонд фундаментальных исследований № 19-29-05111 мк (2019-2022) – (и);

- международный проект GDMI Cold Forest по изучению функционирования горных и бореальных экосистем в северном полушарии (Франция, Канада, Швеция, Россия) (2019–2022) – (и);

- Российский научный фонд № 23-74-10007 (2023 – 2025) – (и).

Автор выражает искреннюю благодарность д-ру биол. наук профессору К. С. Бобковой за всесторонние научные консультации при выполнении работы; сотрудникам Печоро-Илычского заповедника, принимавшим участие в полевых исследованиях; канд. с-х. наук А. В. Манову, канд. биол. наук Н. В. Торлоповой, инженеру С. И. Наймушиной за помощь в сборе и обработке полевого материала. Искренне благодарен моей супруге Екатерине за поддержку и помощь в оформлении работы; родителям – Елене Ивановне, Николаю Васильевичу Кутявиным – инженерам лесного хозяйства, привившим мне любовь к природе. Особую благодарность отцу - участнику множества экспедиций.

ГЛАВА 1. ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС В СОСНЯКАХ (ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ)

Понимание ведущих факторов формирования структуры и функционирования лесных биогеоценозов в условиях циклически пожарного режима среды позволяет расширить взгляды на природу лесов на Севере. На основе этих знаний возможна разработка региональных подходов к повышению устойчивости, продуктивности и эффективному воспроизводству лесных экосистем (Санников, Локосова, 2001; Демаков, 2020). Изучение сосновых экосистем европейского Севера России, освящается в ряде работ (Мелехов, 1949; Корчагин, 1954; Лазарев, 1957; Репневский, 1961; Левин, 1966; Неволин, 1969; Соколов, 1970; Надуткин, Модянов, 1972; Зябченко, Иванчиков, 1977; Казимиров с соавт., 1977; Пахучий, 1978; Феклистов, 1978, Львов с соавт., 1980; Зябченко, 1984; Никонов, Цветков, 1984; Гортинский с соавт., 1986; Листов, 1986; Эколого-физиологические..., 1993; Феклистов с соавт., 1997; Семенов с соавт., 1998; Лесное..., 2000; Стороженко, 2015; Торлопова, Ильчуков, 2007; Цветков, 2008; Тарханов, 2010; Третьяков, 2011; Бахтин, Соколов, 2015; Кутявин, 2018; Осипов с соавт., 2022 и др.).

Формирование возрастной структуры древостоев сосняков в естественных условиях произрастания зависит от множества факторов, а главным являются пожары (Мелехов, 1948; Комин, 1967; Бузыкин, 1965; Побединский, 1965; Zackrisson, 1977; Верхунов, 1979; Зябченко, 1984; Цветков, Семенов, 1985; Ермоленко, 1987; Steijlen, Zacrisson, 1987; Engelmark et al, 1994; Фарбер, 2000; Kuuluvainen et al., 2002; Garet et al., 2012; Drobyshev et al., 2016; Кутявин, 2020; Демаков, 2023 и др.). Пожарная история по полученной информации на ППП

позволяет раскрыть развитие структуры сосняков, выявить лесообразовательные и ростовые процессы, а также способствует определению путей устойчивого управления лесными ценозами (Wallenius, 2002; James et al., 2007; Седых, 2009; Кузьмичев, 2013; и др.).

Восстановление нарушенных лесных территорий имеют значение при оценке лесообразовательных процессов (Цветков, 2008; Šumichrast et al., 2020; Kutuyavin, Manov, 2022 и др.). Долговременные исследования на ППП с периодическими оценками состояния ценозов немногочисленны (Рысин и др., 1981; Третьяков, 2011; Федорчук с соавт., 2011; Овчинникова, Овчинников, 2016; Осипов, Бобкова, 2016; Манов, 2017; Šumichrast et al., 2020; Шорохова с соавт., 2022; Кутявин, Манов, 2022; Лебедев, Кузмичев, 2023; Кутявин с соавт., 2023 и др.).

Для оценки формирования древостоев в лесных экосистемах необходимы знания факторов, определяющих их рост. Одним из таких факторов является климат (Шиятов, Мазепа, 1992; Ваганов с соавт., 1996; Феклистов, 1997; Briffa et al., 1998, 2002; Biondi, 2000; Алексеев, Сорока, 2003; Kullman, 2005;

D'Arrigo et al., 2007; Nikolaev et al., 2009; Малышева, Быков, 2011; Бенькова и др., 2012; Гурская с соавт., 2017; Bjoklund et al., 2017; Долгова с соавт., 2019; Velokopytova et al., 2022 Кутявин, Манов, 2022 и др.). Однако, большинство этих работ проведено в экстремальных климатических условиях для древесной растительности условиях местопроизрастания. В естественно развивающихся фитоценозах рост деревьев лимитируется в большей степени орографическими и фитоценотическими факторами, чем климатическими (Комин, 1973; Малышева, Быков, 2011; Кутявин, Манов, 2022).

На Севере бореальной зоны биологическая продуктивность сосняков освещена в работах (Молчанов, 1971; Казимиров и др., 1977; Albrektson, 1980; Никонов, Цветков, 1984; Уткин, Дылис, 1986; Бобкова, 1987; Vanninen et al., 1996; Лукина, Никонов, 1996; Helmisaari et al., 2002; Бабич и др. 2004; Wang et al., 2004; Zianis et al. 2005; Щепашенко и др., 2008; Repola 2008; Усольцев, 2001-2010; Феклистов и др. 2015; Осипов, Бобкова, 2016; Кутявин, 2018; Усольцев, 2001–2021; Lebedev, Kuzmichev, 2022; Артемьева, 2022 и др.). В условиях средней тайги темп формирования фитомассы у хвойных в 1.5–2 раза выше, чем в северной и 1.5 раза меньше, чем в южной (Леса..., 1999; Курбанов, 2002). Запасы ОВ нетронутых насаждений примерно одного возраста в пределах близких групп типов леса увеличиваются от северной тайги к южной, что определяется климатическими условиями (Молчанов, 1971; Бобкова, 1987).

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Климат РК характеризуется относительной неоднородностью, что связано с ее большой широтной и долготной протяженностью, разнообразием орографических элементов и делением на две части – Русскую платформу и горы Уральской страны (Научно-прикладной..., 1989; Атлас, 1997). Длинная суровая зима, преобладание осадков над испарением, короткий вегетационный

период обуславливают низкие показатели продуктивности древесной растительности. РК находится на стыке двух континентов Европейской и Азиатских материков, что обуславливает относительно богатое видовое биоразнообразие лесных фитоценозов территории. Согласно данным лесного фонда России (2003), сосновые леса на европейском Севере охватывают порядка 32.9% лесопокрытой площади. В РК они занимают четвертую часть лесопокрытой площади, уступая еловым фитоценозам. Благодаря высокой пластичности сосна способна расти на различных типах почв (Леса..., 1999; Рысин, Савельева 2008).

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА, МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования явились сосновые насаждения на территории разных подзон тайги. Работа проводилась в типичных для европейского Северо-Востока древостоях сосняков, разных возрастных групп с закладкой в них ППП с целью длительного мониторинга структуры, продуктивности и состояния. За период 2007–2022 гг. на территории РК было заложено 37 ППП, в лишайниковых, лишайниковых каменистых, брусничных, зеленомошных и сфагновых типах сосняков. Проведены повторные наблюдения на 14 ППП в сосняках лишайниковых, бруснично-лишайниковых, брусничных, черничных, зеленомошных и сфагновых типов. Срублено и проанализировано 35 модельных деревьев и 200 подростов. Отобрано около 3000 образцов древесных кернов. Определена фитомасса в семи фитоценозах сосняков.

Работы выполнены по общепринятым лесоводственно-таксационным методам (ОСТ 56-69-83). Анализ таксационных материалов обработан с использованием нормативов (Лесотаксационный справочник..., 2012). Степень дифференциации биометрических показателей деревьев проведена по математико-статистическим методикам (Гусев, 2002). Типы леса определены по (Сукачев, Зонн, 1961; Рысин, Савельева, 2008).

Для определения возраста на ППП брали керны у 30–120 деревьев доминирующей породы и у 15–40 деревьев сопутствующих древесных растений (Комин, 1970; Шиятов, 1973). Оценка возрастной структуры древостоя дана по Г.Е. Комину, И.В. Семечкину (1970), С.А. Дыренкову (1984). Состояние древостоев оценивали согласно руководству и методикам (Алексеев, 1989; Manual..., 2010).

В подзоне средней тайги проведены повторные перечеты деревьев и подростов с учетом их позиций на площади в системе координат (X,Y) при помощи комплекса оборудования Haglof. Оценку горизонтальной структуры древостоя проводили на основе пространственной статистики, которая включает методы точечных процессов (Oliver, Carol 2005). Классический анализ точечных процессов был основан на проверке нулевой гипотезы о полной пространственной случайности (ППС), методом Монте-Карло (Wiegand, Moloney, 2004). Статистическая обработка пространственных данных проведена в пакете spatstat (Baddeley, Turner, 2005) в программной среде R (R Core Team, 2014).

Оценку пригодности дендрохронологического материала проводили с использованием таких показателей как, коэффициент корреляции Пирсона (r), средний коэффициент чувствительности (Sens) и автокорреляция первого порядка (Ar_1), полученных в пакете dplR. За пороговую величину общего популяционного сигнала хронологии принято значение 0.85 (Wigley et al., 1984). При помощи bootstrap метода с использованием программного пакета bootRes в среде R, была проведена оценка влияния климатических показателей на радиальный прирост сосны (Zang, Biondi, 2013). Выявление ключевых интервалов влияния на прирост температуры воздуха и осадков проводили методом В.Е. Беньковой с соавт. (2012).

Фитомасса надземных органов древесных растений определялась рубкой на каждой ППП 8–10 модельных деревьев из разных ступеней толщины (Уткин, 1975; Усольцев, 2007; Repola, 2008). Для северной тайги использовались уравнения зависимости фитомассы деревьев от диаметра ствола, полученные ранее К.С. Бобковой (1990). Прирост корней и массу растений живого напочвенного (ЖНП) определяли по Методы..., (2002), их прирост рассчитывался на основе данных (Казимиров с соавт., 1977).

ГЛАВА 4. ЗОНАЛЬНЫЕ И ЭКОТОПИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЯКОВ

Возрастная структура. На европейском Северо-Востоке России в сосняках установлены следующие типы возрастной структуры древостоев: условно-однообразные, циклично- ступенчато-, условно-, абсолютно-разновозрастные и относительно-разновозрастные с демутационными фазами динамики (с поколениями нисходящего и восходящего рядов). Материалы охватывают все возможные варианты возрастного строения древостоев, (Комин, Семечкин, 1970), за исключением абсолютно-однообразных, которые формируют насаждения искусственного происхождения. Более распространенный тип возрастной структуры древостоя сосны в РК – условно-, ступенчато- и относительно-разновозрастные. Редкие типы древостоев сосняков формируют циклично- и абсолютно-разновозрастные (рис. 1). Для абсолютно-разновозрастных типов структуры характерно полное отсутствие нарушений. Циклично-разновозрастной древостой был выявлен в условиях крае северной тайги. Слабая интенсивность пожаров не повлияла на формирование в древостое данного типа возрастной структуры. Такие древостои уникальны и требуют дополнительного исследования.

В древесном ярусе присутствуют до шести поколений сосны. С ростом числа поколений, растянутости возрастов, происходит увеличение варьирования возраста от 6 до 66% и диаметра от 14 до 70%. Выявлены тесные корреляционные отношения между возрастом и диаметром на высоте 1.3 м в ступенчато-разновозрастных сосняках (0.75–0.93). В сосняках остальных типов возрастной структуры эта связь слабая или значительная. Связь между диаметром и высотой деревьев во всех типах сосняков тесная. Одним из

важных факторов формирования возрастной структуры древостоев девственных сосняков являются пожары, но не следует исключать и эндогенные факторы. Оставленные при рубке деревья и уборка порубочных остатков на лесосеке паловым методом способствуют формированию в условиях северной тайги, древостоев условно-одновозрастных, - разновозрастных и ступенчато-разновозрастных типов возрастной структуры.

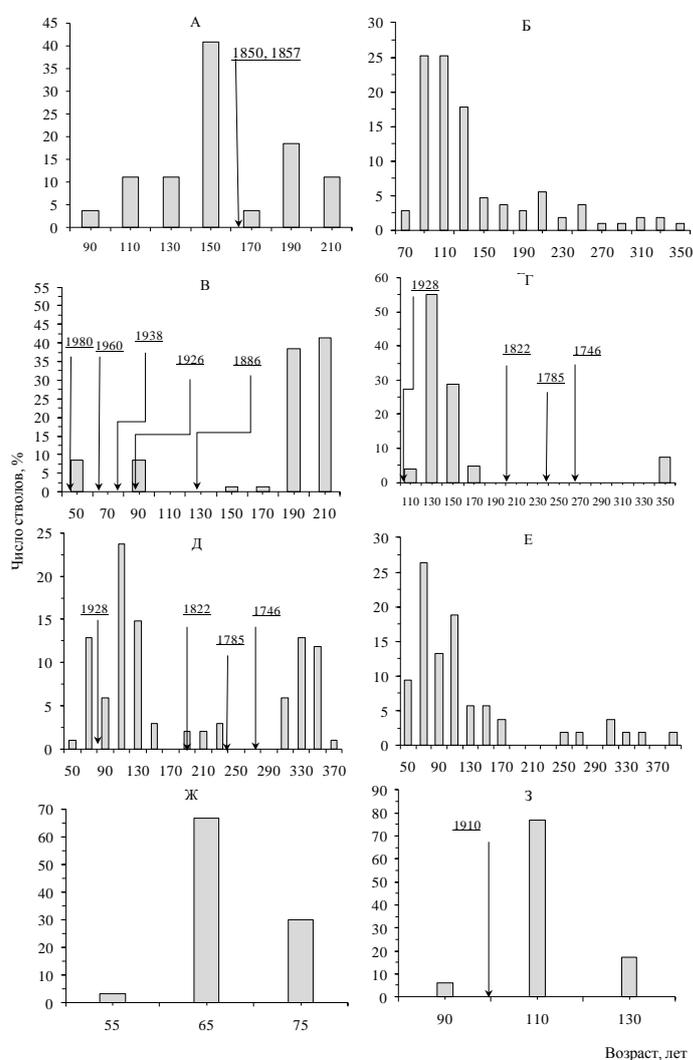


Рис. 1 Распределение деревьев сосны по классам возраста в сосняках европейского Северо-Востока России: А – циклично-разновозрастном притундровом лишайниковом; Б – абсолютно-разновозрастном среднетаежном чернично-сфагновом; В, Г – относительно-разновозрастных с поколениями низходящего ряда (В) лишайниковом и поколениями восходящего ряда (Г) зеленомошно-лишайниковом сосняках; Д, Е, ступенчато-разновозрастных среднетаежных сосняках бруснично-лишайниковом (Д) и вахтово-сфагновом (Е); Ж – условно-одновозрастном зеленомошном; З – условно-разновозрастном бруснично-лишайниковом. Вертикальные стрелки указывают на даты пожаров.

На рис. 2 приводится анализ связи коэффициентов варьирования возраста с диаметром деревьев в сосняках разных подзон. Такая модель достаточно хорошо позволяет оценить стадии возрастного строения древостоев (Гусев, 1975). Ступенчато-разновозрастные древостои (II) характеризуются большой вариабельностью коэффициентов варьирования возраста и диаметра. В условно-одновозрастных и -разновозрастных древостоях изменчивость возраста не выходит за пределы 15% и преимущественно имеет малые показателями ($C.V. < 10\%$), однако коэффициент вариации диаметра имеет средние и высокие значения (17–45%).

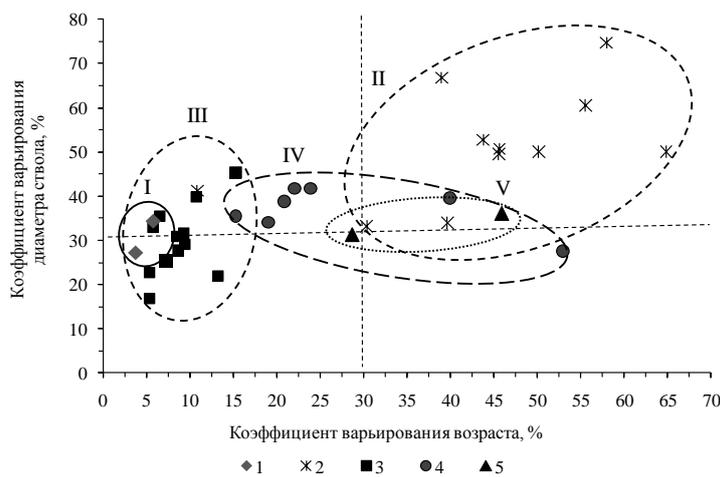


Рис. 2. Связь коэффициентов варьирования возраста с диаметром стволов в сосняках европейского Северо-Востока: 1 (I) – условно-одновозрастные; 2 (II) – ступенчато-разновозрастные; 3 (III) – условно-разновозрастных; 4 (IV) – относительно-разновозрастные с демутационными фазами

динамики; 5 (V) – абсолютно-разновозрастные.

В зональном аспекте данная связь не проявляется и сохраняется в области типа возрастной структуры. Высокие значения коэффициента свидетельствуют о накоплении в сосняках деревьев разной толщины. Коэффициенты варьирования возраста и диаметра деревьев относительно-разновозрастных сосняков (IV) указывают на их переход из одного типа возрастной структуры в другой. Так, пять крайних левых точек в области IV представлены древостоями с преобладанием молодого поколения и активным распадом старых деревьев. При окончательном распаде старых деревьев ряды распределения по возрасту и по диаметру сузятся, тем самым древостои с большой вероятностью перейдут в условно-разновозрастные. В древостоях сосняков с преобладанием старших поколений сосны, при длительном отсутствии огня и массовом накоплении деревьев новых поколений перейдут в ступенчато-разновозрастный тип структуры. Абсолютно-разновозрастные сосняки (V) характеризуются высокой вариабельностью возраста и диаметра.

Размерная структура. Притундровые сосняки характеризуются высокими значениями вариации диаметра (34.5–49.0%), в пределах поколений (10.1–16.9%). В циклично-разновозрастном сосняке лишайниковом цикличность прослеживается не только в распределении деревьев по возрасту, но и по диаметрам. Схожие распределения отмечаются и в условно-разновозрастном сосняке лишайниковом и относительно-разновозрастном сосняке багульниковом. Притундровые сосняки характеризуются небольшой средней высотой от 5.9 до 15.7 м. Коэффициенты вариации высоты представлены средними значениями (14.8–25.3%). Поколения деревьев в древостоях имеют смешанный высотный характер. Первое и второе поколения древостоя лишайникового сосняка имеют схожие по высоте показатели, как самых низких, так и самых высоких деревьев сосны. Распределение деревьев имеют схожие кривые как по возрасту, так и по диаметру и высоте. Следовательно, метод, предложенный С.А. Дыренковым (1984) для определения возрастной структуры по распределению количества деревьев по диаметру ельников характерен и для притундровых сосняков.

В сосняках *северной тайги* количество поколений и тип возрастной структуры не оказали влияния на вариацию диаметров и высот деревьев в древостоях, которые изменялись в пределах 25.2–49.5% и 15.7–27.8% соответственно. Распределение деревьев по диаметру в древостоях сосняков показало левостороннее смещение кривых, асимметрия представлена значениями (0.05–1.03). При схожем возрасте с сосной, деревья сопутствующих в составе пород уступают в развитии, как по диаметру, так и по высоте. Установлена тесная корреляционная связь между диаметром и высотой деревьев в древостоях. Взаимосвязь возраста с диаметром и высотой деревьев изменяется от слабой до значительной. Тесное соотношение между возрастом и диаметром древостоев выявлено в ступенчато-разновозрастных сосняках (0.79–0.96). С увеличением амплитуды колебания возраста деревьев усиливается корреляционная связь между диаметром и возрастом.

Средний диаметр сосны в ступенчато-разновозрастных сосняках *средней тайги* варьируют от 13.1 до 42.4 см. Вариация диаметра представлена большой изменчивостью (33.8–74.7%), что свидетельствует о значительной растянутости кривой распределения диаметров и наличия 2–5 поколений. Амплитуда колебаний диаметра в поколениях неравномерна. Со снижением возраста деревьев отдельных поколений идет накопление особей различной толщины. В притундровых сосняках с наличием трех и более поколений показатель вариации диаметра достигает 104% (Семенов с соавт., 1999).

Коэффициент варьирования высоты деревьев в ступенчато-разновозрастных сосняках составляет (17.8–29.9%), что указывает о накоплении в них деревьев различной высоты. В младших поколениях, так же как и по диаметру, увеличивается варьирование высот. Распределение стволов характеризуется ассиметричными кривыми, представленными малыми (-0.35–0.23) и средними (-0.8–0.8) значениями. В условно-разновозрастных типах возрастной структуры варьирование высоты представлено широкой высотной амплитудой. Ассиметрия в большинстве отрицательная, что указывает на преобладание крупных деревьев в сосняках. Экссесс преимущественно положительный. В абсолютно-разновозрастных сосняках коэффициент вариации диаметра представлен средними значениями (20.5–24.0%). Средние высоты находятся в центральной части распределения кривых. Ассиметрия находится около нулевого значения. Старшие поколения деревьев уступают по высоте младшим поколениям. Ель, входящая в состав, образует один высотный ярус с сосной.

В относительно-разновозрастных сосняках с демулационными фазами динамики вариация диаметра составляет 31–36, высоты 20.3–25.1%. В древостоях с преобладанием деревьев сосны молодого поколения, старшие деревья имеют небольшие колебания толщины от 2 до 20 см, что объясняется их небольшим количеством (до 14%) и постепенным отпадом. С преобладанием старшего поколения прослеживается обратная тенденция распределения деревьев по диаметру. Здесь, в младших поколениях амплитуда ступеней

толщины более сужена и составляет 8–12 см, тогда как в старших поколениях она достигает 32 см.

Пространственная структура. *Горизонтальная структура и пространственные взаимосвязи деревьев.* В среднетаежных сосняках выявлены разнообразия в горизонтальной структуре древостоев и подроста. Отмечаются отклонения от гипотезы о ППС, в размещении деревьев в сосняках, где встречается слабое агрегирование их на расстояниях от 2 до 6 м, что определяется наличием в сосняках поколений деревьев относительно молодого возраста, где еще идут процессы конкуренции за жизненное пространство и питательные вещества в почве (Ипатов, Тархова, 1975). Отсутствуют пространственные зависимости в размещении деревьев на площади в сосняках, которые состоят из старовозрастных деревьев, где процессы саморегуляции ослаблены, а пополнение древостоев молодым поколением деревьев сосны отсутствует. Небольшое отклонение от ППС прослеживается в некоторой регулярности размещения старовозрастных деревьев на расстояниях до 1 м. В остальных сосняках отмечается случайный тип размещения крупных деревьев.

Размещение мелких деревьев по площади имеет преимущественно случайный характер. Наличие значительного числа молодых деревьев в сосняках является следствием агрегирования особей на расстояниях до 8 м. Значительная доля в составе древостоев сопутствующих пород, состоящих из мелких экземпляров кедра, ели и березы, показывает слабое скопление на расстояниях 2-3 м, деревья сосны имеют случайное размещение на площади. Структура размещения подроста на площади во всех исследованных сосновых сообществах не подчиняется гипотезе о ППС. В сосняках с преобладающей категорией среднего и крупного подроста выявлена агрегация особей на малых расстояниях (до 1–3 м). Мелкий подрост образует скопления на расстояниях до 3-6 м. Рассматривая отдельно размещение крупного и мелкого подроста, выявлено стремление крупного подроста к случайному размещению. Мелкий подрост группируется в радиусе до 6-8 м. Степень агрегированности подроста снижается с увеличением категории крупности подроста. Ранее отмечено групповое размещение древесных растений в естественно развивающихся фитоценозах на этапе заселения территории, которое с возрастом становится более случайным (Кузьмичев, 2013). На протяжении всего жизненного цикла устойчивого коренного леса постоянно происходят процессы воспроизводства и отмирания деревьев, что приводит к формированию сложной пространственной структуры (Стороженко, 2007).

Протестированные пространственные отношения между крупными и мелкими деревьями сосны (рис. 3 а-д) и сопутствующими породами (рис. 3 е, ж), демонстрируют их независимое размещение. Лишь в древостое сосняка брусничного, характеризующегося двумя крупными поколениями, наблюдается слабая тенденция отталкивания крупных и мелких деревьев на расстоянии 2-3 м (рис. 3а). Это связано с конкурентными взаимоотношениями за элементы минерального питания (Листов, 1986). Тенденция отталкивания наблюдается при анализе размещения на площади деревьев сосны с сопутствующими

породами (рис. 3 ж). Анализ совместного размещения деревьев и подроста на площади в некоторых типах леса также демонстрирует стремление к отталкиванию. В сообществах подроста наблюдается как отталкивание, так и притягивание. Так, в сосняках черничных, где в составе подроста сосна не превышает 10%, мелкий подрост существует совместно с крупным. Наоборот, где в составе подроста велика доля сосны, отмечаются конкурентные взаимоотношения между крупными и мелкими особями (рис. 3 п, у).

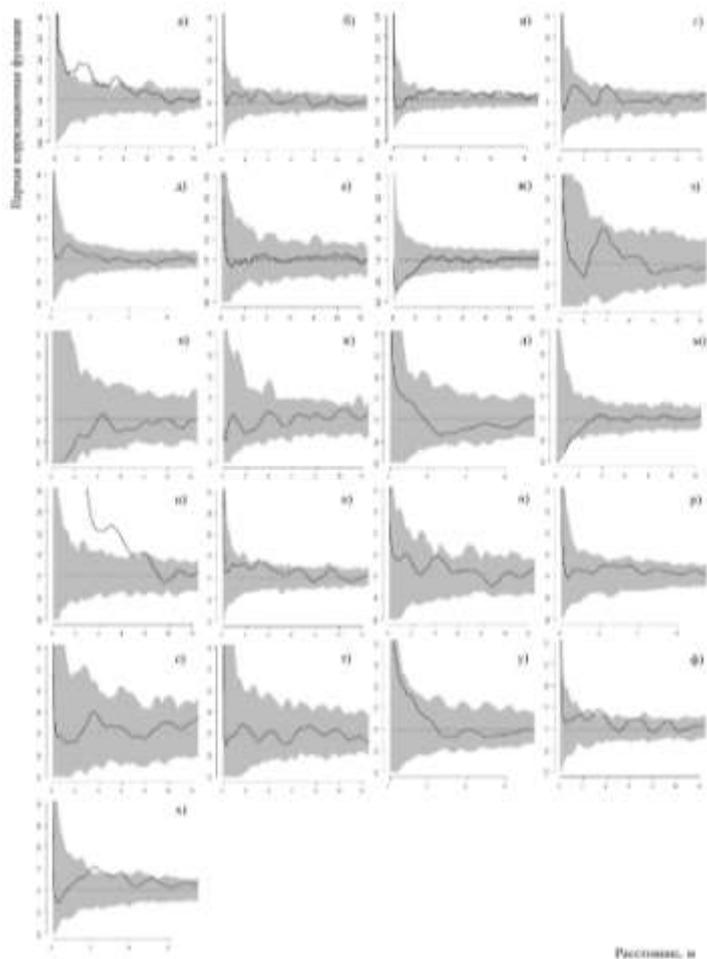


Рис. 3. Оценка эмпирической кросс-корреляционной функции $\hat{g}_{ij}(r)$ и области принятия нулевой гипотезы о случайности маркирования точечного процесса для каждой пары категорий древесных растений: а-д) деревья крупные / мелкие; е, ж) деревья сосны / деревья сопутствующих пород; з-о) деревья / подрост; п-ф) подрост крупный / мелкий; х, ц) подрост сосны / подрост сопутствующих пород.

Древостой исследуемых сосняков характеризуется ассиметричным развитием крон деревьев (рис. 4). Смещение центров проекции крон деревьев относительно оснований их стволов обладает большой вариацией ($C.V. > 30\%$). Деревья, формирующие разреженный

древостой с преобладающим поколением крупных старовозрастных особей с широкой кроной, обладают большей длиной смещения проекций крон, что объясняется наглядным фототропизмом (рис. 4 д). В более густых древостоях фототропизм не выражен (рис. 4 а-г, е). При случайном типе размещения оснований стволов деревьев, характерным является относительно регулярное размещение центров проекций крон за счет использования просветов в пространстве (Шанин и др., 2016). В сосняках Сибири пространственные размещения крон с возрастом изменяются от контактного до регулярного (Gavrikov, Stoyan, 1995).

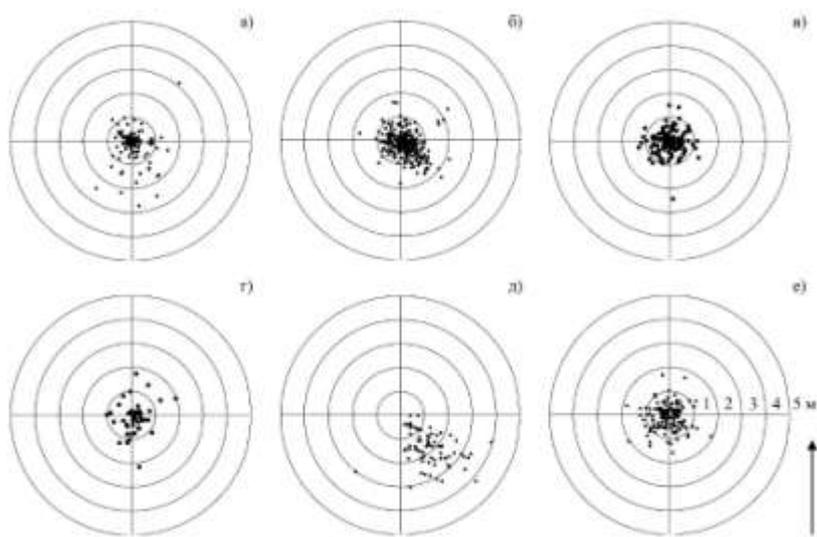


Рис. 4. Направление развития крон деревьев в сосняках: а, г, д – брусничных б – бруснично-лишайниковом; в – черничном (ППП 10); е – зеленомошном. Точки указывают позицию центров крон деревьев относительно их стволов, стрелка – направление Север.

Вертикальная структура. В сосняках брусничных деревья значительно различаются по высоте, а основания их крон находятся приблизительно на одном расстоянии от почвы. Такой тип вертикальной структуры нами отнесен к «регулярному понизу» (Плотников, 1979). Различие в высотах деревьев здесь обусловлено наличием молодого и старого поколений деревьев. «Регулярный поверху» тип вертикальной структуры образован древостоями сосняков черничного и брусничного. Этот тип структуры, при котором деревья примерно одинаковые по высоте, но значительно различаются по протяженности кроны. Здесь структуру формируют преобладающие по количеству старовозрастные деревья, достигшие своего максимума по высоте. Деревья в сосняках бруснично-лишайниковом и зеленомошном хотя и различаются по высоте и протяженностью кроны, но их средняя часть находится примерно на одном уровне. В вертикальном направлении кроновое пространство древостоев имеет компактные размеры и характеризуется как «симметричная структура». Эти древостои характеризуются относительно большой густотой и коротким возрастным рядом, что, вероятно, в силу межвидовых конкурентных взаимоотношений за свет, привело к компактным размерам протяженности крон деревьев. Древостой сосняка черничного имеет «диффузную» структуру древесного яруса, при которой деревья различаются по высоте, однако схожи по относительной протяженности крон, здесь живой полог растянут в вертикальном направлении.

Динамика возрастной и размерной структуры древостоев в сосняках северной и средней тайги. Наблюдения за развитием северотаежных сосняков в течение 25–50 лет показали значительные изменения в строении древостоев, развивающихся после пожаров и рубок. Сосняки сфагновые характеризовались сходной динамикой развития, которая выражалась увеличением густоты древостоев и запасов древесины в них. В пострубочных сосняках выявлены высокие значения коэффициентов вариации деревьев по густоте и запасу стволовой древесины (30–130%), что свидетельствует об их активном формировании. В естественно развивающихся постпирогенных сосняках

коэффициенты варьирования данных показателей изменяются от 10% до 40%. В сосняках черничных, формирующихся после рубок, наблюдается тенденция снижения густоты деревьев, вызванная в основном отпадом мелколиственных. В сосняках сфагновых, напротив, отмечено активное пополнение древостоев мелкими деревьями сосны из подроста. Установлено, что с увеличением доли молодого поколения сосны в составе древостоев происходит снижение среднего и текущего приростов по запасу, ухудшения жизненное состояния.

Многолетние наблюдения за динамикой развития древостоев в коренных среднетаежных сосняках с давностью пожаров более ста лет назад показали динамичность изменений в их строении. Так, с пополнением их деревьями нового поколения в результате изменения морфометрических признаков – возраста, диаметра и высоты – в сосняках брусничных происходит увеличение вариации этих показателей, с гибелью материнских деревьев в сосняках черничных их вариабельность снижается. В пределах отдельных поколений в древостоях сосняков изменения размерных характеристик деревьев сохраняется. Полученная ранее модель связи варьирования возраста деревьев и диаметра их стволов в сосняках за десятилетний период, наглядно показывает изменение возрастной структуры сосновых древостоев (рис.5).

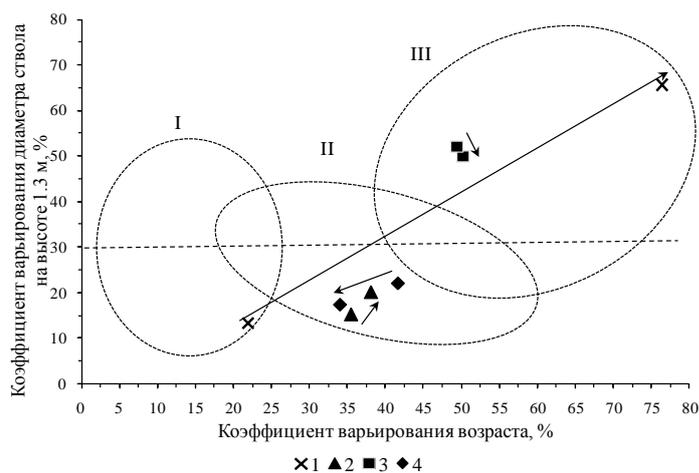


Рис. 5. Изменение коэффициентов вариации возраста и диаметра деревьев сосны в среднетаежных сосняках: брусничных 1 и 2; черничных 3 и 4. Овалами показаны области группирования типов возрастной структуры полученных ранее. Условные обозначения см. рис. 2.

Старовозрастные сосняки, несмотря на активное пополнение состава молодыми деревьями сосны, характеризуются относительно стабильным объемом древесины. В сосняках брусничных с появлением в древостое новых поколений сосны, а также относительно хорошим приростом старших поколений в возрасте 160 лет, отмечается увеличение запаса древесины на 1.8-7 м³ га⁻¹. Черничные сосняки с распадом старых поколений наоборот теряют запасы на 7.5–18.6 м³ га⁻¹. Постепенное снижение продукционной способности сосны в сосняках черничных обусловлено длительным отсутствием пожарной активности и сильной загущенностью медленно развивающейся ели. При длительном отсутствии пожаров в сосняках происходит формирование древостоев из разновозрастных поколений деревьев сосны, ели и кедра. Пожары слабой интенсивности способствуют скачку возобновления

темнохвойных видов, которые в последующем активно внедряются в состав древостоев.

Пожары и их влияние на сосновые фитоценозы. Проблема по изучению динамики пожаров и их влияние на структурную организацию сосновых фитоценозов остается достаточно открытой и требует постоянных наблюдений. Исследования торфяных залежей сосняков, на трех точках РК (Горбач с соавт., 2021), показало большое содержание макрочастиц угля, приходится на начальный период голоцена и пятое-седьмое тысячелетия датируемых бореальными и атлантическими периодами. Меньшее количество угольных остатков содержалось в суббореальном периоде.

Исследования палеопожарной активности за последние 600 лет в юго-восточной части РК (Ryzhkova et. al., 2022) показали, что максимальная пожарная активность приходится на XVII–XIX века и первую половину XX столетия. Это связано с массовым освоением этой территории человеком. Однако, как показал анализ построенной модели, преобладающая роль в возникновении пожаров на данной территории принадлежит природному грозовому фактору, а не человеку, по сравнению с западными районами европейского Севера России и Скандинавии. Отмечено, что сосновые леса в юго-восточной части РК занимают уникальное положение экосистем с самым коротким воздействием антропогенного фактора.

Анализ пожарной книги на юго-востоке РК показал, что максимумы вспышек пожарной активности от гроз характеризуются «волнообразной» кривой чередующейся пиками пожаров через 10-летние периоды, максимумы через 20 лет. В целом, за наблюдаемый период процент возгораний, происходящих от гроз, составил 64%, человека – 29 и по не установленным причинам – 7%. Согласно данным пирогенного мониторинга Красноярск, главной причиной возникновения пожаров выступает человек (59%), от гроз – 32%, по не установленным причинам – 7% (Щетинский, 2001; Иванов, Иванова, 2010).

Минимальный возраст сосны, начиная с которого она может переносить воздействие низового пожара, переходящего от слабой до средней интенсивности, составил 13–30 лет, с диаметрами без коры у основания ствола от 4 до 9 см. Согласно И.С. Мелехову (1948), этот возраст у сосны составляет 20–50, по А.В. Тюрину (1925) 16–20, по П.М. Ермоленко (1987) 20–30 лет.

ГЛАВА 5. ЛЕСОВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС В СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Возобновление в сосняках крайнесеверной тайги идет преимущественно сосной. В составе подроста присутствуют ель, береза порослевого происхождения, редко лиственница и осина. Количество подроста варьирует от 1.7 до 4.0 тыс. экз. га⁻¹. Схожие показатели состава и густоты молодого поколения отмечаются в сосняках Кольского полуострова (Семенов с соавт., 1998). Коэффициенты варьирования высоты (61–123%) свидетельствуют о накоплении подроста различных категорий крупности. Коэффициент

жизненного состояния подростка характеризуется преимущественно как здоровый. Ослабленный подросток отмечается в сосняке лишайниковом, что, возможно, объясняется конкуренцией со стороны взрослых деревьев.

Большинство исследованных северотаежных сосняков развиваются на месте вырубок. Для них характерно наличие крупного подростка, состоящего преимущественно из непрерывно возобновляющейся порослевой березы, остатков последующего возобновления сосны и формирующей второй ярус ели. Количество подростка на момент учета 2016 года в сосняках составило от 1.3 до 8.7 тыс. экз. га⁻¹. Отмечено снижение густоты подростка, тогда как в послепожарном сосняке зеленомошном, его количество увеличилось с 4.5 до 5.2 тыс. экз. га⁻¹. В северотаежных сосняках различных типов Архангельской области и РК накапливается от 2.1 до 6.7 тыс. экз. га⁻¹ хвойного подростка (Ларин, Паутов, 1989). Преобладает преимущественно крупный и средний хвойный подрост. Подрост мелкой категории (40–80 %) доминирует только в естественно развивающихся старовозрастных сосняках.

Возобновление в сосняках средней тайги происходит в основном теми же видами древесных растений, которыми сформирован материнский древостой. Сосна в составе подростка доминирует в относительно сухих типах условий местопроизрастания (79–99%). В сосняках с увеличением влажности, плодородия почвы в составе подростка начинают преобладать ель (до 90%) и береза (до 50%). Практически во всех типах леса в подросте юго-восточной части РК присутствует кедр. Средняя высота подростка сосны изменяется от 0.6 до 5.3 м, коэффициент вариации от 21 до 131%. Средние значения (21–27%) изменчивости высоты характерны только для бруснично-лишайниковых сосняков с давностью пожара 2–19 лет. После пожара средней интенсивности сохраняются только крупные особи сосны, после пожара давностью 15–20 лет начинает преобладать мелкий подрост. Хвойный подрост в основном категории здоровый. Возраст подростка сосны под пологом древостоев достигает 93 лет.

Естественное возобновление постветровального и незатронутого участка лишайниковых сосновых сообществ показало, что у подростка сосны, находящегося под пологом древостоя, рост в высоту протекает плавно, без резких скачков. Средний прирост в высоту у нее составил 14.0±0.4 см в год. Следует отметить, что после ветровала (2004 г.) подрост сосны имел угнетенный рост, тогда на момент исследований (2014 г.) деревья сосны были представлены здоровыми крупными экземплярами с приростом до 45 см в год.

Долговременные наблюдения в сосняках брусничных и черничных типов средней тайги выявили, что в составе подростка увеличивается доля кедра и его улучшения состояния. В северотаежных сосняках с появлением из подростка нового второго поколения, количество подростка снижалось с 4.2 до 2.6 тыс. экз. га⁻¹. На всех ППП отмечается увеличение коэффициента вариации высоты (> 30%) хвойного подростка, что свидетельствует об его активном развитии и поступлении новых деревьев в его состав. При длительном отсутствии (более 100 лет) пожаров в сосняках черничных накопившееся количество крупного подростка ели активно переходящей во второй ярус сосняков.

В сосняках нет определенной связи (r^2) между плотностью подростка и условиями местопрорастания. Не отмечаются связи между плотностью подростка и абсолютной полнотой древостоев (0.01–0.09), а так же между плотностью деревьев в древостое (0.08–0.18). Такое явление А.В. Побединский (1965) объясняет частыми низовыми пожарами и особенностями условий прорастания конкретного региона.

ГЛАВА 6. ДИНАМИКА РОСТА СОСНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Рост деревьев сосны по диаметру, высоте и объему стволовой древесины. Анализ динамики роста деревьев сосны по диаметру в древостоях сосняков северной и средней тайги показал схожие темпы накопления древесины по толщине (рис. 6). В сосняках черничных, брусничном, лишайниковом кривые роста деревьев сосны по диаметру характеризуются только фазой интенсивного роста. В среднетаежном сосняке каменистом у деревьев в возрасте 150-200 лет отмечается переход в стадию стационарного роста, которая длится до 200 лет, после чего наблюдается увеличение прироста. Это подтверждает, что точка (возраст), характеризующая затухание роста и переход в стационарное состояние, находятся за пределами отмеченного нами возраста. В сосняках сфагновых прослеживаются все стадии роста по диаметру.

Таким образом, практически во всех типах сосняков средней и северной тайги, развитых на автоморфных почвах, идет сравнительно интенсивное накопление стволовой древесины по диаметру до 250 лет и более. В сосняках черничных стабильный рост деревьев в толщину отмечается в возрасте до 330 лет. Низкие темпы роста деревьев наблюдаются в сфагновых сосняках. В условиях европейского Севера в старовозрастных сосняках таежной зоны интенсивный рост сосны по толщине продолжается в возрасте 200 и более лет (Левин, 1966). В рассматриваемых нами типах сосняков средней тайги отмечается высокая связь роста сосны по диаметру с ее возрастом ($\eta = 0.85-0.95$). Связь между ростом по диаметру и высотой у деревьев сосны близка к линейной ($r=0.88-0.97$). Связи сосны между ростом по диаметру с высотой и объемом составляет 0.98–1.00.

В среднетаежных сосняках черничных и брусничных IV классов бонитетов кривые хода роста деревьев по высоте имеют довольно близкие темпы нарастания. В данных типах леса также как и по диаметру не наблюдается снижения темпов роста, то есть перехода их к стадии стационарного роста. В сосняках V классов бонитета более интенсивный рост сосны по высоте отмечается в лишайниковом типе – до 80 лет, далее наблюдается снижение прироста, которое длится до 160 лет, после отмечается небольшое его увеличение.

В сосновых фитоценозах средней тайги относительно высоким приростом по объему ствола обладает сосна в черничном и брусничном типах леса. Начало интенсивного роста в разных типах условий прорастания различно. В

сосняках зеленомошных, лишайниковых и каменистых интенсивный рост по объему наступает в возрасте 20–60 лет. Замедленным ростом характеризуются сфагновые сосняки, где фаза интенсивного роста по объему начинается в 80 лет. Связь роста сосны по объему с возрастом дерева характеризуется как тесная ($\eta = 0.78–0.98$).

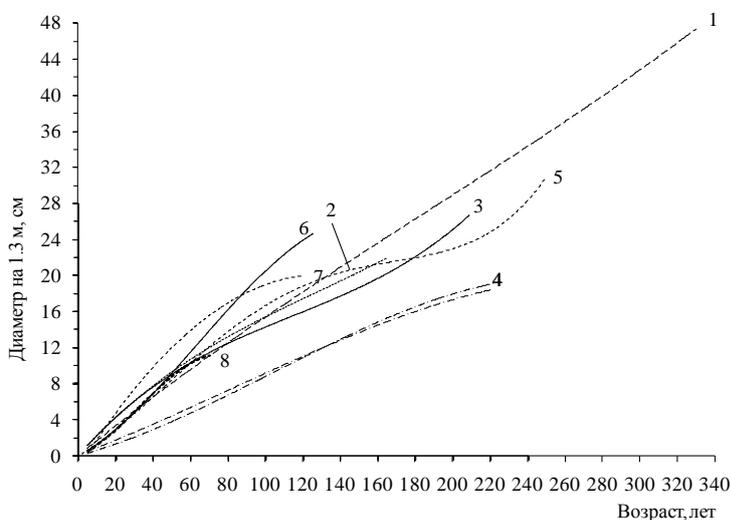


Рис. 6. Возрастная динамика роста деревьев сосны по диаметру в среднетаежных сосняках: 1 – черничном, 2 – брусничном, 3 – лишайниковом, 4 – сфагновых (северная и средняя тайга), 5 – лишайниковом каменистом. Северотаежных сосняках: 6 – чернично-зеленомошном, 7 – зеленомошном, 8 – долгомошно-сфагновом.

Текущий прирост сосны по диаметру, высоте и объему. В условиях средней тайги интенсивный текущий прирост сосны по диаметру отмечается в возрасте 10–50 лет и продолжается до 200 лет. В сосняках черничном, брусничном и лишайниковом интенсивный рост отмечается в молодом возрасте (10–30 лет) и достигает 3–3.5 мм в год. В сфагновых сосняках наблюдается плавное увеличение прироста, который длится от 60 до 160 лет, с максимумами 1.7 мм в год. Интенсивный прирост по диаметру в сосняке каменистом, длится от 30 до 90 лет, достигая 3.5 мм в год.

Установлено, что изменение прироста по толщине в первые годы после пожара в сосняках зависит от возраста древостоя и типа леса (Мелехов, 1948). Так, увеличение прироста деревьев по объему после пожара наблюдается в основном в зеленомошных сосняках. В лишайниковом он практически не увеличивается, что объясняется бедностью почвы и огневым повреждением сосны. Следовательно, изменение ширины годичных колец сосны после низовых пожаров для некоторых сосняков может свидетельствовать и об общем увеличении прироста деревьев по толщине. При этом те деревья, которые первоначально реагировали на огневое повреждение снижением прироста и уменьшением ширины годичных колец, образующихся в послепожарный период, в дальнейшем могут оправиться и усилить рост по сравнению с допожарным периодом.

В северотаежных сосняках зеленомошных типов максимальный прирост по диаметру отмечается в 20–50 лет. В долгомошно-сфагновом типе максимум накопления древесины по диаметру идет в 30–50 лет. В сфагновых сосняках в росте по толщине наблюдается стабильное накопление древесины без максимумов и минимумов 0.04 – 0.05 см в год. В северотаежных сосняках Архангельской области прирост деревьев по диаметру увеличивается к 25–30

годам, после чего постепенно снижаться (Феклистов с соавт., 1997). Интенсивный прирост сосны по высоте в большинстве рассматриваемых типов среднетаежных сосняков начинается в 20–40 лет и длится до 60–90 лет, в сфагновом до 160 лет. Максимальные значения этих показателей в сосняках черничном, брусничном и лишайниковом составляют 0.32, в каменистом – 0.25 и сфагновом – 0.12 м в год. В сосняках зеленомошных Среднего Приангарья, период интенсивного роста древостоя по толщине связан с активизацией роста деревьев в высоту и длится до 70–90 лет (Бузыкин с соавт., 1986).

Интенсивное накопление древесины по объему во всех рассматриваемых типах сосняков начинается в возрасте 20–30 лет. Самый высокий прирост по объему отмечен в сосняках брусничном – 15 и черничном, где он составил 11.5 дм³ в год. В лишайниковом и каменистом типах более высоких значений этот показатель достигает 5–6, а в сфагновом – 2 дм³ в год. В сосняках черничных отмечается замедление текущего прироста с возраста 240 лет. В сосняках брусничном – 160, лишайниковом – 200 и каменистом – 240 лет. В сфагновых уже в возрасте 140–160 лет отмечается снижение прироста, где он не превышает 0.75 дм³ в год. Текущий прирост деревьев сосны по диаметру, высоте и объему, показывает, что связь (r) между этими показателями во всех типах сосняков характеризуется высокими показателями (0.84–0.96). Таким образом, практически во всех типах леса идет постоянное накопление объема древесины. Замедление роста отмечается только в 240-летнем возрасте сосняка черничного типа. С увеличением сухости и влажности почв происходит снижение текущего прироста.

Средний прирост по объему Динамика среднего прироста сосны по объему почти во всех исследуемых нами лесорастительных условиях среднетаежных сосняков начинает увеличиваться с 5–20, а в сфагновых с 40-летнего возраста. Более высокими показателями среднего прироста по объему обладают деревья сосны черничных и брусничных типов, где они достигают 6.5 дм³ в год. В сосняках лишайниковом и каменистом средний прирост по объему у сосны составляет 2, а сфагновом – менее 0.5 дм³ в год. Динамика интенсивного роста сосны происходит в возрасте 80–100 лет. В сосняке черничном не наблюдается перехода в стадию стационарного состояния. В сосняке брусничном и лишайниковом данный переход в эту стадию роста наступает в 160 лет, лишайниковом каменистом – 100, в сфагновом – 200 лет. Связь среднего прироста (r) по объему стволовой древесины сосны между зеленомошной, черничной и лишайниковой, а также между брусничной и лишайниковой типами сосняков характеризуется очень высокой ($r=0.93–0.98$). Высокая связь данного показателя отмечена и в сосняках лишайникового и лишайникового каменистого типов (0.87).

Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны. Динамика многолетней среднегодовой температуры и суммы годовых осадков показывает выраженную тенденцию роста количества осадков и температуры воздуха на Северо-Востоке европейской части России. На территории РК среднегодовые значения метеопараметров имеют неоднородный характер. 70-летние

метеонаблюдения в подзоне крайне северной тайги, показывают увеличение осадков на 220 мм. Температура за этот период, здесь изменилась незначительно ($0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет). В северной тайге, за последние 60 лет сумма среднегодовых осадков поднялась на 100 мм, температура – на 1°C . В условиях средней тайги среднегодовое количество осадков в западной точке возросло на 200, в Предуралье на 250 мм. Температура повысилась на $1-1.5^{\circ}\text{C}$. В южной тайге температура увеличилась на 2°C , сумма осадков на 100 мм.

Коэффициенты корреляции остаточных древесно-кольцевых хронологий сосны изменяются от 0.5 до 0.7. Показатель чувствительности близкий к 0.3 и выше этого значения свидетельствует о достоверном проявлении климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий (Шиятов, 1986). Коэффициенты чувствительности (*sens*) изменяются в пределах 0.2–0.3.

Проведенный бутстреп анализ влияния температуры воздуха за вегетационный период текущего года на прирост древесины сосны показал положительную достоверную связь с температурами мая в северной тайге и Северном Приуралье (ИЛТ, UNA, PECH) (Рис. 7). На двух южных точках РК (SYK, KOY), в течение рассматриваемого календарного периода проявляется положительная достоверная связь радиального прироста с температурой воздуха в июле. Наблюдения на самой северной точке (INT) показали отсутствие влияния температур на прирост деревьев по радиусу в течение всего вегетационного периода. Отрицательная связь радиального прироста со среднемесячными осадками отмечается в северных районах. В сосняках багульниковых (крайнесеверная тайга), отрицательное влияние осадков на рост по толщине проявляется в июле. В сосняках северной тайги эта связь проявляется в мае. В средней (SYK) и южной (KOY) тайге связь прироста деревьев сосны по радиусу с осадками отсутствует. Анализ связи прироста деревьев текущего года с температурой воздуха и осадков прошлого года показал отсутствие связи между этими показателями. Выявленное в сосняках северной и средней тайги положительное влияние на прирост сосны майских температур проявляется в связи со сдвигом в этом месяце погодных условий, вследствие чего сигнал июньской температуры сместился на более ранние сроки. Проведенные ранее исследования показали достоверный сигнал прироста сосны с температурами июня и июля (Мацковский, Соломина, 2011; Манов, 2014; Гурская и др., 2017).

Корреляция взаимоотношений индексированных хронологий сосны со скользящими 15-дневными значениями климатических значений показала, что в условиях средней и южной тайги в начале вегетационного периода положительная связь радиального прироста с температурой воздуха, при ее ослаблении, сменяется на положительную связь с осадками. Однако, такая особенность в подзонах крайнесеверной и северной тайги не проявляется. Здесь в большей степени на прирост сосны положительное влияние оказывает температура воздуха.

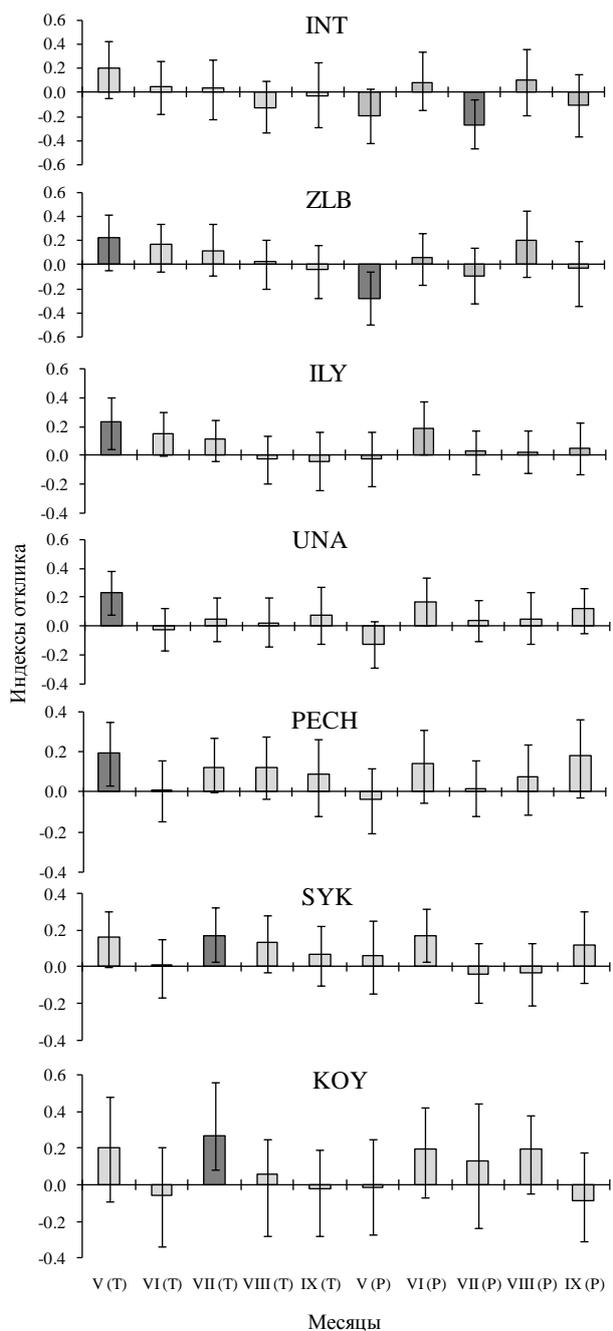


Рис. 7. Функции отклика индексов прироста сосны (регрессионные коэффициенты) со среднемесячными температурами воздуха (Т) и суммами месячных осадков (Р). Код участков INT – Инта, ZLB – Зеленоборск, ILY – Илыч, PECH – Верхняя Печора, SYK – Сыктывкар, KOY – Койгородок. Темные столбики указывают на достоверные значения ($p \leq 0.05$).

Анализ корреляции индексов прироста сосны со среднемесячными температурами воздуха и суммами месячных осадков в плавающем окне в диапазоне 25 лет показал неустойчивый сигнал за вегетационный период. За последние 30 лет на европейском Северо-Востоке происходит ослабление климатического сигнала в радиальном приросте древесины, что, видимо, определяется адаптационными способностями сосны к благоприятным условиям. Исследования в Урало-Сибирской Субарктике показали, что с потеплением климата в начале XX столетия прирост деревьев был наиболее синхронным с температурами воздуха, тогда как в конце столетия эта связь проявлялась слабо (Ваганов с соавт., 1996). С потеплением климата и повышенной концентрацией углерода в

атмосфере происходит увеличение прироста, затем эта реакция ослабевает, и деревья начинают больше реагировать на эдафические факторы (Максимова, Койте, 1999).

ГЛАВА 7. СОСТОЯНИЕ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Анализ жизненного состояния показал, что в среднетаежных сосняках отмечается довольно высокая изменчивость количества деревьев сосны категории здоровые. В условно-разновозрастных средневозрастных и приспевающих сосняках лишайниковых преобладают деревья здоровой категории (75–90%). Древостой этих сообществ развиваются после низовых пожаров разной интенсивности с одним поколением деревьев сосны. При

пожарах высокой интенсивности из общего числа деревьев на долю здоровых приходится 38%, слабо поврежденных – 28, сухостойных – 31%.

В ступенчато-разновозрастных сосняках, на долю здоровых деревьев приходится 15–65%. В данном типе возрастной структуры, сравнивая до пожара и после устойчивого низового пожара, происходит снижение доли участия в деревьях здоровой категории с 58 до 45% и увеличение свежего сухостоя – с 6 до 9%. Обследованный послепожарный сосняк брусничного преимущественно состоит из слабо (32%) и среднеповрежденных (29%) деревьев сосны, большая часть из которых представлена старыми 300-400-летними деревьями сосны. Сосняки сфагновых типов с преобладанием в них слабо и средне поврежденных деревьев от 49 до 60 %, на долю здоровых приходится от 23 до 30%. В сфагновых сосняках наиболее распространенным повреждением деревьев сосны является дефолиация в кроне деревьев.

В относительно-разновозрастных сосняках демутационных фаз динамики с преобладанием в древесном ярусе деревьев молодого поколения, количество здоровых деревьев изменяется от 64 до 77%. В сосняке черничном при первом переците 2011 г. отмечается довольно большая доля (17%) свежего сухостоя сосны от общего количества деревьев. Перецит 2019 года показал снижение количества свежего сухостоя, однако здесь увеличилось количество (до 14%) слабо и средне ослабленных деревьев сосны. В остальных типах сосняков доля участия свежего сухостоя в древостое не превышает 9%. Сосняк бруснично-лишайниковый был пройден низовым пожаром средней интенсивности 19 лет назад. В древостое сосняка из общего числа деревьев 32% представлены слабо поврежденными деревьями сосны с незначительными ожогами стволов. В сосняке черничном с давностью пожара 103 года, преобладают деревья категории «здоровый». В древостоях сосняков лишайникового и брусничного типов, с преобладанием деревьев старого поколения, характерно накопление деревьев всех категорий состояния. Проведенный повторный перецит в сосняке брусничном в 2019 году, показал улучшение состояния древостоя с увеличением здоровых деревьев с 70 до 82%. В абсолютно-разновозрастных сосняках сфагновых типов, развивающихся без пирогенного воздействия, на деревья категории здоровые приходится по 75% от общего количества.

Большая часть исследованных нами среднетаежных сосняков представлена здоровыми древостоями с индексом 0.2–0.5. К ослабленным относятся, в основном, старовозрастные сосняки с индексом 0.6–1.2. Сосняки брусничные, пройденные низовыми пожарами высокой интенсивности, представлены сильно поврежденными древостоями с индексом 1.6–1.7. Пожары, по-видимому, вызвали ослабление и последующую флуктуацию старовозрастных поколений. В крайнесеверной тайге во всех трех типах древостоев сосняков преобладают деревья категории «здоровый» 89–91%, с индексом поврежденности 0.22.

В северотаежных сосняках доля деревьев категории «здоровый» изменяется от 41 до 90%, слабо поврежденных от 7 до 26, средне поврежденных от 1 до 12, сильно поврежденных от 1 до 28% от общего числа деревьев. Количество свежего сухостоя не велико (1–4%). Более высокая ослабленность

деревьев проявляется в условно-разновозрастных сосняках, формирующихся на вырубках, что объясняется активной конкуренцией деревьев на данном этапе развития ценозов и активным распадом угнетенных деревьев сосны. Индексы поврежденности в северотаежных сосняках изменяются от 0.04 до 1.4. Так, в сравнении, среднетаежный условно-разновозрастный постпирогенный сосняк бруснично-лишайниковый со схожим средним возрастом 78 лет имеет индекс поврежденности 0.3, тогда как 70-летний чернично-зеленомошный северотаежный сосняк имеет индекс повреждения 1.4. Древостои этих сосняков схожи по запасу стволовой древесины, однако, отличаются густотой, превышающей в северотаежных сосняках, почти в три раза. Такая же закономерность прослеживается в приполярном сосняке лишайниковом, однако, данный сосняк характеризуется как здоровый.

В среднетаежных сосняках связь абсолютной полноты с индексами жизненного состояния показала, что при снижении полноты индексы жизненного состояния увеличиваются. В притундровых и северотаежных сосняках эта связь обратная. Высокая полнота и, как следствие, высокая конкуренция деревьев за экологические факторы приводит к ослабеванию состояния древостоев.

Древостои северотаежных сосняков на период наблюдений (2001-2016 гг.) по жизненному состоянию относятся к категории здоровые ($L_y > 90\%$). Лишь в сосняке осоково-сфагновом жизненность древостоя изменяется от категории ослабленный до категории здоровый. Поврежденность этого древостоя (D) на протяжении всего периода наблюдений составляет 20–27%. Такая тенденция определяется поступлением в состав древостоя большого количества деревьев из подроста сосны и как следствие, выраженной конкуренцией между деревьями сосны. В остальных исследуемых древостоях сосняков поврежденность не превышает 10%.

ГЛАВА 8. ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ (ЗОНАЛЬНЫЕ И ЭКОТОПИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

Анализ модельных деревьев сосны, развивающейся в условиях средней тайги, показал тесную связь фитомассы отдельных фракций с диаметром и высотой ствола. Согласно полученным данным, лучшие результаты обеспечивает степенная функция $y = a \cdot D(H)^b$. Наблюдаются тесные связи между массой отдельных органов как с диаметром ($r^2 = 0.79-0.99$), так и с высотой ($r^2 = 0.35-0.99$) стволов. В сосняках лишайниковых и бруснично-лишайниковых выведены уравнения взаимосвязей фитомассы отдельных органов подроста от его высоты. Эта связь лучше всего описывается степенной кривой, коэффициент детерминации (r^2) изменяется в пределах 0.29–0.98. Полученные уравнения в условиях северной тайги представлены значительными связями массы отдельных фракций с диаметром ствола ($r^2 = 0.73-0.99$).

В древостое среднетаежного спелого сосняка лишайникового аккумулируется 114 т га⁻¹ ОВ, из них 61% концентрируется в стволовой древесине, 4% – в стволовой коре. Крона занимает 15.9% ОВ древостоя, в том

числе доля хвои 3.3, ветвей 12.6%. На корни приходится 19.4% от общей фитомассы древостоя. Масса ОВ древостоя коренного сосняка бруснично-лишайникового составляет 125.2 т га^{-1} , где основным аккумулятором являются надземные органы (99.3 т га^{-1}). Значительная доля ОВ древостоя принадлежит стволу древесине (59.7%), примерно равные доли занимают кора и ветви по 8.4%. На долю хвои приходится 2.8, корней – 20.7%. В древостое среднетаежного 80-летнего сосняка лишайникового (РК) концентрируется 90.3 т га^{-1} фитомассы (Русанова, Слобода, 1974). В спелом сосняке лишайниковом в условиях Карелии запас ОВ равен 119.3 т га^{-1} (Казимров с соавт., 1977). В Швеции в 100-летнем сосняке этого же типа в древесном ярусе концентрируется 113 т га^{-1} ОВ (Albrektson, 1980).

В древостое спелого сосняка черничного аккумулируется 163 т га^{-1} фитомассы. Ель и береза, образующие второй ярус, занимают 1.4% ОВ древостоя. По данным многолетних наблюдений отмечено, что с распадом старых материнских поколений запасы ОВ древостоя снизились на 25.9 т га^{-1} . Ель, с поступлением ее из подроста, увеличивает массу на 0.21 т га^{-1} , масса березы снижается не значительно. В древостое увеличивается доля массы стволу древесине на 4.3%. В древостое основная часть ОВ (67.0%) аккумулируется в стволу древесине. Доля коры составляет 7%, ветвей и хвои (листьев) – 5, корней – 15% от общей фитомассы.

Сосняк чернично-сфагновый представлен древостоем абсолютно-разновозрастной структуры с запасом ОВ 112.7 т га^{-1} . В его составе присутствуют ель, береза, единично кедр, на долю которых приходится 50.1% ОВ. Распределение фитомассы данного древостоя следующее: стволу древесина занимает 54.7%, стволу кора – 7.4, хвоя (листья) – 3.7, ветви – 9.2, корни – 25%. В спелых среднетаежных сосняках этого же типа аккумулируется $97\text{--}114 \text{ т га}^{-1}$ фитомассы (Бобкова, 1987; Осипов, 2013).

Исследованный 120-летний послепожарный древостой северотаежного сосняка зеленомошного накапливает 263 т га^{-1} ОВ, где максимальная аккумуляция в насаждении в процессе развития отмечается у соснового элемента с 72.8 до 175.1 т га^{-1} . С 2001 по 2016 гг. в сосновом древостое отмечается снижение фитомассы на 21.6 т га^{-1} . Такая же тенденция изменения ОВ наблюдается и у лиственницы, что, вероятно, связано с переизгущенностью древостоя и отпадом части деревьев сосны и лиственницы. Относительно стабильное накопление массы выявлено у березы с 30.9 до 55.2 т га^{-1} и ели с 0.5 до 4.3 т га^{-1} . Довольно высокие показатели фитомассы данного древостоя определяются его большой полнотой. В 90-летних сосняках черничных северной тайги Архангельской области древостой аккумулирует 247.7 т га^{-1} ОВ (Вакуров, 1974).

Запасы ОВ древостоя северотаежного осоково-сфагнового сосняка, в возрасте от 101 до 157 лет, изменялись от 90.8 до 109.2 т га^{-1} . С распадом материнского поколения вследствие пожара, в период с 1989 по 2008 г. отмечается снижение массы древостоя с 90.8 до 74.8 т га^{-1} . С образованием

второго молодого поколения и активным переходом сосны из подроста в древостой, в 2016 г. масса ОВ древостоя увеличивалась до 109.2 т га^{-1} .

В среднетаежных сосняках лишайниковом, бруснично-лишайниковом подрост представлен в основном сосной и формирует $0.56 - 2.8 \text{ т га}^{-1}$ ОВ. Масса подроста в сосняке черничном составляет 2.78 т га^{-1} , большую часть, которой (97.5%) занимает подрост ели, остальное (2.5%) приходится на сосну и березу. В сосняке чернично-сфагновом подрост формирует массу 8.21 т га^{-1} , основную часть (56%) которой накапливает ель. На долю подроста березы приходится 40.5%, сосны – 3, кедра – менее 1% от общей массы. В среднетаежном 118-летнем сосняке РК чернично-сфагновом масса ОВ подроста равна 1.88 т га^{-1} (Осипов, 2013).

В северотаежном сосняке зеленомошном масса подроста изменяется незначительно и составляет около 1.1 т га^{-1} . За 15 лет существенные изменения происходят в структуре стволовой древесины с увеличением доли ее массы на 4.9%. В остальных органах процент в наполнении масс остается почти одинаковым. Наибольший вклад в формировании ОВ подроста вносит береза, которая за 15 лет в надземных органах накапливает около 0.2 т фитомассы. Переход ели в состав второго яруса древостоя, и ее замедленный рост свидетельствуют о снижении ее массы с 0.46 до 0.28 т га^{-1} . Фитомассу подроста сосняка осоково-сфагнового северной тайги формирует преимущественно сосна (82.7%). С 2001 по 2016 гг. в фитоценозе отмечается снижение массы подроста.

В среднетаежном сосняке лишайниковом масса надземных органов ЖНП составляет 8.34 т га^{-1} , основным продуцентом которой являются лишайники (97.2%). Растения ЖНП в сосняке бруснично-лишайниковом формируют 4.26 т га^{-1} фитомассы. В массе ОВ растений данного яруса большая роль принадлежит лишайникам (50.3%). В сосняке черничном растения ЖНП аккумулируют 7.64 т га^{-1} ОВ, из них в надземных органах 5.14 т га^{-1} , остальную часть массы занимают корни. В данном типе сообщества в формировании фитомассы растений нижних ярусов большую роль выполняют черника и зеленые мхи (60.7%). Масса ОВ растений ЖНП сосняка чернично-сфагнового равен 9.9 т га^{-1} , из них 60% составляют корни. Надземные органы ЖНП образуют массу 3.97 т га^{-1} , большая часть которой приходится на кустарнички (44%) и сфагновые мхи (27%). Травянистые растения занимают 18.5, зеленые мхи – 10.5%.

Спелые и перестойные сосняки в зависимости от лесорастительных условий в растущих органах способны аккумулировать $127-206 \text{ т га}^{-1}$ ОВ, из них на древостой приходится 81–95%, подрост – 0.4–6.0, травяно-кустарничковые растения – 0.1–6.6 и мхи и лишайники – 1.1–6.3%. В старовозрастных сосняках в сухих органах древесных растений концентрируется от 2.5 до 13.9% от общих запасов ОВ фитоценозов (рис. 9).

За 15 лет наблюдений не смотря на снижение количества деревьев в северотаежном сосняке зеленомошном с 910 до 890 шт. га^{-1} фитоценоз аккумулирует от 242 до 272 т га^{-1} ОВ (рис. 10), где большая часть приходится на древостой. Довольно стабильными на протяжении наблюдений 2001–2016 гг. остаются запасы фитомассы детрита (3.0–2.8%) и подроста 0.4 %. За период

наблюдений в спелом сосняке осоково-сфагновом также отмечается интенсивное накопление ОВ древостоя с 91.6 до 115.2 т га⁻¹. Хорошо прослеживается динамика перехода крупного подроста в состав древостоя со снижением массы (0.7%) и увеличением объема (1%) в древесном ярусе.

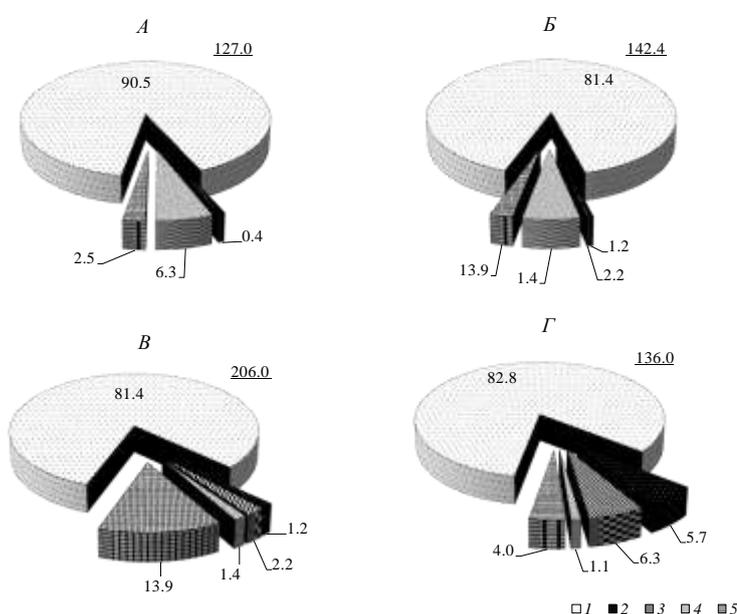


Рис. 9. Запасы ОВ (абсолютно сухого вещества, %) в сосняках средней тайги: А – лишайниковом, Б – бруснично-лишайниковом, В – черничном, Г – чернично-сфагновом. 1 – древостой, 2 – подрост, 3 – травы и кустарнички, 4 – мхи и лишайники, 5 – детрит. Общий запас органического вещества, 127.0 т га⁻¹.

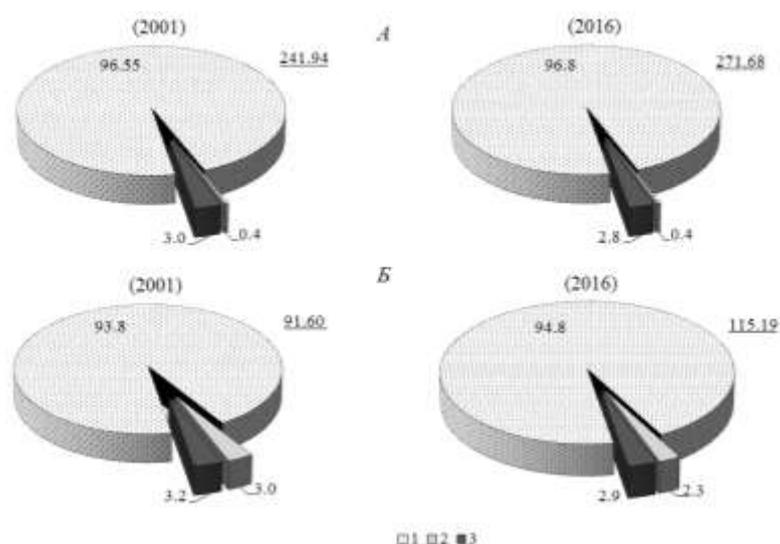


Рис. 10. Динамика запасов ОВ древесных растений (абсолютно сухого вещества, %) в сосняках северной тайги: А – зеленомошном и осоково-сфагновом; 1 – древостой, 2 – подрост, 3 – детрит. В скобках над рисунками указываются годы наблюдений (2001–2016), общий запас ОВ, 241.94 т га⁻¹.

Вертикальный профиль распространения фитомассы древостоев спелых и перестойных среднетаежных сосняков разных типов различен. В сосняке лишайниковом она располагается в слое 19 м, бруснично-лишайниковом – 21, черничном – 26, чернично-сфагновом – 17 м, где основная масса приходится на стволовую древесину, концентрирующуюся в слое 0–4 м. Протяженность крон по вертикали в сосняках разных типов составляет от 15 до 24 м. Основная масса ассимиляционного аппарата аккумулируется в толще 8–24 м. Индекс листовой поверхности в древостоях сосняков разных условий произрастания составляет от 4.9 до 5.2 га га⁻¹. Большая площадь листовой поверхности характерна для

древостоя сосняка черничного, с наличием в его составе темнохвойных видов во втором ярусе, где максимум листовой поверхности на высотах 8–10 и 18–20 м. Вертикальный профиль распределения листовой поверхности древостоя зависит от его структуры и состава, хотя его максимум накопления в большинстве типов сосняков свойственен верхней части полога.

Продукция ОВ древостоев и подроста в исследуемых среднетаежных сосняков характеризуется следующими показателями: в лишайниковом – 1.54, бруснично-лишайниковом – 2.33, черничном свежем – 2.39 и чернично-сфагновом – 2.42 т га⁻¹ в год. В условиях Карелии в сосновых древостоях в зависимости от типа леса годичный прирост фитомассы изменяется от 2.3 до 7.6 т га⁻¹ (Казимиров, 1977). Продукция ОВ растений напочвенного покрова по типам леса изменяется от 0.45 до 2.75 т га⁻¹ в год. В северотаежном сосняке черничном в период с 1967 по 2001 гг. средний прирост ОВ составил 2.56 т га⁻¹ в год. В период с 2001 по 2016 гг. продукция фитомассы древостоя несколько снизилась и составила 1.54 т га⁻¹ в год. В процентном отношении с увеличением возраста древостоя в сосняке черничном отмечено повышение доли участия продукции стволовой древесины с 57 до 60, коры с 3.5 до 5.1, ветвей с 11.7 до 13.3%. Тогда как доля участия прироста хвои и корней снизилась на 1 и 6%. В сосняке осоково-сфагновом в период с 1967 по 1989 гг. отмечены относительно высокие темпы пополнения древесины (2.17 т га⁻¹ в год), схожие с чернично-сфагновым древостоем средней тайги. В 80-х годах фитоценоз был подвержен низовому пожару, что вызвало ослабление деревьев первого поколения и его распада. За 20 лет период наблюдений прирост массы растений имел отрицательные значения от -0.34 до -1.49 т га⁻¹ в год.

Проведенный сравнительный анализ депонирования растительного ОВ естественно развивающегося и постветровального сосняков лишайниковых показал, что через десять лет после ветровала в сосняках аккумулируется 91.8 т га⁻¹ фитомассы, это 1.4 раза меньше чем в естественно развивающемся сосняке. В постветровальном сосняке основная масса ОВ концентрируется в детрите. Годичная продукция ОВ нарушенного ветровалом сосняка в 1.9 раза меньше, чем фонового, и составляет 1.02 т га⁻¹. В накоплении продукции фитомассы в постветровальном сосняке лишайниковом равноценна роль деревьев и ЖНП, тогда как в естественном сосняке основную роль в этом процессе выполняет древостой. После ветровала в формировании ОВ ЖНП снижается участие лишайников и увеличивается доля кустарничков и мхов. Ежегодно константы разложения детрита на ветровале составили 0.02 в год.

При пожаре средней интенсивности с фрагментарным переходом в низовой устойчивый с прогоранием растений и подстилки вокруг комлевой части стволов и валежа до минеральных горизонтов почвы, потери фитомассы древесного яруса равна 9.10 т га⁻¹, что составляет 7.3% от массы (132 т га⁻¹) древостоя сосняка. Основные потери ОВ приходятся на тонкомерные деревья сосны. Фитомасса подроста после пожара стала меньше на 62.2% от первоначальной (2.82 т га⁻¹). Огнем полностью уничтожен ЖНП с общей массой надземных частей 3.2 т га⁻¹. Следует отметить, что не учтены корни

кустарничкового яруса, так как при пожаре этот компонент практически не пострадал. Общие потери фитомассы растущих растений составили 14.1 т га^{-1} , из них значительную часть занимает древостой 63.4% и ЖНП – 24.4%.

Сосняк бруснично-лишайниковый был пройден низовым устойчивым пожаром высокой интенсивности. Пожарные потери в фитомассе древесных растений составили 56.4%. Из них порядка 46.7% потеряно в древостое и всего подроста, полного сгорания детрита и ЖНП включая подстилку (табл.). Согласно Г.А. Ивановой с соавт., (2017), при высокой интенсивности пожара в сосняках Сибири в древостое отпад деревьев достигает 57% или полной гибели древостоя, приводящей к накоплению большого количества легковоспламеняемых горючих материалов, что негативно сказывается на возникновении повторного пожара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сосновые леса формируют как чистые по составу, простые по форме одноярусные так и смешанные по составу, сложные по форме двухъярусные древостои, III-Vб классов бонитета. В зависимости от условий местопрорастания и при разной степени нарушенности сосняков относительная полнота древостоев изменяется от 0.1 до 1.5, запас стволовой древесины – от 11 до $367 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Древесный ярус сосняков формируют деревья сосны от 1 до 6 поколений.

В сосновых насаждениях выявлены древостои шести типов возрастной структуры: условно-одновозрастные, ступенчато-, условно-разновозрастные, относительно-разновозрастные с демулационными фазами динамики, редкими типами представлены абсолютно- и циклично-разновозрастные. Последние представляют уникальность древостоя в структуре, формируясь без влияния внешней среды или минимального воздействия пирогенного фактора. В процессе развития и под влиянием эндо- экзогенных факторов древостои сосновых экосистем могут переходить из одного типа возрастной структуры в другой. Для сосны в зависимости от возрастной структуры древостоя характерна умеренная и высокая изменчивость возраста (5.4–70%) диаметров (9.4–67.1%) и высот (10.2–29.9%).

Основным фактором, определяющим строение древостоев сосняков, являются пожары. Периодичность горения их в подзоне средней тайги равна в среднем 48 лет, средний межпожарный интервал составляет от 24 до 80 лет. За последние два десятилетия отмечается снижение влияния антропогенного фактора на пожарную активность. В условиях северной тайги заселение сосны на вырубках с применением палового метода уборки порубочных остатков происходит быстрее, чем в древостоях послепожарного происхождения.

Показатели пространственных взаимосвязей деревьев в среднетаежных сосняках, на автоморфных почвах показали, что древостои формируют сложную структуру. Вертикальная структура полога состоит из: «регулярной понизу», «регулярной поверху», «симметричной» и «диффузной» структур. Размещение деревьев на площади меняется с их возрастом и на стадии

послепожарного заселения территории носит агрегированный характер. Конкурентные взаимоотношения в группах подростка с высокой плотностью приводят их к постепенному распаду, ведущему к случайному размещению их на площади. Для деревьев молодого поколения характерно слабое группирование особей. Крупные деревья размещены на площади случайно. Древостои сосняков характеризуются ассиметричным развитием крон.

Наблюдения за динамикой развития древостоев сосняков средней тайги с давностью пирогенного воздействия более ста лет назад показали значительные изменения в их структуре. Приведенная модель связи варьирования возраста с варьированием диаметра стволов показывает переход древостоев из одного типа возрастной структуры в другой. При длительном отсутствии или слабой пожарной активности, а также при участии в составе древостоя ели наблюдается тенденция смены сосновых сообществ на еловые. Динамика сосняков северной тайги, показала, что древостои сосняков сфагновой группы типов характеризуются схожей динамикой развития, которая выражается увеличением густоты древостоев и запасов древесины в них. В насаждениях черничных сосняков отмечается снижение количества деревьев с накоплением объема древесины ствола. В пострубочных насаждениях интенсивное самоизреживание древостоя происходит за счет отпада мелколиственных пород. Древостой сосняка черничного, развивающегося после пожара, сохраняет в течение 30 лет относительно стабильный состав и прирост.

Возобновление древесных растений под пологом сосняков происходит удовлетворительно. В большинстве типов сосняков имеется подрост различного количества, состава и состояния. Плотность живого подростка под пологом сосняков подзоны крайне северной тайги колеблется от 1.7 до 4.02, северной – от 1.2 до 10.0, средней – от 0.5 до 21.5 тыс. экз. га⁻¹, количество самосева составляет от 0.02 до 67.9 тыс. экз. га⁻¹. В условиях средней тайги индекс жизненного состояния, подростка сосны и кедра при длительном отсутствии пожаров характеризуется как здоровый ($C=87-100\%$), к ослабленному относится ель ($C=50-79\%$). В сосняках на автоморфных почвах преобладает подрост сосны, с продвижением на восток, а также увеличением влажности и трофности почвы, под пологом сосняков начинает доминировать подрост кедра, ели и березы. В крайне северной тайге во всех древостоях сосняков преобладает сосновый подрост с индексом жизненного состояния 70–83% с примесью лиственницы, ели и порослевой березы. В северотаежных сосняках в составе подростка достаточно много ели и березы (40–80%). Состояние соснового подростка снижется, что связано с увеличением под пологом древостоев сосняков доминирования елового подростка. Вариация высоты хвойного подростка изменяется от 19 до 190%, что указывает на его разновысотность и растянутость возраста. Нет связи между густотой подростка и типом леса, а также между количеством подростка и абсолютной полнотой древостоя.

Сосняки формируют как здоровые, так и ослабленные по состоянию древостои. Жизненное состояние зависит от возрастной структуры, давности и

силы низовых пожаров. В условно-разновозрастных сосняках при условии длительного отсутствия низовых пожаров древостои характеризуются как здоровые. Относительно-разновозрастные сосняки с демутационными фазами динамики, в зависимости от стадии развития, относятся к здоровым и ослабленным. Ступенчато-разновозрастные сосняки относятся к категории ослабленные, что объясняется наличием поврежденных деревьев старших поколений и свежего сухостоя. Абсолютно-разновозрастные сосняки соответствуют категории «здоровый». Древостои северотаежных сосняков за жизненным состоянием показали, что фитоценозы на протяжении многих лет характеризуются как здоровые. С появлением нового поколения деревьев и повышенной конкуренцией показатель жизненного состояния снижается.

Динамика роста сосны определяется условиями местопроизрастания. С ухудшением лесорастительных условий и продвижением на север и северо-восток снижаются темпы роста деревьев. Лучшим ростом характеризуются древостои сосняков черничных и брусничных типов леса на автоморфных подзолистых почвах, как в северной, так и средней подзонах. Далее по убыванию темпов роста, следуют лишайниковые и лишайниковые каменистые и сфагновые сосняки. Связь (η) роста сосны по диаметру, высоте и объему ствола в большинстве типов сосняков тесная (0.78–0.98). Существуют довольно тесные связи между приростами по диаметру и высоте, а также между диаметром и объемом ствола деревьев. Рост деревьев сосны по диаметру отмечен в течение всего учтенного нами возраста, особенно он проявляется в черничных типах леса северной и средней тайги. Взаимосвязь среднепериодического текущего прироста деревьев сосны с возрастом во всех типах сосняков характеризуется как высокая (0.84–0.96). Установлены тесные связи между диаметром и высотой деревьев сосны и отдельными фракциями фитомассы и годичной продукции.

Древесно-кольцевые хронологии сосны характеризуются неоднородностью климатического отклика. Основным из факторов, определяющих рост сосны, выступают температуры мая на территории северной тайги и северного Предуралья, температуры июля – в центральной части РК средней и южной тайги. На северной границе леса рост сосны по толщине лимитирован июльскими температурами на относительно прогреваемых песчаных почвах. Отрицательная связь прироста по диаметру сосны с осадками мая и июля проявляется в северных районах региона. Корреляция индексов прироста сосны со среднемесячной температурой воздуха и суммами месячных осадков показала ослабление сигнала прироста сосны с конца XX столетия по настоящее время. Такую тенденцию, видимо, следует объяснить адаптивными способностями сосны к относительно благоприятным термическим условиям. Скользящие 15-дневные функции отклика прирост/климат показали, что в течение всего вегетационного периода при ослаблении положительного влияния температуры на прирост, сменяется положительным достоверным влиянием на него осадков. Эта тенденция проявляется только на территории средней и южной тайги РК, в северных

районах влияние на прирост по толщине лимитируется положительными значениями температуры воздуха и отрицательным влиянием осадков.

Выявлено, что в фитоценозах среднетаежных сосняков, в зависимости от условий местопроизрастания, аккумулируется от 127 до 206 т га⁻¹ ОВ. В сосняках северной тайги запасы ОВ древесных растений в связи с возрастом и типом лесорастительных условий изменяются от 91.6 до 271.7 т га⁻¹. Ведущая роль в накоплении ОВ принадлежит древостою (86–94%). Представленность в фитомассе фитоценозов подроста и растений ЖНП незначительна (0.5–6.0%). Масса ОВ в виде детрита изменяется от 9.1 до 64 т га⁻¹. Растения среднетаежных сосновых фитоценозов разных типов ежегодно депонируют 1.99–5.17, северотаежных – от 2.0 до 2.7 т га⁻¹ в год ОВ. В формировании годичной продукции существенная роль принадлежит стволу и хвое (листьям).

Вертикальный профиль спелых и перестойных среднетаежных сосняков разных типов различен. В среднетаежных сосняках в зависимости от типа леса фитомасса располагается в слоях от 17 до 26 м. Протяженность крон по вертикали составляет от 15 до 24 м, где основная масса ветвей и хвои сосредоточена в слое 8–24 м. Индекс листовой поверхности изменяется от 4.9 до 5.2 га га⁻¹. Большая площадь листовой поверхности характерна для древостоя сосняка черничного, с наличием в его составе темнохвойных древесных видов второго яруса, где древостой представлен двумя максимумами листовой поверхности на высотах 8–10 и 18–20 м. Вертикальное распределение массы фракций отдельных органов дерева не имеет четкой выраженности в определенной функции, но наиболее часто описывается полиномом третьего порядка и рациональной функцией.

Фитоценоз спелого среднетаежного сосняка лишайникового аккумулирует 127, тогда как на десятый год после ветровала такой сосняк концентрирует 92 т га⁻¹ ОВ. В естественно развивающемся сосняке основная часть фитомассы формируется в древостое 91%, в фитоценозе ветровального сообщества в детрите (83%). Ежегодные константы разложения детрита составили 0.02 в год. Годичная продукция растительного ОВ постветровального сосняка лишайникового составляла 1.2 т га⁻¹, что в 1.9 раза меньше, чем в фоновом. В накоплении фитомассы в нарушенном ветровалом сосняке деревья сосны и растения ЖНП выполняют почти равноценную роль (около 50%), тогда как в ненарушенном фитоценозе сосняка в приросте фитомассы значима роль древостоя (77%). В старовозрастных сосняках средней тайги пожары средней интенсивности приводят к снижению запасов фитомассы на 11 %. Масса ОВ детрита и КДО остается неизменной, в результате выгорания ранее погибших деревьев в древостое и отпаде погибших деревьев во время пожара. При пожарах высокой интенсивности потери объема ОВ составляют 56%.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прикладные аспекты проводимых исследований связаны с созданием экологического мониторинга лесов и разработкой одной из важнейших проблем

лесоведения – экологии сообществ. Полученные новые знания о строении, росте древостоев и лесовозобновлении сосняков найдут применение при разработке руководств и рекомендаций ведения ЛХ в сосняках европейского Северо-Востока и сопредельных регионов России. Заложенные ППП послужат объектами длительного мониторинга, развития и состояния сосняков в условиях Севера бореальной зоны.

Данные по биологической продуктивности важны при оценке углерододепонирующей роли сосновых лесов в биосфере северного полушария. Они будут использованы для оценки резервуаров и годичного депонирования фитомассы и углерода региона с учетом растительных зон. Материалы исследований сосняков найдут применение при определении потенциальных растительных ресурсов сосновых лесов, как основы развития лесозаготовительной отраслей промышленности РК.

Пожары являются неотъемлемой частью естественного развития сосняков. Следовательно, ликвидируя огонь, человек вмешивается в естественные процессы их развития, тем самым нарушает ход эволюционного развития девственной тайги. Особенно это касается сосняков заповедных территорий, которые выступают эталоном коренных лесных сообществ. Не давая распространяться огню человек подвергает смене коренных сосновых сообществ на темнохвойные еловые. Чаще всего смене подвержены сосняки зеленомошной группы типов. Длительное отсутствие огня приводит к значительному накоплению органогенного горизонта почвы, который при аномально сухом периоде лета способен выгорать полностью, нарушая структурную организацию древостоя.

Для повышения продукционной способности сосняков необходимо проведение рубок ухода (прореживания) в условно-одновозрастных, - разновозрастных и ступенчато-разновозрастных древосоях, с преобладанием деревьев молодого поколения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Кутявин, И. Н.** Возобновительный процесс в коренных сосняках предгорий Урала бассейна верхней Печоры / И.Н. Кутявин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – № 1(5). – С. 1304–1308.
2. **Кутявин, И.Н.** Возрастная структура древостоев старовозрастных сосняков в верховьях Печоры / И.Н. Кутявин // Лесной вестник (Вестник МГУЛ). – 2013. – № 3. – С. 45–51.
3. **Кутявин, И.Н.** Возрастная динамика роста сосны в условиях Северного Приуралья / И.Н. Кутявин // ИВУЗ. Лесной журнал. - №5 (335). – 2013. – С. 115–123.
4. Манов, А.В. Запасы органического вещества древесных растений в постветровальных сообществах ельника зеленомошного и сосняка

лишайникового / А.В. Манов, И. Н. **Кутявин**, М. Н. Ковалев, А. Ф. Осипов // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 6. – С. 43–53.

5. **Кутявин, И.Н.** Биологическая продуктивность коренного среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового (средняя Печора) / И.Н. Кутявин, Н.В. Торлопова, А.Ф. Осипов, Е.С. Кузьмина, К.С. Бобкова // Растительные ресурсы. – Вып. 4. – 2016. – С. 484–500.

6. Осипов, А.Ф. Соотношение между запасами органического вещества в крупных древесных остатках и фитомассе древостоя среднетаежных сосняков европейского Северо-востока России / А.Ф. Осипов, **Кутявин И.Н.** // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. №221. С 175–178

7. Манов, А.В. Размерная, возрастная и пространственная структура древостоев постпирогенных среднетаежных сосняков на автоморфных почвах (на примере Республики Коми) / А.В. Манов, **И.Н. Кутявин** // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 6. – С. 100–110.

8. **Кутявин, И.Н.** Биологическая продуктивность естественно развивающегося и нарушенного ветровалом сосняка лишайникового (Республика Коми) / И.Н. Кутявин, А.В. Манов // Сибирский лесной журнал. – 2019. – №2. – С. 53–63.

9. **Кутявин, И. Н.** Возрастная структура древостоев под воздействием пожаров в сосняках Северного Приуралья (Республика Коми) / И.Н. Кутявин, А.В. Манов // Вестник Северо-Восточного центра ДВО РАН. Биологические науки. – 2020. – №3. – С. 47–59.

10. **Кутявин, И.Н.** Строение древостоев и состояние подроста старовозрастных сосняков в предгорьях Урала (бассейн верхней Печоры) / И.Н. Кутявин // Лесоведение. – № 1. – 2013. – С. 27–36.

11. **Кутявин, И.Н.** Состояние древостоев и подрост сосновых фитоценозов бассейна верхней и средней Печоры / И.Н. Кутявин, Н.В. Торлопова // Лесоведение. – 2016. – № 4. – С. 254–264.

12. **Кутявин, И.Н.** Биологическая продуктивность сосновых фитоценозов Северного Приуралья (Республика Коми) / И.Н. Кутявин, К.С. Бобкова // Лесоведение. – 2017. – № 1. – С. 3–16.

13. **Кутявин, И. Н.** Строение древостоев северотаежных сосняков / И.Н. Кутявин, А. В. Манов, А.Ф. Осипов, М.А. Кузнецов // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2021. – № 2. – С. 86–105.

14. Горбач, Н. М. Динамика пожаров на Северо-Востоке европейской части России в голоцене / Н.М. Горбач, **И.Н. Кутявин**, В.В. Старцев, А.А. Дымов // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – №3. – С. 104–110.

15. **Kutyavin, I. N.** Vertical-Fractional Structure of Aboveground Phytomass of the Tree Layer of Pine Forests in the Northern Ural Foothills (Komi Republic) / I.N. Kutyavin // Contemporary Problems of Ecology. – 2021. – Vol. 14. – N 7. – 743–749 pp.

16. Osipov, A.F. Ratios between aboveground net primary production, litterfall and carbon stocks in scots pine stands (Russia) / A.F. Osipov, **I.N. Kutyavin**, K.S. Bobkova // Serne. – 2021. – Vol. (27). – 10 p.

17. **Кутявин, И.Н.** Динамика размерной и возрастной структуры древостоев коренных сосняков Северного Приуралья / И.Н. Кутявин, А.В. Манов // Лесоведение. – 2022. – № 5. – С. 504–519.

18. Манов, А.В. Роль пространственно-временной изменчивости климатического сигнала в радиальном приросте ели в бассейне реки Печоры / А.В. Манов, **И.Н. Кутявин** // Лесоведение. – 2022. – № 2. – С. 199–212.

19. **Кутявин И.Н.** Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны (*Pinus sylvestris* L.) на европейском Северо-Востоке России / И.Н. Кутявин // Известия РАН. Серия географическая. – 2022. – Т. 86. – № 4. – С. 547–562.

20. Осипов, А.Ф. Запасы и структура фитомассы древостоев северотаежных сосняков Республики Коми / А.Ф. Осипов, **И.Н. Кутявин**, А.В. Манов, М.А. Кузнецов, К.С. Бобкова // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2022. – № 4. – С. 25–38.

21. Манов, А.В. Динамика структуры и состояния древесного яруса среднетаежных коренных ельников предгорий Северного Урала / Манов А.В., **Кутявин И.Н.** // Лесоведение. №6. 2023. С. 587–595.

22. **Кутявин, И.Н.** Долговременная динамика состава, строения и состояния древостоев северотаежных сосняков на европейском Северо-Востоке России / И.Н. Кутявин, А.В. Манов, А.Ф. Осипов, К.С. Бобкова // Сибирский лесной журнал. – 2023. - №2. – С. 17–25.

Монографии и учебные пособия

23. **Кутявин, И.Н.** Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность: монография / И.Н. Кутявин // Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, – 2018. – 176 с.

24. Манов, А.В. Мониторинг лесных земель: учебное пособие / А.В. Манов, **И.Н. Кутявин**. – Сыктывкар: СЛИ, 2023. – 52 с.

Статьи опубликованные в журналах Scopus, WoS

25. **Kutyavin, I.N.** Spatial relationships of trees in middle taiga post-pyrogenic pine forest stands in the European North-East of Russia/ I.N. Kutyavin, A.V. Manov // Journal of Forest Science. – 2022. – N 6. – Vol. 68. – 228–240 pp.

26. Ryzhkova, N. Climate drove the fire cycle and humans influenced fire occurrence in the East European boreal forest / N. Ryzhkova, A. Kryshen, M. Niklasson, G. Pinto, A. Aleinikov, **I. Kutyavin**, Y. Bergeron, A. Ali Adam, I. Drobyshev // Ecological Monographs. – Vol. 92. – Issue 2. – 2022. – 19 p.

27. Goncharova, N. Fire Impact on the Formation and Development of the Boreal Pine Wooded Mires / N. Goncharova, Y. Dubrovskiy, M. Miglovets,; **I. Kutyavin**, A. Dymov // Diversity. – 2023. N. 15. – Vol. 159. – 23 p.

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