

На правах рукописи

КОНОВАЛОВ ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОЙНЫХ
НА ОСУШАЕМЫХ И УДОБРЯЕМЫХ ПОЧВАХ**

**06.03.02.– Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и
лесная таксация**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук**

Архангельск – 2011

Работа выполнена в ФГ АОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова

Научный консультант: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Феклистов Павел Александрович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Грязькин Анатолий Васильевич

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Константинов Виктор Кузьмич

доктор биологических наук, профессор
Кищенко Иван Тарасович

Ведущая организация: Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Защита состоится 21 марта 2012 года в 10-00 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.008.03 при ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» по адресу: 163002, г.Архангельск, наб. Северной Двины, 17, главный корпус, ауд. 1220;
e-mail feclistov@agtu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова

Автореферат разослан «___» _____ 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Клевцов Д.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Важной проблемой лесного хозяйства остается проблема повышения продуктивности лесов. Для ее решения должна быть разработана и планомерно осуществлена широкая система мероприятий, направленная на максимальное удовлетворение древесных растений важнейшими факторами жизни: кислородом воздуха, углекислым газом, водой, светом, питательными веществами. Необходимым условием здесь является изучение закономерностей роста и развития лесных экосистем и механизмов воздействия на них различных экологических факторов, определение оптимальных параметров их, дающих наивысший биологический и лесоводственный эффекты, что в целом отвечает общему стратегическому направлению биолого-лесоводственных исследований во всем мире и вопросам повышения продуктивности лесов в частности. Особенно это важно для обширного северного региона России, где характерна бедность лесных почв и сильная заболоченность, что обусловлено комплексом неблагоприятных климатических и почвенно-геоморфологических особенностей (Мелехов, 1953; Артемьев, Чертовской, 1974; Дружинин и др., 1994; Тараканов, 2004; Бузыкин, 2007; Кищенко, 2010; Константинов, 2006; Константинов и др., 2010).

Одним из мощных средств повышения продуктивности заболоченных лесов является лесоосушительная мелиорация. К настоящему времени только в Северо-Западном регионе осушено около 738 тыс. га переувлажненных земель, в том числе 392 тыс. га в Архангельской области (Тараканов, 2004). В то же время для правильного обоснования лесомелиоративных мероприятий наряду с лесоводственно-экономическими исследованиями совершенно необходимыми являются теоретические и прикладные исследования в области физиологии и биохимии осушаемых лесов, позволяющие в кратчайшие сроки выявлять адаптивные реакции хвойных растений к изменяющимся в результате осушения условиям водно-воздушного и питательного режимов почв. В то же время сведений по влиянию осушения на процессы обмена веществ у хвойных древесных растений в условиях болотных почв Севера недостаточно.

В целях повышения плодородия земель, бедных питательными веществами, в широких масштабах применяются минеральные удобрения. Вместе с тем следует отметить слабую изученность действия удобрений на лесные экосистемы часто не дающую однозначного ответа (Бузыкин, 1996, 2007). Недостаточно проведено исследований по изучению влияния удобрений на основные энергетические характеристики деревьев, в конечном итоге определяющие лесохозяйственный урожай. В лесах на осушенных болотных и минеральных почвах Севера такие исследования до последнего времени вообще не проводились. Не разработаны и теоретически не обоснованными остаются лесоводственные показатели главных рубок и рубок ухода, совершенно отсутствуют сведения о действии подпочки на сосну, о влиянии удобрений на леса Крайнего Севера и подпологовых растений и др. Поэтому разработка эколого-биологических основ гидротехнической и химической мелиорации в лесах Севера в настоящее время является

настоятельной необходимостью. Своевременное решение ее позволит более дифференцировано подойти к разработке научно обоснованных приемов и рекомендаций по повышению продуктивности северных лесов и выхода полезной продукции леса, даст возможность получить ответы на вопросы, связанные со специфичностью действия удобрений.

Цель и задачи исследований. Цель исследований: выявление эффективных способов повышения продуктивности хвойных насаждений при осушении и внесении удобрений, при проведении рубок, выхода живицы при подсочке сосны на основе изучения физиологических и ростовых процессов у деревьев.

Для достижения цели в задачу работы входило:

- комплексная оценка экологических факторов и физиологических процессов у сосны и ели при экстенсивном и интенсивном осушении;
- виды удобрений, обеспечивающие повышенный физиологический и лесоводственный эффекты у хвойных на осушенных торфяных почвах, в сосняках лишайниковых, ельниках и березняках черничных;
- особенности суточного и сезонного роста и физиологических процессов у сосны в зависимости от дозы азота и погодных условий;
- физиологическая оценка эффективности главных рубок и рубок ухода в осушаемых лесах, ельниках и березняках черничных;
- природные особенности лесов Крайнего Севера, их реакция на выборочные рубки, на внесение удобрений и пожары;
- влияние схемы подсочки, стимулятора смолы выделения и удобрений на жизненное состояние сосны;
- практические предложения на основе результатов исследований.

Основные положения, выносимые на защиту:

- особенности водного режима и минерального питания осушенных и удобренных почв;
- виды удобрений, обеспечивающие повышенный физиологический и лесоводственный эффекты у хвойных пород на осушенных и удобренных торфяно-болотных и минеральных почвах;
- оценка эффективности главных рубок и рубок ухода в осушаемых лесах и березняках черничных;
- особенности суточной и сезонной ритмики ростовых и физиологических процессов у сосны в зависимости от уровня азотного питания и погоды;
- действие подсочки, настоя кормовых дрожжей и минеральных удобрений на состояние сосны;
- адаптивные особенности лесов Крайнего Севера, их реакция на действие природных и антропогенных факторов;
- практические предложения по повышению эффективности лесохозяйственных мероприятий на основе результатов исследований.

Научная новизна исследований. На основе проведенных исследований впервые в условиях Севера экспериментально показано, что осушение заболоченных торфяных почв значительно активизирует у деревьев дыхание корней, водное и минеральное питание, синтез пигментов, процесс фотосинтеза, снижает

трату пластических веществ на дыхание хвои, что дает основу в понимании механизмов повышения продуктивности заболоченных лесов.

Выявлена довольно тесная корреляционная связь между интенсивностью физиологических процессов, ростом и производительностью древостоев.

Новыми являются результаты, связанные с комплексным воздействием гидротехнической и химической мелиорации на метаболизм древесного растения. Показано, что улучшение питательного режима осушенных торфяно-болотных почв при внесении в них минеральных удобрений, особенно полного и фосфорного, изменяя корневое питание деревьев, приводит к еще большей оптимизации у сосны и ели физиологических и ростовых процессов. В то же время внесение хлорсодержащих калийных удобрений малоэффективно в результате вредного влияния на процессы обмена веществ и рост иона хлора. При проведении исследований на участках, расположенных на различном расстоянии от осушительных канав, обнаружено, что состояние жизнедеятельности корневых систем в особенности влияют на эффективность вносимых удобрений и их воздействия на процессы обмена во всем дереве и рост сосны и ели.

В осушаемых сосняках и ельниках Севера впервые изучено влияние главных рубок и рубок ухода на метаболизм сосны и ели. Показано, что переувлажнение торфяной почвы в особенности негативно влияет на эффективность рубок и воздействия их на скорость физиологических процессов у деревьев. Обнаружено, что сплошные рубки в осушаемых лесах уже через 3-4 года приводят к повторному заболачиванию вырубаемых территорий, результатом которого является ослабление метаболических и ростовых процессов у оставляемых на доращивание деревьев.

В сосняках лишайниковых, ельниках и березняках черничных у сосны, ели и разных групп подпологовых растений подробно изучено влияние минеральных удобрений на содержание пигментов, дыхание корней и листьев, интенсивность фотосинтеза, элементы водного режима, определены уровни эффективного действия удобрений на эти процессы и их связь с ростом деревьев. С использованием метода изотопной индикации исследованы закономерности оттока углеродных соединений, их динамика под влиянием дозы азота. Выявлено, что внесение в сосняки лишайниковые 180 кг/га азота за счет усиления у сосны процессов обмена веществ, позволяет за 4 года дополнительно получать до 7,3 м³ на 1 га.

Новыми являются материалы, связанные с комплексным влиянием минеральных удобрений и температуры на суточный и сезонный рост сосны и ход физиологических процессов, выявлены периоды наиболее интенсивного протекания их в суточном и сезонном аспектах. Изучены адаптивные особенности физиологических процессов у растений на Крайнем Севере, их реакция на действие пожаров, на проведение рубок и внесения минеральных удобрений.

Впервые изучена физиологическая реакция сосны при подсочке в комплексе со стимулятором смолы выделения (настоем кормовых дрожжей) и внесением минеральных удобрений. Полученные данные позволили вскрыть физиологическую сущность подсочки для сосны, эффективность отдельных технологических схем ее, влияния стимулятора смолы выделения и минеральных удобрений.

Практическая значимость. Полученные результаты объясняют действие лесохозяйственных мероприятий на внутренние процессы и явления в жизни древесных и подпологовых растений, их влияния на продуктивность осушенных и удобренных лесов, на вход живицы при подсочке сосны, о механизмах, обеспечивающих устойчивость растений в условиях холодного климата и их реакцию на действие экзогенных факторов. Результаты исследований могут рассматриваться в качестве перспективного направления в решении задач эффективного лесосошения и минерального питания лесных экосистем и могут быть использованы при разработке системы лесохозяйственных мероприятий для обоснования эффективной системы осушения северных сосняков и ельников, проведения рубок, при разработке региональной стратегии минерального и светового питания лесных экосистем, при подсочке сосны. Полученные материалы рекомендуется использовать также при решении вопросов регионального мониторинга средообразующих факторов; при исследовании донорно-акцепторных взаимодействий в системе «растение – среда», «корень – побег» для решения вопросов повышения продуктивности лесов; при чтении курса лекций по экологии и физиологии растений. Они являются, развивающими биолого-лесоводственные основы обоснования гидротехнической и химической мелиорации, подсочки сосны, рубок главного и промежуточного пользования в условиях Севера.

Личный вклад автора. Автором выполнен аналитический обзор литературы, разработаны методические подходы в подготовке программы и методике исследований, автор принимал непосредственное участие во всех экспедиционных и камеральных работах и анализе полученных данных. В диссертации использованы экспериментальные данные, полученные лично автором или с его участием на всех этапах работ. Основу работы составляют материалы 35-летних исследований автора.

Обоснованность и достоверность результатов исследований.

Выводы основаны на большом экспериментальном материале и применении научно-обоснованных методик сбора и статистических методов обработки исходных данных, обеспечивающих необходимую достоверность результатов.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы представлялись и обсуждались на 72 научных, научно-технических и научно-производственных конференциях, рабочих совещаниях и симпозиумах, в том числе: на 16 международных конференциях (Петрозаводск, 1976, 1999, 2004, 2005; Сыктывкар, 1998, 1999, 2003; Абакан, 1991; Архангельск, 1990–2009; Йошкар-Ола, 2001, Кемерово, 2006), 22 всесоюзных (Ленинград, 1975, 1978; Петрозаводск, 1976, 1989, 1992, 1999; Апатиты, 1979; Архангельск, 1980–1998; Сыктывкар, 1981, 2008; Красноярск, 1982, 1983; Иркутск, 1982; Гомель, 1984; Якутск, 1986; Москва, 1990; Вологда, 2007), 3 республиканских и региональных совещаниях (Магадан, 1986; Архангельск, 1991, 1992; С.-Петербург, 1997), 9 профессорско-преподавательских конференциях по итогам НИР С(А)фу (АГТУ) (2003–2011) и 24 институтских конференциях по итогам НИР СевНИИЛХ (АИЛиЛХ) (1974–2000).

Публикации: По материалам диссертации опубликовано 86 работ, в том числе 3 монографии, 14 статей в рецензируемых журналах, включенных в Перечень ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 10 глав, заключения. Работа изложена на 376 страницах и включает 124 таблицы и 28 рисунков, список литературы из 568 наименований, в т.ч. 76 иностранных источника.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Одной из основных причин низкой производительности заболоченных лесов является крайне низкое или полное отсутствие кислорода в корнеобитаемом слое торфа при затоплении его почвенно-грунтовой водой (Hesselman, 1910; Кошечев, 1955; Веретенников, 1968; Орлов, 1966; Пьявченко, Сибирева, 1962; Вомперский, 1968; Орлов, Кошельков, 1971; Зарубина, Коновалов, 2007 и др.).

Плохая аэрация, недостаток кислорода при затоплении почвы отрицательно действует на многие стороны жизнедеятельности растений и, прежде всего, негативно отражается на энергетическом обмене корневых систем. В этих условиях ингибируется водное и минеральное питание растений, снижается синтетическая деятельность корней, блокируется поставка в надземные части растения важных в метаболизме специфических продуктов обмена. Существенные изменения отмечаются в процессах фотосинтеза, оттока ассимилятов, транспорте органических и минеральных элементов и ходе ряда других процессов метаболизма, что в конечном итоге снижает первичную биологическую продуктивность заболоченных лесов и в целом выход полезных продуктов. Нарушение физиологических процессов у древесных растений в целом приводит к снижению производительности затопляемых лесов. Важным хозяйственным мероприятием, позволяющими предупреждать нежелательные изменения в ходе физиологических процессов у древесных растений при избытке влаги, является осушительная мелиорация. Осушение, устраняя дефицит кислорода в околоразветвительной зоне и активизируя процессы метаболизма дерева, в целом способствует повышению биологической продуктивности затопляемых и временно переувлажненных лесов. О высокой эффективности осушения северных лесов имеются сведения во многих работах (Левин, 1946; Мелехов, 1953; Пьявченко, Сабо, 1962; Вомперский, 1968; Ефремов, 1975; Чертовской и др., 1976; Артемьев, Чертовской, 1974; Константинов и др., 1982, 1983, 2010; Медведева, 1989; Дружинин и др., 1994, 2007; Феклистов и др., 1995; Тараканов, 2004; Констатинов и др., 2006, 2010 и др.).

Известно, что большинство лесных почв весьма бедны питательными веществами и не обеспечивают ими древесные растения в нужном количестве и соотношении. Поэтому для повышения продуктивности лесов на средних и богатых торфяных почвах первоочередными мерами является внесение в древостой полного и фосфорного удобрений, а на минеральных почвах полного удобрения и одного азота. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, применение удобрений в лесах – это один из наиболее перспективных и эффективных путей повышения продуктивности лесов (Победов, Волчков, 1962; Heicurainen, 1956, 1967; Huikari, 1958; Leyton, 1962; Paavilainen, 1967; Вомперский, 1968; Победов, 1969, 1981; Шумаков, Федорова, 1970; Орлов, Кошельков, 1971; Holmen, 1972;

Vaule, 1973; Паршевников и др., 1974; Пьявченко, 1971; Шумаков, 1975; 1974; Прокушкин, 1982; Паавилайнен, 1983; Листов, Коновалов, 1988; Мельников, Белова, 2008; Бузыкин и др., 1991, 1996; Бузыкин, 2007; Сарнацкий, 2009 и др.).

Важным условием хорошего роста древесных растений является также обеспеченность их необходимым количеством света. Известно, что при недостатке света у растений снижается активность многих физиологических процессов, определяющих их продуктивность (Иванов, Коссович, 1932; Малкина и др., 1970; Судачкова, 1977; Цельникер, 1978; Ничипорович и др., 1978; Молчанов, 1983; Бессонова и др., 1984; Smith, Carter, 1988; Ginnet et al, 1991, Коновалов, 1994; Зарубина, 2004;). Проведение рубок позволяет значительно улучшать условия для роста деревьев и повышать их продуктивность (Мелехов, 1962, 1980, Побединский, 1961, 1973; Луганский и др., 1996 а, б; Кищенко, 1983, 2010).

В то же время, несмотря на исключительное значение осушения и удобрений в жизни леса, вопросы физиологии осушенных и удобренных лесов остаются мало изученными, а вопросы рубок в осушаемых лесах исследователями вообще не прорабатывались. В частности, почти совершенно отсутствуют сведения по влиянию осушения и удобрений, а также рубок в комплексе с удобрениями на дыхание корней, водный режим, минеральное питание, фотосинтез, суточный и сезонный рост древесных растений. Полностью отсутствуют сведения о влиянии удобрений и рубок на метаболизм подпологовых растений, подсачиваемых сосняков, лесов Крайнего Севера. В то же время получение таких данных позволит глубже понять характер воздействия лесных мелиораций и рубок на метаболизм хвойных растений, на устойчивость лесов в условиях холодного климата и в перспективе даст возможность более дифференцированно подойти к разработке научно обоснованной концепции по повышению продуктивности и устойчивости северных лесов.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Наши исследования проводились в северной и средней подзонах тайги Архангельской области, в Республике Коми, Ненецком автономном округе с использованием современных методов и научной аппаратуры.

Объектом исследований явились осушенные ельники и сосняки, произрастающих на торфяно-болотных почвах, сосняки лишайниковые, ельники и березняки черничные, леса Крайнего Севера.

Влияние интенсивности осушения и минеральных удобрений на физико-химические свойства торфяной почвы и жизненное состояние сосны и ели изучалось в двух типах леса: в 120-летнем ельнике осоково-хвошево-сфагновом, сосны в 80-летнем сосняке сфагновом. В ельнике почва торфяная переходного типа заболачивания, в сосняке верховая болотная. Лесомелиоративные работы на объектах выполнены в 1932 г. Мелиоративная система на каждом участке состоит из магистрального канала и примыкающих к нему через 140 м 5 осушителей. Пробные участки (по 1 га) заложены на расстоянии 20 (участок 1), 40 (участок 2) и 60 м (участок 3) от осушителя. Контроль располагался в неосушенной части насаждения. На каждом участке были подготовлены специальные площадки, на

которых проведена подкормка деревьев минеральными удобрениями по схеме: $N_{90}P_{120}K_{60}$; $P_{120}K_{60}$ и K_{60} в нормах, обычно рекомендуемых для подобных лесорастительных условий (Huikari, 1967; Победов, 1969 и др.). В качестве удобрений использовались: мочевины, фосфоритная мука, хлористый калий. Объектом исследований служили ель и сосна.

Влияние дозы азота (N_{120} , N_{180} , N_{240}) на жизненное состояние и рост сосны изучалось 25-летних, отдельных видов минеральных элементов в 12-летних сосняках лишайниковых, ели в 120-летнем ельнике зеленомошном, рубок и дозы азота на рост елового подростка – в 53- и 59-летних березняках черничных.

Влияние главных рубок (сплошных, выборочных) в осушаемых лесах на метаболизм и рост ели и сосны изучалось в осушенных 160-летних сосняках травяно-болотном и сфагновом и 170-летнем ельнике чернично-сфагновом спустя 14 лет после проведения рубок. Интенсивность рубки на участках выборочной рубки по числу стволов и запасу древесины составляла соответственно: 20 и 40; 16 и 49; 30 и 53%. В 185-летнем сосняке вахто-сфагновом изучено влияние приисковой рубки на метаболизм деревьев сосны разных классов роста и развития (по Крафту). Состав древостоя 7СЗБ, интенсивность рубки по запасу 64, по числу стволов 32 %. В 53-летнем березняке черничном интенсивность рубки по запасу 35, 50 и 70 %, в 59-летнем березняке – 50 %. Влияние рубок ухода изучалось в осушенных сосняках сфагновых 52- и 56-лет, в которых было вырублено 22 % запаса.

В основу методики изучения фотосинтеза и оттока ассимилятов был положен радиометрический метод, разработанный в Ботаническом институте им. В.Л.Комарова (Вознесенский и др., 1965), дыхания корней и хвои – метод Бойсен-Йенсена (Вальтер и др., 1957), содержания пигментов – метод распределительной хроматографии на бумаге в модификации Д.И.Сапожникова (Попова, 1963) и спектрофотометрический (Шлык, 1971, Гвриленко и др., 1976), транспирации – метод быстрого взвешивания (Иванов и др., 1950). Изучение физико-химических свойств почвы и содержания питательных элементов в растительном материале проводили по общепринятым в агрохимии методикам, ион хлора – по В.Е.Ермакову в модификации Е.П.Ниловой (Ермаков и др., 1952). Ход суточного роста сосны изучали методом фотометрии с использованием аппарата «Зенит». Работа проводилась в течение 35 лет.

Объем работ. За время исследований с участием автора заложено 107 пробных площадей, на 25 из которых автором по соответствующим схемам внесены удобрения. Автором поставлено более 10,1 тыс. опытов по изучению дыхания корней и хвои; отобрано 2279 проб хвои и листьев для определения пигментов, 5890 проб для определения в них содержания влаги, интенсивности транспирации; 2450 образцов почвы для определения питательных элементов, рН и 2480 для определения влажности; при изучении фотосинтеза взято и обработано на радиометре Б-3 13670 проб хвои и листьев с различным уровнем радиоактивности; выполнено более 12250 анализов на содержание питательных элементов в почвенных и растительных образцах; сделано более 450 измерений ширины годичных колец по кернам древесины; для определения биомассы отобрано 40 модельных деревьев; проведено 4400 замеров уровней ПГВ и 10 тыс. замеров тем-

пературы почвы, 1050 опр. O₂ и CO₂ в почвенном воздухе и ряд других работ. Выполненный объем исследований позволил автору с определенной степенью достоверности провести статистический анализ экспериментальных данных и сделать научно-обоснованные и достоверные выводы по изучаемым проблемам.

3. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Архангельская область располагается на северо-востоке европейской части Российской Федерации от 60⁰40' до 66⁰28' северной широты и от 35⁰30' восточной долготы. Основная часть территории области расположена в пределах Центральной таежно-лесной почвенно-климатической зоны Русской равнины и представлена двумя подзонами: северотаежной с преобладанием глеево-подзолистых и торфяно-болотных почв и среднетаежной с преобладанием подзолистых почв, а также тундрами с островками редколесья. Смена подзон с севера на юг обусловлена увеличением количества тепла и уменьшением количеством осадков. Заболоченные леса в области занимают 29 %, осушенные 392 тыс. га (Тараканов, 2004). Общая территория области 589,9 тыс. км² (Трубин и д., 2000).

Климат района расположения Архангельской области умеренно-континентальный, и как всего севера европейской части, формируется в условиях малого количества солнечной радиации с частым прохождением постоянно меняющихся атлантических циклонов. Другой важной особенностью климата области являются частые вторжения на территорию области холодных воздушных арктических масс со стороны Арктики, которые даже в летний период сопровождаются ночными заморозками с установлением (в июне) временного снежного покрова продолжительностью от 2 до 5 дней. В северной части области лето короткое, умеренно теплое, пасмурное и влажное с небольшим количеством солнечных дней. Продолжительность вегетационного периода со среднесуточными температурами воздуха +5 °С не превышает 120–125 дней, а сумма эффективных температур 1300 °С. Устойчивая температура выше +15 °С наблюдается в течение 40 дней, безморозный период составляет 100–105 дней. Среднегодовая температура воздуха +0,8...+2,7 °С, абсолютный максимум +32 °С, абсолютный минимум –42 °С, среднемесячная амплитуда колебаний 22,3–34,8 °С. Годовая сумма осадков 500 мм, испаряемость 170–340 мм, коэффициент испаряемости по Иванову 1,33. Максимальное количество осадков выпадает летом и осенью, минимальное – в весенний период. Полное оттаивание лесных почв заканчивается в конце мая – начале июня; вегетационный период начинается в начале июня и заканчивается в конце сентября. Период снеготаяния длится больше месяца и характеризуется возвратом холодов и нередко с выпадением довольно большого количества снега. Слабоволнистый и равнинный характер основной части области способствует развитию промывного режима почв, временному их переувлажнению и заболачиванию больших территорий, образованию глеево-подзолистых и подзолисто-болотных почв. Несмотря на ряд отрицательных факторов климат северной тайги в целом относительно благополучный для роста древесной растительности.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА СРЕДООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РОСТ И РАЗВИТИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ОСУШЕННЫХ И УДОБРЕННЫХ ПОЧВАХ

Водный режим торфяной почвы. Результаты наблюдений за динамикой уровней почвенно-грунтовых вод показали, что осушение приводит к существенному снижению уровня почвенно-грунтовых вод (рис. 1). В течение вегетации верхний слой почвы не затапливался лишь в узкой 20 м приканавной полосе (участок 1). В средней части (участок 3) уровень ПГВ находился в непосредственной близости от поверхности почвы (10 см) и лишь иногда опускался ниже 20 см.

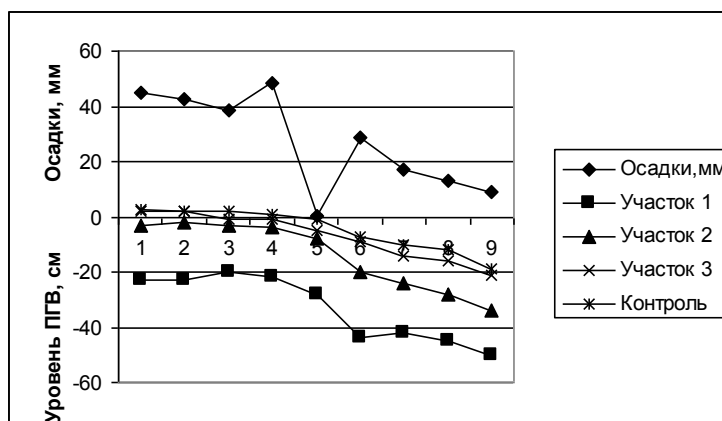


Рисунок 1 – Динамика среднедекадных уровней ПГВ и осадков (июнь-август) в год с избыточным количеством осадков; 1, 2, 3 – декады месяца

В сырой и дождливый год и в июле на расстоянии 40 м от осушителя (участок 2) указанный слой почвы испытывал подтопление. В засушливые годы при длительном отсутствии осадков возможно иссушение верхнего слоя торфяной почвы до уровня, когда почвенная вода становится недоступной для корней древесного растения. За 4 года наблюдений средние уровни ПГВ на контроле и опытных участках 1, 2 и 3 составляли см: 16, 24, 29 и 47. Влажность 0-20 см слоя почвы в период вегетации достигала на осушенных участках: на первом 30–75, втором 44–80, третьем 48–86 объемных процентов против 55–88% в контроле.

Воздушные свойства торфа. Освобождение почвы от воды привело к улучшению газового состава почвенного воздуха; концентрация кислорода, в частности, стала более благоприятной для нормальной жизнедеятельности корней и в корнеобитаемом слое вблизи канав составляла 19,9–20,1 %, а содержание углекислоты не превышало 0,9-1,1 % CO_2 . В то же время содержание растворенного кислорода в почвенной воде, несмотря на некоторое увеличение проточности, создаваемой осушением, оставалось столь же незначительным (следы), как и в воде неосушенной части ельника.

Температурный режим торфа. Освобождение почвы от воды в летнее время вызвало снижение температуры корнеобитаемого слоя и приземных слоев воздуха на 0,3–4,2 $^{\circ}\text{C}$, причем особенно существенным оно было вблизи канав.

Агрохимические свойства торфа. Осушение оказало двойное влияние на питательный режим торфа. С одной стороны, оно привело к увеличению объемного веса и зольности торфа (в 1,2-1,5 раза) и соответственно к увеличению валовых и усвояемых запасов минеральных элементов в корнеобитаемом слое почвы, а с другой – к некоторому снижению подвижности фосфора и калия. За период осушения (45 лет) количество общего азота в корнеобитаемом слое торфа возросло в 2 раза, фосфора на 580, калия на 460 кг/га. Внесение удобрений повысило питательную ценность почвы и обеспеченность растений этими элементами.

5.ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ НА ФИЗИОЛОГИЮ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Дыхание корней. Усиление доступа внешнего кислорода в прикорневую зону в результате осушения способствовало увеличению интенсивности дыхания микоризных в 1,2–2,8 и проводящих в 1,4–2,3 раза корней. Эта активизация дыхания корней у ели и сосны особенно заметной оставалась в приканавной полосе (участок 1). В менее осушенной части насаждений и на контроле дыхание корней усиливалось лишь после освобождения их от воды (табл. 1).

Таблица 1– Влияние уровня почвенной воды на интенсивность дыхания микоризных (числитель) и проводящих (знаменатель) корней ели

Дата	Температура, °С	Уровень почвенной воды, см				Интенсивность дыхания, мг СО ₂ на 1 г сухой массы в час			
		Расстояние до осушителя, м							
		20	40	60	контроль	20	40	60	контроль
Ельник осоково-хвощево-сфагновый (ель),									
30.VI	14,3	28	5	3	0	<u>0,96</u> 0,85	<u>0,71</u> 0,31	<u>0,41</u> 0,23	<u>0,51</u> 0,37
2.VI	11,5	24	6	4	0	<u>1,18</u> 0,53	<u>0,43</u> 0,45	<u>0,48</u> 0,24	<u>0,50</u> 0,28
2.VII	20,4	18	2	2	+1	<u>1,75</u> 0,94	<u>0,72</u> 0,30	<u>0,63</u> 0,25	<u>0,61</u> 0,28
24.VII	20,5	56	23	15	10	<u>2,18</u> 1,15	<u>1,92</u> 0,86	<u>2,04</u> 0,77	<u>1,69</u> 0,88
Сосняк кустарничково-сфагновый, (сосна)									
16.VI	19,2	27	10	7	7	<u>1,70</u> 1,00	<u>1,01</u> 0,80	<u>0,83</u> 0,61	<u>0,72</u> 0,60
14.VII	17,6	33	19	12	10	<u>1,87</u> 1,03	<u>1,34</u> 0,73	<u>1,15</u> 0,69	<u>0,77</u> 0,63
20.VIII	20,8	54	30	22	18	<u>2,02</u> 1,26	<u>1,81</u> 1,16	<u>1,66</u> 1,12	<u>1,52</u> 0,90

Знак + означает затопление поверхности почвы в лесу.

Водный режим сосны и ели. Осушение привело к усилению поглощения воды корнями и активизации других элементов водного режима у древесных

растений. На осушенных участках общее количество воды в хвое на 5–9 %, а интенсивность транспирации на 8–46 % оказались выше показателей контроля. На менее осушенных участках, где корневые системы, были затоплены и испытывали острую нехватку в кислороде, влажность хвои и древесины и интенсивность транспирации были близки к показателям контроля.

Минеральное питание. Поступление в растения азота, фосфор, калия на осушенных участках значительно активизировалось, что привело к повышению концентрации этих элементов в хвое и побегах деревьев (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание азота, фосфора и калия (в %) в хвое и коре побегов ели (средние за три года)

N участка	Однолетняя хвоя			Однолетний побег		
	Азот	Фосфор	Калий	Азот	Фосфор	Калий
1	1,43	0,34	0,61	1,33	0,30	0,63
2	1,35	0,30	0,55	1,21	0,23	0,56
3	1,29	0,27	0,52	1,13	0,22	0,53
Контроль	1,16	0,21	0,48	1,08	0,20	0,50

Особенно заметно накопление питательных элементов происходило у деревьев вблизи канав. Так, содержание азота здесь возросло в среднем в однолетней хвое по сравнению с контролем на 24–43, фосфора на 27–50, калия на 8–29%. Аналогичная закономерность в распределении азота, фосфора и калия под влиянием осушения отмечена была и в коре побегов. Максимальные различия в содержании указанных элементов между опытными и контрольными деревьями были в начале вегетационного периода и уменьшались в середине лета.

Содержание пигментов. Под влиянием осушения на 46–58 % повысилось в хвое сосны и ели содержание хлорофилла а и b, особенно у деревьев вблизи канав и в меньшей степени на удалении 60 м от них (рис. 2).

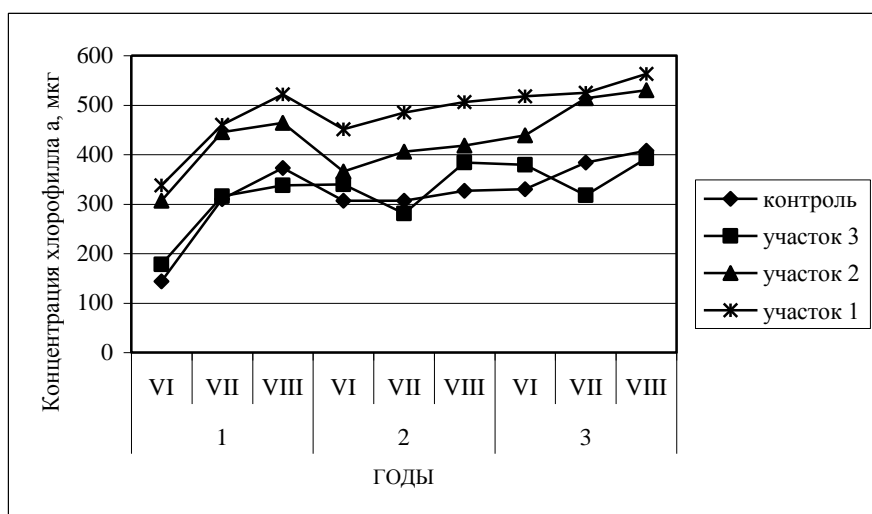


Рисунок 2 – Динамика содержания хлорофилла «а» в хвое ели: 1, 2, 3 –годы от периода внесения удобрений в почву

Наиболее заметная разница в содержании пигментов указанной группы между опытными деревьями и контролем была в июне, когда корни контрольных деревьев были затоплены. В это время содержание пигментов у деревьев 1 участка в 1,6–2,5 раза превышало содержание их у контрольных деревьев. В августе хвоя контрольных деревьев содержала лишь на 27–48 % хлорофилла меньше деревьев первого участка. Осушение способствовало повышению содержания в хвое деревьев сосны и ели каротина, лютеина и виолаксантина в 1,2–2,3 раза.

Фотосинтез сосны и ели на осушенной почве. В тесной взаимосвязи с условиями аэрации корневых систем оказалась и ассимиляционная деятельность сосны и ели. Материалы 4-летних опытов с разновозрастной хвоей показали, что в результате осушения интенсивность фотосинтеза у деревьев на опытных участках стала в 1,1–1,8 раза выше, чем в контроле, причем различия с контролем вполне достоверны, особенно для первых двух участков ($t > 3$) с коэффициентом корреляции с уровнем ПГВ $r = -0,78 \pm 0,097$. Результаты влияния давности и интенсивности осушения на скорость фотосинтеза у сосны и ели приведены в табл. 3. Видно, что наиболее сильно влияние осушения на фотосинтез проявилось у деревьев лишь вблизи канавы. В средней части межканавного пространства из-за плохой аэрации корней фотосинтез меняется мало, а на свежесушенных участках изменения фотосинтеза отсутствуют уже на расстоянии 40 м от канав.

Таблица 3 – Влияние давности осушения на интенсивность фотосинтеза однолетней хвои сосны и ели (мг CO_2 на 1 г сухой массы)

Расстояние до осушителя, м	Ельник осоково-хвощево-сфагновый		Сосняк кустарничково-сфагновый		
	Давность осушения, лет				
	40	2	40	32	2
20	19,2±0,6	16,1±0,9	21,0±0,9	20,2±1,3	16,5±1,1
40	15,9±0,6	11,6±0,8	16,6±1,0	17,7±1,3	11,7±1,0
60	12,8±0,7	11,5±0,7	13,4±0,9	14,0±0,9	11,2±1,2
Контроль	11,3±0,9	11,2±0,7	11,7±1,2	12,8±1,2	11,1±1,1

В ходе исследований было выявлено, что как затопление поверхности почвы, так и опускание почвенно-грунтовых вод ниже 65–82 см отрицательно воздействуют на ассимиляционную деятельность деревьев.

Влияние осушения на дыхание хвои. Снижение уровня ПГВ на осушенных участках на 27–48 % снизило дыхание хвои у деревьев (табл. 4).

Таблица 4 – Интенсивность дыхания 1-4-летней хвои ели (мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$)

Участок	УГВ, см	Возраст хвои, год			
		1	2	3	4
1	22-55	3,63±0,54	0,70±0,05	0,56±0,06	0,49±0,02
2	3-23	3,88±0,25	0,85±0,06	0,96±0,06	0,72±0,02
3	2-13	3,68±0,42	1,03±0,05	0,88±0,05	0,80±0,08
Контроль	0-10	3,74±0,38	0,94±0,03	0,85±0,09	0,90±0,06

Тенденция к снижению дыхания более отчетливо проявилась у деревьев первого участка. Показатель существенности различий с контролем здесь равен или больше 3. На втором и третьем участках дыхание хвои оказалось также сниженным, но менее значительно. Освобождение корней от воды на контрольном участке в сухие периоды лета также способствовало снижению интенсивности дыхания хвои у деревьев. Наиболее существенные различия дыхания опытной хвои с контролем отмечались в дождливые годы. В такие периоды дыхание хвои контрольных деревьев в 1,3–1,8 раза превышало дыхание деревьев первого участка. На втором и третьем участках дыхание хвои оказалось также сниженным, но менее значительно. Освобождение корней от воды на контрольном участке в сухие периоды лета также способствовало снижению интенсивности дыхания.

Улучшение водно-воздушного режима почвы после осушения и усиление метаболической деятельности положительно отразилось на камбиальной деятельности деревьев (табл. 5). Под влиянием интенсивного осушения ширина годичного слоя у ели увеличилась более чем в 4 раза. На камбиальную деятельность осушение вблизи канав существенно стало сказываться лишь на 4-й год после ввода в действие мелиоративной сети. У деревьев третьего участка заметное увеличение ширины годичного слоя произошло лишь во втором пятилетии.

Таблица 5 – Ширина (в мм) годичного кольца ели на опытных участках

№ участка	M±m	σ	P	t
1	1,58±0,02	0,282	1	64
2	1,41±0,07	0,622	5	16
3	0,45±0,02	0,164	3	12
Контроль	0,33±0,01	0,023	1	-

Интегральным выражением активизации метаболической деятельности деревьев на осушенных участках явилось усиление их роста и повышение производительности древостоя. За 40 лет действия осушения в ельнике осоково-хвощево-сфагновом класс бонитета древостоя увеличился на 2 класса, высота древостоя возросла на 44 %, а дополнительный прирост древесины на 98 м³/га. У сосны в сосняке сфагновом средняя высота сосны за 39 лет действия канав увеличилась по сравнению с контролем на 4,4 м, а запас древесины на 39 м³.

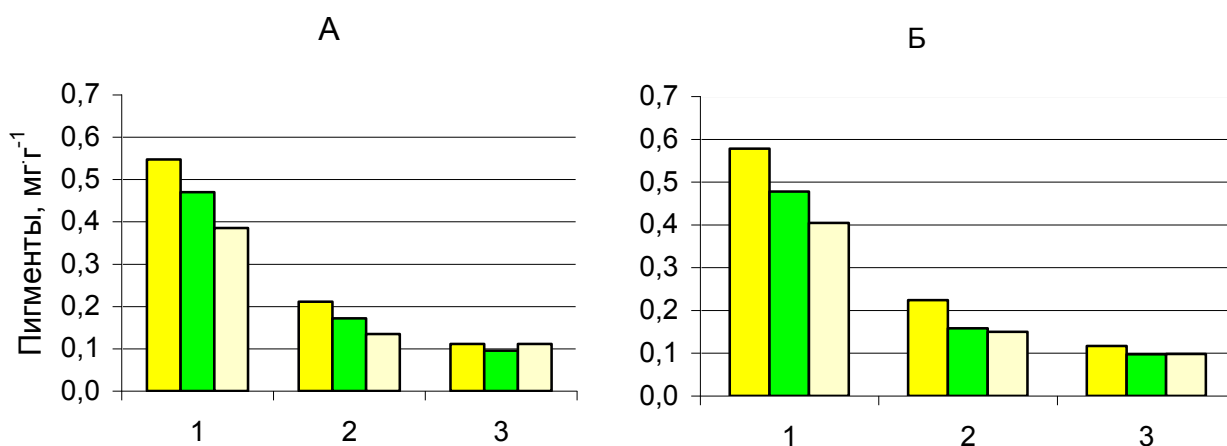
6. БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ СОСНЫ И ЕЛИ ПОСЛЕ РУБОК

Главные рубки. Увеличивая освещенность и тепловой режим леса, рубки служат одним из важных лесоводственных мероприятий, позволяющих эффективно воздействовать на условия выращивания древостоев. Оценка влияния способа главных рубок на световой режим показала, что выборочные рубки в осушаемых лесах увеличивают поступление солнечного света под полог 1,5-3,5 раза, сплошные рубки – до 80 % и более. Так, после вырубки в сосняке травяно-

болотном 50 % запаса освещенность внутри древостоя увеличилась в 3,5 раза, а после вырубki такого же запаса в сосняке сфагновом – в 1,5 раза. В ельнике чернично-сфагновом вырубka 40 % запаса увеличила освещенность на 21%.

Содержание пигментов. Под влиянием выборочных рубок содержание хлорофилла у деревьев в осушенных сосняках и ельнике уменьшилось в среднем на 18, каротиноидов – на 11 %, у подростка соответственно - на 20 и 17 % (рис. 3). Содержание хлорофилла наиболее значительно сократилось в светособирающем комплексе (ССК, на 29 %). В хлорофилл-белковых комплексах (ХБК) статистически достоверных изменений не произошло. Это привело к сокращению отношения ССК/ХБК, а согласно литературным данным (Рубин и др., 1988), и к повышению продуктивности растений. На сплошных вырубках деревья и подрост содержат на 54% меньше хлорофилла, чем в лесу и на 29 % меньше, чем на участках с выборочными рубками.

Ельник чернично-сфагновый (ель)



Сосняк травяно-болотный (сосна)

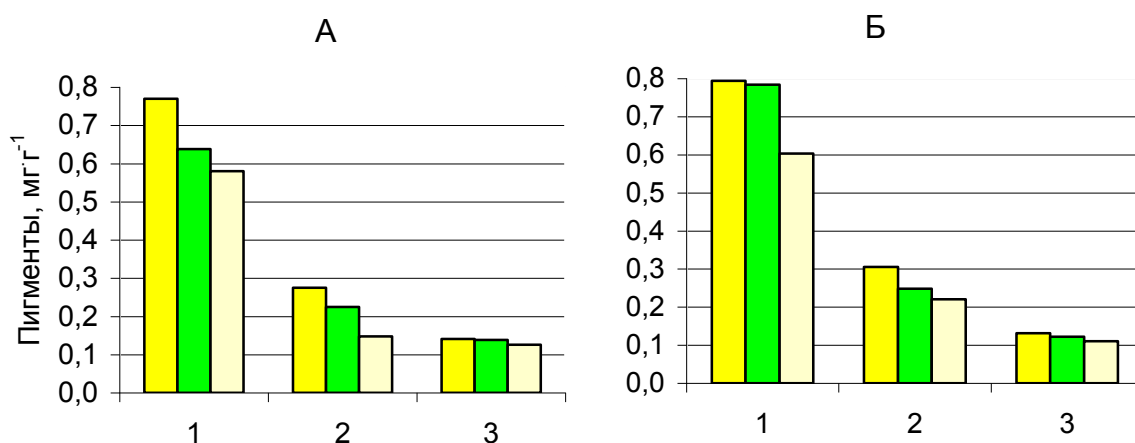


Рисунок 3 – Содержание хлорофилла "а" (1), хлорофилла "б" (2) и суммы каротиноидов (3) у деревьев (А) и подроста (Б) ели на осушаемых землях: ■ - контроль, ■ – участок древостоя с выборочной рубкой, □ – сплошная вырубка.

Фотосинтез сосны и ели. Летом подрост и тонкомер сосны и ели на участках выборочных рубок ассимилировал углекислоту в 1,4–3,8 раза активнее, чем в контроле (рис. 4). Достоверность различий $t_{\text{факт.}} = 5,7$ у деревьев и 5,4 у подроста.

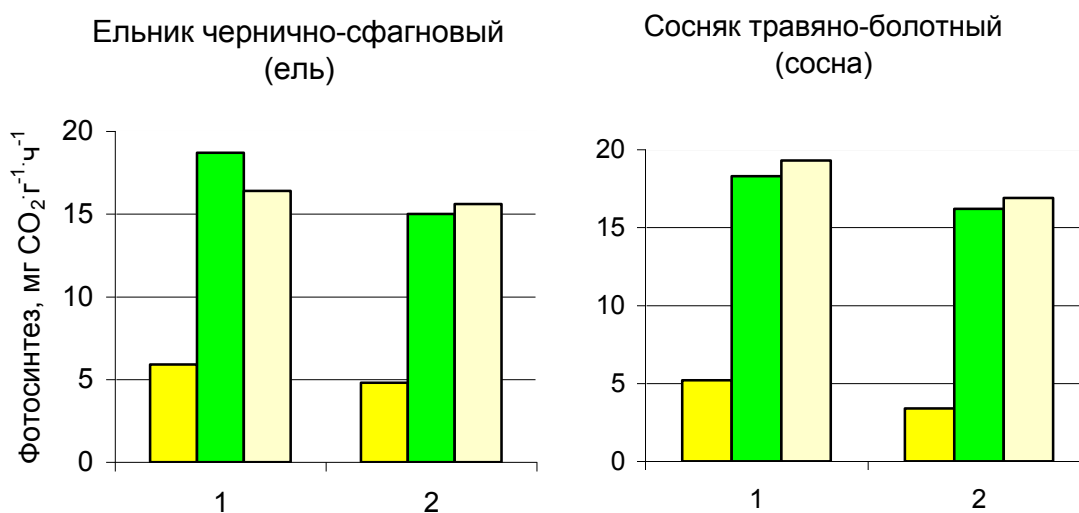


Рисунок 4 – Интенсивность потенциального фотосинтеза у деревьев (1) и подроста (2) в осушаемых насаждениях: ■ контроль, ■ - участок древостоя с выборочной рубкой, □ - сплошная вырубка.

Стимулирующее действие света на фотосинтез сосны и ели наиболее сильно проявилось в более продуктивном и сложном по составу сосняке травяно-болотном, а среди деревьев – у лидирующих деревьев.

Сплошные рубки, увеличив освещенность близкую к полной, в то же время мало способствовали наращиванию фотосинтеза по сравнению с выборочными рубками. Так, вырубка в осушенном сосняке травяно-болотном 50 % запаса у сосны и ели увеличила скорость фотосинтеза в 3,5 раза, а вырубка всего запаса в 3,7 раза, в осушенном ельнике чернично-сфагновом соответственно в 3,2 и в 3,3 раза. Выборочные рубки, усилив интенсивность фотосинтеза, положительно сказались на продуктивности деревьев. Так, через 14 лет масса среднего дерева сосны на участке с выборочной рубкой составила 79,6 кг, в контроле 61,5 кг.

В березняке черничном у подроста ели выборочные рубки повысили интенсивность дыхания хвои на 13–15%, интенсивность фотосинтеза в 2 раза (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние выборочных рубок на фотосинтез и дыхание хвои ели в 53-летнем березняке черничном (мг CO₂/г*ч сухой массы)

Интенсивность рубки, %	Фотосинтез			Дыхание хвои		
	M±m	%	t	M±m	%	t
Контроль	9,9±1,3	100	-	0,62±0,04	100	-
35	13,3± 1,6	132	2,7	0,69±0,02	113	1,6
50	18,9± 1,4	191	3,4	0,71±0,03	115	2,2
70	19,9± 1,3	201	4,1	0,70±0,04	114	1,9

M±m – среднее с основной ошибкой, t – достоверность среднего значения.

Одной из важных задач рубок в осушаемых лесах является исключение возможности повторного заболачивания вырубаемой территории. Нами установлено, что через 3-4 года после вырубki древостоев на сплошных осушаемых вырубках корнеобитаемый слой не затопливается лишь в узкой 20 м приканальной полосе. Уже на удалении 40 м от канав уровень ПГВ располагается в 5-10 см от поверхности почвы. Выявлено, что у подростa и тонкомера сосны и ели в интенсивно осушенной части вырубок из-под ельника таволгового и сосняка сфагнового транспирация и фотосинтез протекают в 2,8 раза, а на слабо осушенной территории лишь на 21% интенсивнее, чем под пологом осушенных древостоев.

Через 4 года после вырубki сосняка сфагнового сухая масса однолетних побегов у тонкомера сосны вблизи осушителей возросла на 48 %, масса хвоинок на 51 %, а на удалении 40 м от осушителей соответственно на 14 и 17 % (рис. 5).

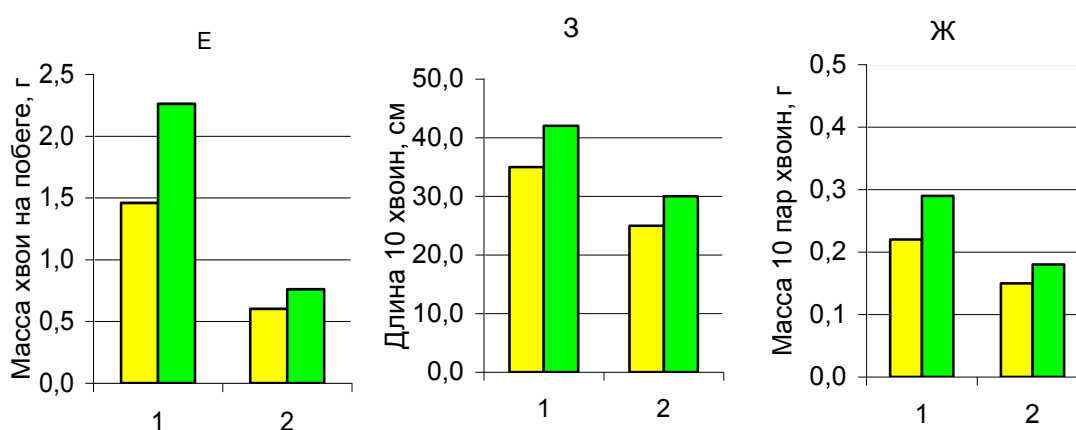


Рисунок 5 – Влияние интенсивности осушения на массу хвои на однолетних побегах (Е), массу (Ж) и длину (З) 10 пар хвоинок у подростa сосны предварительного возобновления в ■ - сосняке сфагновом осушенном и на ■ - 4-летней вырубке: 1-10 – 20 м, 2 - 40 – 50 м до канала.

Эколого-физиологические особенности рубок ухода. Проведение рубок ухода в осушаемых сосновых молодняках положительно сказалось на физиологии и росте сосны. Так, интенсивность фотосинтеза у сосны в 56-летнем сосняке сфагновом вблизи осушителей на участке с рубками ухода превышала контроль в 2 раза, на расстоянии 60 м от канав лишь на 39 %. Различия оказались существенными и статистически достоверными ($t_{\text{факт.}} = 5,7-7,2$). Масса деревьев вблизи канав возросла в 2,1 раза, дополнительный прирост верхушечных побегов на 1,1 м, в средней части межканавного пространства в 1,7 раза и 0,8 м соответственно.

Увеличение освещенности после рубок ухода в 52-летнем сосняке сфагновом с мелкой мелиорацией у подростa ели усилило работу корневых систем и активизировало процессы накопления и последующего оттока из хвои радиоуглеродных соединений (рис. 6). Рубки ухода здесь у сосны активизировали также ростовые процессы. Через 14 лет после рубок ухода прирост главного побега у сосны на участке с рубками ухода увеличился в 1,4 раза масса хвои в 2 раза. Ви-

ды растений напочвенного покрова на увеличение освещенности отреагировали избирательно. У багульника и подбела рубки ухода на 29–32% снизили содержание пигментов, у других видов слабо повлияли на их концентрацию в листьях.

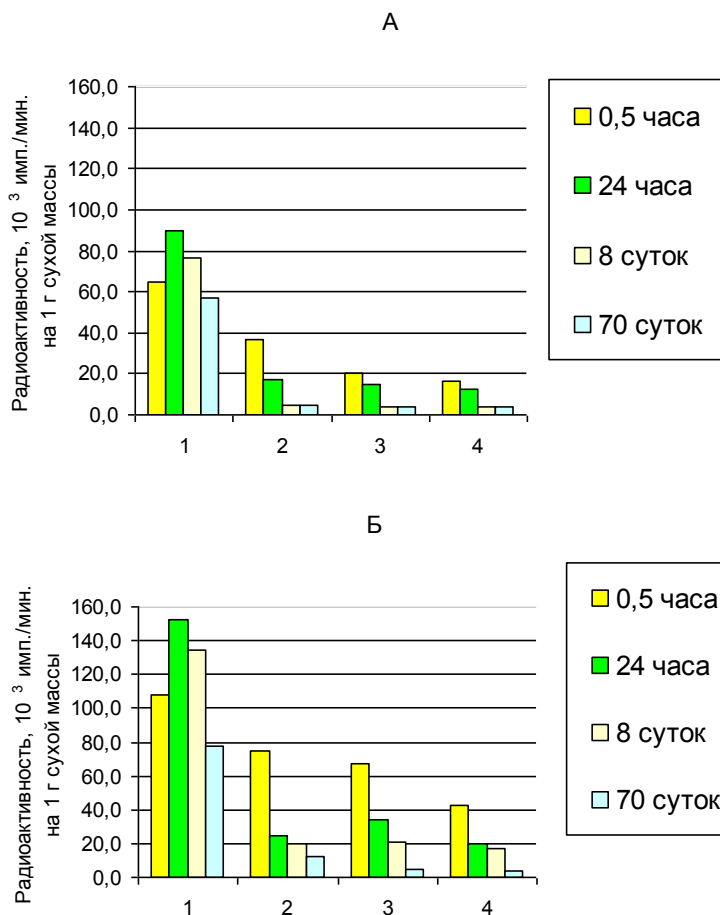


Рисунок 6 – Влияние рубок ухода на отток углерода – 14 у ели в 52-летнем сосняке осоково-сфагновом на участке мелкой мелиорации: А – контроль, Б – участок древостоя с рубками ухода; 1 -, 2 -, 3 -, 4 – возраст хвои, лет.

7. ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СОСНЫ И ЕЛИ НА ОСУШЕННОЙ БОЛОТНОЙ ПОЧВЕ

Режим минерального питания ели и сосны. Внесение в осушенную переходную торфяную почву удобрений привело у сосны и ели к накоплению в хвое и побегах питательных элементов (табл. 7). Так, после внесения полного удобрения количество азота в однолетней хвое ели за три года на расстоянии 60 м от осушителя возросло в среднем на 9, на втором участке на 11 и на первом участке на 12 %; фосфора соответственно на 17, 20 и 22 %, калия – на 23, 37 и 43 %. В коре однолетних побегов на опытных площадках первого участка содержание азота повысилось в среднем на 10, второго на 8 и третьего на 7 %, фосфора – на 18,17 и 15 %, калия – на 30,12 и 7 % соответственно. С увеличением возраста побегов содержание указанных элементов в хвое и коре побегов несколько уменьшается. Осушение в комплексе с минеральными удобрениями увеличило в хвое и коре побегов ели содержание азота на 32 и калия на 45 %, а содержание фос-

фора при действии комплексного фактора почти удвоилось. Внесение в почву хлористого калия в вариантах NPK и PK привело к накоплению в хвое хлора у деревьев первого участка на 34 %, второго – на 30 %.

Таблица 7 – Содержание азота, фосфора и калия в хвое и побегах ели (в %) на удобренных и контрольных площадках

N участка	Однолетняя хвоя				Однолетний побег			
	Контроль	NPK	PK	P	Контроль	NPK	PK	P
Азот								
1	1,43	1,58	1,34	1,31	1,33	1,46	1,30	1,29
2	1,35	1,50	1,23	1,25	1,20	1,28	1,21	1,19
3	1,29	1,40	1,20	1,22	1,13	1,22	1,08	1,04
Фосфор								
1	0,34	0,39	0,41	0,37	0,30	0,34	0,36	0,35
2	0,30	0,35	0,37	0,34	0,23	0,27	0,28	0,24
3	0,29	0,32	0,37	0,34	0,22	0,24	0,25	0,25
Калий								
1	0,61	0,72	0,89	0,64	0,63	0,78	0,83	0,70
2	0,56	0,62	0,77	0,61	0,56	0,67	0,70	0,62
3	0,52	0,67	0,64	0,48	0,54	0,62	0,62	0,60

Влияние удобрений на транспирацию. Минеральные удобрения повысили влажность хвои на 3–5 % и на 11–28 % снизили интенсивность транспирации, особенно у деревьев вблизи канавы. На более удаленных от канавы участках это снижение оказалось менее заметным. Более существенное снижение (12–22 %) транспирации вызвали фосфорное и фосфоро-калийное удобрения.

Динамика пластидных пигментов. Наиболее сильное влияние на содержание пигментов у растений оказало полное удобрение, особенно в условиях повышенной аэрации корней (участок 1). Затопление поверхности почвы на 3 участке снизило положительное действие внесенных удобрений на синтез пигментов. На третий год содержание отдельных пигментов у деревьев вблизи канавы возросло: хлорофилла *a* в варианте NPK на 48, PK – на 28, P – на 29 %, хлорофилла *b* соответственно на 50, 42 и 41 %. Содержание каротина под влиянием удобрений повысилось на 51, лютеина и виолаксантина на 46 %. Фосфорно-калийное и фосфорное удобрения в первые два года заметного влияния на концентрацию пигментов не оказали.осушительная мелиорация в комплексе с удобрениями способствовала на третий год увеличению содержания отдельных пигментов по отношению к неосушенному контролю на фоне NPK в среднем в 2,4; PK и P в 2,2 раза. Основные изменения в содержании пигментов произошли за счет осушения (на 55–80 %).

Фотосинтетическая активность сосны и ели. В летний период наибольшее влияние на фотосинтез оказало полное удобрение. Для однолетней хвои сосны и ели скорость фотосинтеза на второй год после внесения удобрений возросла по сравнению с неудобренным контролем на 19-47%. Важно подчеркнуть,

что даже в июне на втором и третьем участках интенсивность фотосинтеза у деревьев возросла достаточно заметно, несмотря на затопление корнеобитаемого слоя почвы. В данных лесорастительных условиях исключительно эффективным оказалось одно фосфорное удобрение (табл. 8).

Таблица 8 – Влияние минеральных удобрений на интенсивности фотосинтеза однолетней хвои (мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$) ели и сосны

Вариант опыта	Ельник осоково-сфагновый		Сосняк кустарничково-сфагновый	
	Освещенность, тыс. лк			
	20–35	36–54	6–10	15–22
Контроль 1	16,6±0,6	17,3±0,8	4,1±0,5	10,3±0,7
НРК	23,0±1,2	25,3±0,8	7,0±1,1	14,1±1,0
РК	17,0±0,9	19,9±0,7	4,6±0,6	12,8±1,0
Р	19,6±0,8	24,0±0,8	5,0±0,7	13,3±0,9
Са+эокомит	19,0±1,0	20,8±1,0	5,0±0,4	12,8±0,6
Контроль 2	10,4±0,5	11,3±0,5	3,0±1,1	8,1±1,1

Контроль 1 – неудобренная группа деревьев, контроль 2 – неосушенный участок.

Отмечаемое нами положительное влияние фосфорного удобрения на ассимиляционную деятельность растений, согласуется с отмеченным ранее лесоводами фактом усиления роста леса в подобных лесорастительных условиях при внесении фосфорных удобрений (Huikari, 1958; Mustanoja, Leaf, 1965; Heikurainen, 1967; Dickson, 1969; Viro, 1972; Attenberger, 1956; Казимиров и др., 1972; Ионин, 1973; Вомперский и др., 1975). Внесение совместно с фосфором хлористого калия снизило положительное влияние фосфора на фотосинтез, очевидно, за счет отрицательного действия на ассимиляционный аппарат иона хлора, накопление которого в хвое нами наблюдалось экспериментально, а его негативное действие на фотосинтез определено опытным путем в лесу с использованием в качестве контроля бесхлорного сульфата калия. В ряде случаев, особенно у деревьев 1 и 2 участков, в вариантах РК было отмечено даже небольшое снижение интенсивности фотосинтеза по сравнению с неудобренным контролем.

Известно, что ионы хлора, накапливаясь в ассимиляционном аппарате, могут оказывать негативное действие на многие стороны метаболизма, в том числе и на фотосинтез (Генкель, 1954; Алексеева, 1957; Матухин, 1960; Шахов, 1960; Строгонов, 1962; Пастернак и др., 1974; Гончарик, 1968; Савельев, Нестерович, 1980 и др.). Отсутствие подобной депрессии в вариантах с полным удобрением обусловлено, видимо, действием на ионы хлора азота как его нейтрализатора (Магницкий и др., 1959; Гончарик, 1968). С повышением аэрации почвы действие удобрений на фотосинтез усиливалось, а при затоплении корней снижалось.

Статистическая обработка всего собранного за 4 года экспериментального материала показала, что различия в значениях фотосинтеза между опытными и контрольными деревьями вполне достоверны, особенно в приканавной полосе ($t > 3$). Совместное действие осушения и полного удобрения повысило фотосинтез у однолетней хвои ели на первом участке в 2,4, фосфорного в 2,3, фосфорно-

калийного в 1,7 раза, причем основные изменения произошли под влиянием осушения (на 49–72). На третьем участке комплексная мелиорация повысила фотосинтез лишь в 1,1–1,3 раз. Здесь основные изменения в фотосинтезе у деревьев сосны и ели произошли за счет удобрений (на 87–94 %). Эти данные указывают, что существующая система лесосушения не может создать оптимальных условий водно-воздушного режима в почве на всей площади межканального пространства, чем в значительной мере снижает эффект от вносимых удобрений.

Дыхание хвои. Внесение в осушенную торфяную почву удобрений сопровождается у деревьев некоторым снижением дыхания хвои. Более существенно это снижение выражено при внесении полного удобрения, несколько меньше под влиянием фосфорного и фосфорно-калийного удобрений. Наибольшее снижение интенсивности дыхания произошло у деревьев вблизи канавы (участок 1). Разница между контролем и опытными деревьями при использовании полного и частичного удобрения здесь достоверна ($t=2,5-3$). Следует отметить, что длительное подтопление корнеобитаемого слоя в дождливое лето почти полностью исключило действие удобрений на процесс дыхания хвои (табл. 9).

Таблица 9 – Зависимость дыхания однолетней хвои ели ($\text{мг CO}_2/(\text{г}^*\text{ч})$) от условий минерального питания и уровня ПГВ

N участка	Уровень ПГВ, см	Вариант опыта			
		Контроль	НРК	РК	Р
1	22–55	0,63±0,03	0,49±0,02	0,52±0,08	0,48±0,09
2	3–23	0,64±0,02	0,55±0,09	0,59±0,09	0,59±0,07
3	2–13	0,73±0,05	0,66±0,09	0,76±0,08	0,67±0,07

По отношению к общему контролю, где осушение и внесение удобрений не проводилось, интенсивность дыхания, например, однолетней хвои ели на первом участке составила: в варианте НРК 41, РК 57 и Р 48%, на 3-ем участке соответственно 72, 77 и 80%, причем основные изменения вызвало осушение.

Минеральные удобрения способствовали дальнейшему возрастанию размеров ассимиляционного аппарата. За три года действия удобрений длина хвои ели увеличилась по сравнению с контролем в 1,1–1,4 раза, а вес ее возрос на 8–45%. Наибольшее увеличение (в 1,3–1,4 раза) биометрических показателей произошло в варианте с полным удобрением вблизи канавы, несколько меньше (на 22–31%) в вариантах с одним фосфором. Фосфорно-калийное удобрение оказалось менее эффективным. Под влиянием осушения и полного удобрения длина однолетней хвои ели увеличилась в 1,8, а ее вес возрос в 2,2 раза. Аналогичные изменения в метаболизме и росте хвои под действием осушения и удобрений нами были выявлены и у сосны в сосняке сфагновом (см. Коновалов, 1982).

8. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СОСНЫ И ЕЛИ В УСЛОВИЯХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ

Дыхание корней сосны и ели на удобренной почве. Внесение азота в 25-летние сосняки лишайниковые, прежде всего, отразилось на жизнедеятельности

корневых систем. Так, после внесения дозы N180 интенсивность дыхания корней у сосны возросла в 1,4 раза. Максимальная доза N240 в начале вегетации ингибировала дыхание корней, а в конце ее слабо влияла на этот процесс (табл.10). На второй год наиболее активное дыхание корней наблюдалось на площадках N180 и N240 и превышало контроль в 1,3–1,6 раза. Различия существенны и достоверны ($t_{st0,95} = 3,0-4,5$). Корни подроста сосны в сосняке лишайниковом наиболее интенсивно дышали на площадках с N120, а корни ели в ельнике зеленомошном на площадках с полным удобрением и одним азотом.

Таблица 10 – Влияние дозы азота на интенсивность дыхания мелких (числитель) и проводящих (знаменатель) корней сосны ($\text{мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$)

Дата	Температура воздуха, °C	Сосняк лишайниковый				Сосняк травяно-сфагновый	
		Контроль	Опыт			УГВ, см	Дыхание
			N120	N180	N240		
13.VI	15,2	<u>1,2</u>	<u>1,4</u>	<u>1,6</u>	<u>1,5</u>	4	<u>0,8</u>
		0,8	0,9	1,0	1,0		0,6
15.VI	20,0	<u>1,5</u>	<u>2,0</u>	<u>2,2</u>	<u>2,4</u>	6	<u>0,9</u>
		1,1	1,2	1,3	1,4		0,6
16.VI	19,2	<u>1,4</u>	<u>1,8</u>	<u>2,0</u>	<u>2,3</u>	7	<u>0,9</u>
		1,0	1,1	1,2	1,2		0,7
4.VIII	17,6	<u>1,3</u>	<u>1,6</u>	<u>1,8</u>	<u>2,2</u>	12	<u>1,6</u>
		0,8	0,9	1,1	1,2		1,0
20.VIII	20,8	<u>1,1</u>	<u>1,7</u>	<u>1,8</u>	<u>1,9</u>	18	<u>1,7</u>
		0,7	1,0	1,0	1,2		1,1

Водный режим сосны и ели на удобренной почве. Улучшение корневого питания после внесения удобрений усилило поглощение корнями воды и активизировало другие элементы водного режима. У сосны под влиянием азота влажность хвои возросла на 3–10 %, а транспирация стала на 40 % ниже контроля (табл. 11).

Таблица 11 – Влияние минеральных удобрений на транспирацию сосны ($\text{мг H}_2\text{O}$ на 1 г свежей массы хвои)

Дата	Вариант опыта							
	Контроль	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
1982 г.								
26.VII	199	115	134	128	147	88	128	126
28.VIII	355	225	280	266	184	255	274	283
Средние:	277	170	207	197	166	172	198	205
%	100	61	75	73	60	61	71	74
1983 г.								
14.VII	311	250	255	265	157	218	167	220
20.VII	380	319	292	237	179	172	321	315
3.VIII	396	313	387	335	361	390	333	340
Средние:	362	294	311	279	232	260	274	292
%	100	81	86	77	64	72	76	80

При раздельном внесении элементов наиболее обводненной хвоя и более низкая транспирация были в вариантах с азотом. Корреляционный анализ (r) выявил высокую тесную положительную связь между содержанием воды в хвое и условиями минерального питания от 0,95 до 0,98. У ели влажность хвои в вариантах с азотом возросла на 4–7 %, а транспирация понизилась на 17–20 %.

Влияние удобрений на содержание пигментов у сосны и ели. Внесение удобрений у сосны и ели усилило накопление пигментов. У сосны в сосняке лишайниковом наиболее заметно содержание пигментов возросло под влиянием азота (хлорофилла на 50 %, каротиноидов на 36 %). Среди каротиноидных пигментов самую высокую реакцию на азотное удобрение проявили лютеин и виолаксантин. Из комплексных удобрений наиболее влияние на концентрацию пигментов оказало полное удобрение. У ели самое интенсивное накопление пигментов также наблюдалось на площадках с участием азота (варианты NPK и N). Фосфор также положительно влиял на синтез пигментов, а на площадках с калием количество хлорофилла и каротиноидных пигментов в первый год оказалось на 8–12 % ниже, чем в контроле, однако на второй год и это удобрение способствовало слабому повышению концентрации пигментов у этой древесной породы.

Фотосинтез сосны и ели на удобренной почве. Минеральные удобрения у сосны и ели существенно усилили фотосинтез. Так, при внесении в 25-летние сосняки лишайниковый азотных удобрений (N120, N180, N240) интенсивность фотосинтеза однолетней хвои на площадках с N180 увеличилась 25–38 %, а на площадках с N120 на 19–27 %. Азот в дозе 240 кг/га в первый год оказал негативное действие на скорость усвоения CO_2 . Снижение фотосинтетической активности на площадках с этой дозой удобрения наблюдалось не только у молодой, но и у хвои, выросшей еще за 1–2 года до внесения удобрения. Исследования суточного хода фотосинтеза показали, что азот не только повышает скорость фотосинтеза, но также позволяет несколько (на 1–1,5 часа) увеличивать его дневную продолжительность. Характер влияния отдельных элементов на фотосинтез сосны в 12-летнем сосняке лишайниковом представлен в табл.12.

Таблица 12 – Влияние минеральных удобрений на фотосинтез (мг CO_2 на 1 г абс. сух. массы в час) сосны

Дата	Освещенность, тыс.лк	Вариант опыта							
		Контроль	NPK	PK	NK	NP	N	P	K
14.06	56,9	25,9	39,3	34,0	38,2	37,6	38,5	33,6	27,7
	36,0	30,5	37,6	32,0	36,6	39,6	34,7	34,3	29,5
	44,5	22,9	34,5	26,6	32,0	31,1	34,0	26,5	28,8
3.08	45,0	25,5	33,5	29,7	29,3	32,6	27,5	25,5	25,6
	53,0	23,0	38,7	28,0	33,0	35,0	30,1	28,0	25,1
	26,5	23,6	29,0	26,8	31,0	30,2	28,6	25,6	23,4
Среднее:		25,2	35,5	29,6	33,4	34,3	32,2	29,6	26,9
% %		100	142	120	133	136	128	117	106

Из отдельных элементов наибольшее увеличение (на 28 %) фотосинтеза у сосны вызвал азот. Несколько меньше фотосинтез возрос под влиянием фосфора. Внесение хлористого калия в первый год не вызвало заметного повышения фотосинтеза у молодой сосны. Положительное действие минеральных элементов на фотосинтез еще больше (на 33–42 %) усиливалось, когда они вносились совместно. Удобрения повысили на 5–18 % фотосинтез также у подростка сосны.

У ели в ельнике зеленомошном наибольшее повышение фотосинтез (до 26–32 %) произошло на площадках с полным удобрением, из отдельных элементов – с азотом. Фосфор повысил интенсивность фотосинтеза здесь лишь на 17 %. Реакция ели на калийное удобрение оказалась положительной лишь на второй год.

Дополнительное внесение в сосняки и ельники удобрений существенного влияния на дыхательный метаболизм не оказало. В литературе имеется немало работ, в которых либо не было обнаружено каких-либо существенных изменений в интенсивности дыхательного метаболизма у растений в ответ на внесение удобрений, либо они носили противоречивый характер (Зайцева, 1964, 1965; Головки, Добрых, 1993; Головки, 1999). Удобрения значительно улучшили отношение фотосинтеза к дыханию (с 15:1 в контроле до 24:1 в опыте), чем способствовали более интенсивному наращиванию ими биомассы.

Суточный и сезонный рост сосны. Наблюдения за суточным ростом сосны на контрольной и опытной площадках показали, что процессы растяжения и деления клеток наиболее активно происходят при благоприятных экологических условиях, особенно под влиянием азота (табл. 13).

Таблица 13 – Суточный рост терминальных побегов и ход физиологических процессов у сосны под влиянием азотных удобрений

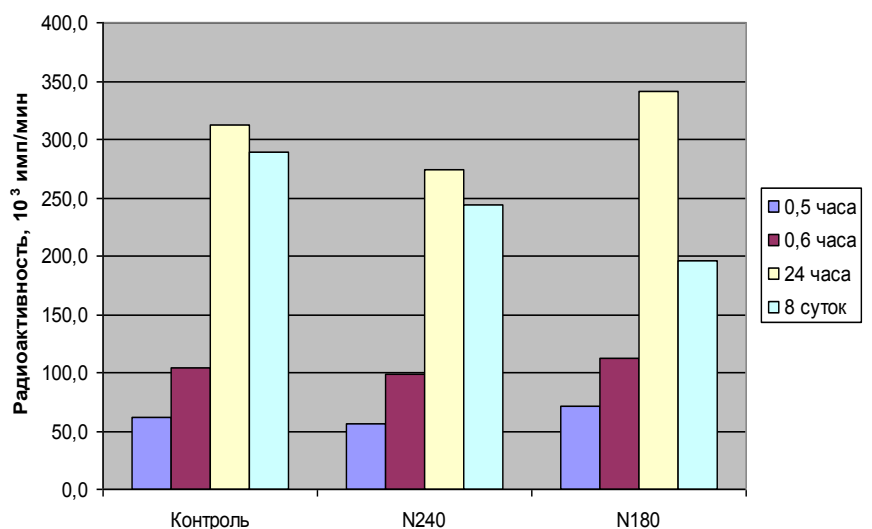
Дата	Время, ч.	Температура, °С	Освещенность тыс. лк	Контроль		N180		Фотосинтез мг CO ₂ /(г*ч)		Транспирация, мг H ₂ O/г*ч	
				Длина гл. побега, см	Прирост, см	Длина гл. побега, см	Прирост, см	Контроль	N 180	Контроль	N 180
17.06	0.00	8,5	0,2	10,5	0	23,7	0	1,0	1,1	данных нет	
	4.00	15,0	3,2	10,6	0,1	24,0	0,3	5,1	6,6	97	70
	8.00	24,4	48,0	10,7	0,2	24,2	0,5	24,1	39,7	102	86
	12.00	28,6	55,0	10,9	0,4	24,4	0,7	24,8	34,1	248	227
	16.00	27,0	50,0	11,2	0,7	25,0	1,3	23,6	34,0	299	260
	20.00	23,5	20,8	11,5	1,0	27,7	2,0	16,5	19,9	142	97
	24.00	18,7	0,2	11,9	1,4	26,6	2,9	0,7	1,1	38	32
18.06	4.00	17,9	4,1	12,3	1,8	27,5	3,8	2,9	4,9	24	25
	8.00	21,1	32,3	12,6	2,1	28,5	4,8	28,1	32,7	116	109

У сосны максимальное усиление роста терминальных побегов происходит в вечерние и ночные часы. В утренние и дневные часы как на удобренных, так и на не удобренных площадках, сосна растет в высоту одинаково медленно. Азот в дозе N180 при благоприятных погодных условиях увеличивает суточный прирост сосны в высоту в 2 раза (2,9 мм в опыте и 1,4 мм в контроле). Расчеты прироста побегов за один час с 8 до 16 ч. и с 16 до 8 ч. выявили следующие значе-

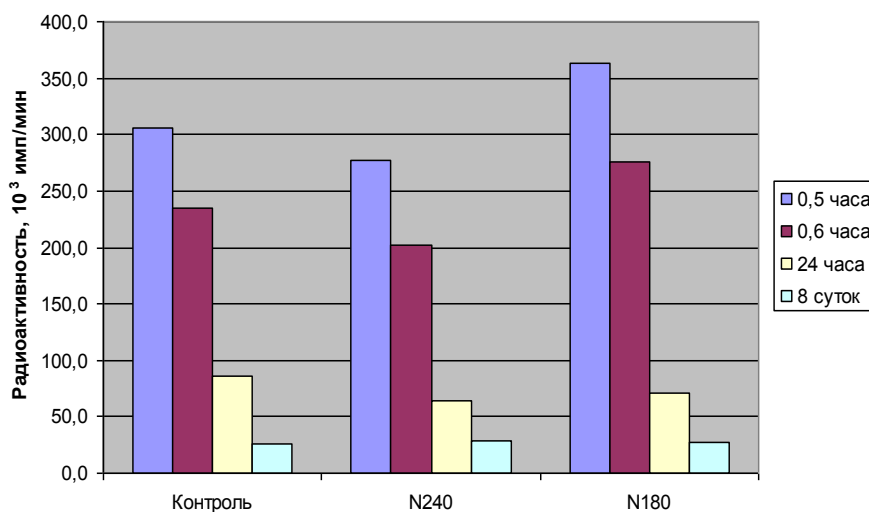
ния: увеличение прироста побегов в указанные часы составило: у контрольных растений 0,4 и 0,7 мм, у опытных – 1,2 и 2,9 мм. Календарный ход сезонного роста сосны в высоту на удобренных и контрольных площадках определялся текущей теплообеспеченностью, а фотосинтез условиями светового режима. В конце июня – начале июля рост терминальных побегов у сосны затухает. У них формируются апикальные и латеральные почки наиболее крупные (на 30-50% больше) под влиянием N180 и значительно меньше в контроле. На второй год эта доза в 1,5 раза увеличила прирост сосны в высоту и на 62 % длину хвоинок.

Удобрения положительно повлияли также на рост хвои у сосны. На второй год в конце периода роста хвоя на опытных площадках (N120, N180, N240) была длиннее хвои контрольных растений соответственно на 5, 10 и 8 мм. У ели в ельнике черничном на третий год длина хвои в варианте с NPK увеличилась на 22%.

Особенности оттока и передвижения углерода –14. Результаты радиометрического анализа показали, что азот усиливает накопление ассимилятов в хвое и способствует более активному перемещению их к местам потребления (рис. 7).



a



б

Рисунок 7 – Влияние азота на скорость передвижения C^{14} – ассимилятов у сосны в 25-летнем сосняке лишайниковом: *a* – хвоя текущего года, *б* – однолетняя хвоя.

Ускоряя отток ассимилятов (в 2 раза) и способствуя более быстрому поступлению их к местам потребления (молодая хвоя, камбий, корни), азот тем самым усиливает функционирование всех систем дерева и способствует более быстрому росту его. В нашем опыте оптимальной для 25-летней сосны в сосняках лишайниковых явилась доза азота 180 кг/га. Повышенная доза элемента (N240), напротив, снижала фотосинтез и задерживала отток ассимилятов из хвои.

Удобрения положительно повлияли на развитие ассимиляционного аппарата сосны и ели. В сосняках лишайниковых наибольшее увеличение длины и массы хвоинок у сосны вызвало полное удобрение, а среди азотных удобрений доза N180 (табл. 14). У ели в ельнике черничном длина хвоинок под влиянием полного удобрения возросла на 22, масса на 18 %, ширина годичного кольца через 4 год увеличилась на 28 % и составляла 1,31 мм (в контроле 1,02 мм).

Таблица 14 – Влияние минеральных удобрений на длину (см) и массу (г) 100 парных хвоинок сосны в 12-летнем сосняке лишайниковом

Показатели	Варианты опыта							
	Контроль	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
Длина, см	343	460	395	365	493	442	420	553
Масса, г	2,79	4,42	3,60	2,95	5,16	4,50	4,00	5,35

Через 4 года надземная фитомасса сосны в 25-летнем сосняке лишайниковом на площадках с N180 увеличилась в 2 раза, а на площадках с N240 в 1,8 раза (табл. 15), дополнительный запас сосны при дозе N180 увеличился на 7,3 м³/га.

Таблица 15 – Влияние дозы азота на надземную биомассу деревьев сосны

Вариант опыта	Наименование фракции дерева							
	Ствол		Ветви		Хвоя		Итого	
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
Контроль	4,03	100	1,17	100	2,48	100	7,68	100
N120	8,19	203	2,83	242	4,29	179	15,45	201
N180	7,71	191	2,83	243	5,14	207	15,68	204
N240	6,95	172	2,48	213	4,10	165	13,53	176

Влияние удобрений на физиологию ели в березняках черничных. Удобрения, прежде всего, изменили энергетическое состояние корней ели. На второй год интенсивность выделения CO₂ корнями на удобренных площадках у среднего подроста превышала контроль на 17–24 %. На площадках с дозой N240 в первый год у корней было отмечено небольшое ослабление интенсивности дыхания. Количество выделяемой корнями CO₂ на площадках с этим удобрением оказалось на 13 % меньше, чем на неудобренном контроле (табл. 16). Была отмечена также частичная гибель светлых мелких корешков.

Интенсивность фотосинтеза у подростка ели на следующий год после внесения удобрений на площадках с N180 разреженной секции (70 %) превышала контроль: у мелкого подростка на 97, среднего на 31, крупного подростка и тонко-

мера на 25 %. На удобренных площадках контрольного насаждения фотосинтез был выше контроля лишь на 8–35 %. По сравнению с общим контролем, где рубка деревьев и внесение удобрений не проводились, интенсивность фотосинтеза у подростка на удобренных площадках разреженных секций была в 2,6–3,6 раза выше. Удобрения усилили у подростка также накопление пигментов, ускорили отток из хвои ^{14}C -ассимилятов и снабжение ими молодой хвои и корней.

Таблица 16 – Влияние азотного удобрения на интенсивность физиологических процессов у подростка ели в 53-летнем березняке черничном разреженной секции, 70 %

Наименование показателей	Контроль	N180			N240		
	$M \pm m$	$M \pm m$	t	%	$M \pm m$	t	%
Дыхание корней, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$	0,71±0,04	0,83±0,02	2,4	117	0,88±0,02	3,3	124
Сумма хлорофиллов, мг	0,74±0,03	1,07±0,01	11,2	144	1,00±0,03	6,5	134
Сумма каротиноидов, мг	0,11±0,00	0,14±0,00	17,1	124	0,16±0,01	3,4	138
Фотосинтез, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$	18,5±0,5	21,9±0,8	3,2	118	21,8±0,5	3,8	118
Дыхание хвои, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$	0,50±0,01	0,60±0,02	6,7	120	0,61±0,01	7,8	122
Транспирация, Мг $\text{H}_2\text{O}/(\text{г} \cdot \text{ч})$	442±82	301±29	1,6	68	241±53	2,1	55

$M \pm m$ – среднее значение с основной ошибкой, t – достоверность среднего значения.

Дыхание хвои на удобренных площадках у подростка оказалось на 20 % выше контроля, а скорость водоотдачи, примерно, на такую же величину ниже.

Влияние удобрений на жизнедеятельность подпологовых растений. Внесение удобрений значительно улучшило жизненное состояние подпологовых растений. Уже в год внесения в ельник черничный 150 кг/га азота содержание хлорофилла у подростка ели во вновь образовавшейся хвое возросло на 19, у подлесочных видов (березы, жимолости, рябины, шиповника) на 58–79%, у листовых мхов на 29 %, содержание каротиноидов возросло на 7– 58 % (табл. 1).

Таблица 17 – Интенсивность физиологических процессов у растений ельника зеленомошного на второй год после внесения удобрений (N150), (август)

Вид растений	Пигменты, мкг/г		Фотосинтез, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$		Дыхание, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Подрост, ель	1480	1887	32,1	36,1	0,54	0,61
Береза	2612	3372	45,7	58,6	2,91	3,56
Рябина	2566	4083	48,6	59,1	1,47	1,82
Шиповник	2831	4232	60,3	92,0	1,98	2,49
Майник	2180	3028	73,1	92,2	2,55	2,93
Брусника	1319	2643	33,2	49,5	1,08	1,19
Кислица	1754	3688	34,6	66,5	1,67	1,90
Зеленые мхи	460	584	10,2	12,8	2,00	2,93

Интенсивность фотосинтеза на второй год на удобренной площадке у подроста ели превышала контроль на 13–26 %, у растений подлеска (березы, жимолости, рябины, шиповника) на 17–52 %, а у растений травяно–кустарничкового яруса (папоротника, кислицы, хвоща, майника, брусника) на 26–92 %.

После внесения в сосняки лишайниковые азотных удобрений в варианте с N240 содержание общего азота у растений напочвенного покрова на второй год возросло в 1,4–2,6 раза: у толокнянки до 1,27; вереска 1,72; вейника 3,22 % против 0,73; 1,20; 1,46 % в контроле, а содержание пигментов на 14–36 %. Интенсивность фотосинтеза у растений на удобренных площадках увеличилась на 22–31 %, влажность листьев на 0,3–4,0 %, транспирация уменьшилась на 16–22 %, а дыхание побегов (с листьями) изменилось несущественно (на 9–16 %).

9. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЖИЗНЕДЕТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Наши исследования показали, что адаптация растений к почвенно-климатическим особенностям Крайнего Севера обеспечивается специфическими изменениями в метаболических процессах: по сравнению с умеренными широтами повышенным фотосинтезом и дыханием (в 1,2–1,4 раза), уменьшенным содержанием (в 1,5–2,5 раза) в листьях пластидных пигментов, высокой работоспособностью хлорофилла, умеренным расходом воды на транспирацию. Однако короткий и холодный вегетационный период, увеличенный расход энергии на поддержание жизнедеятельности обуславливают слабый рост и низкую продуктивность растений этой природно-климатической зоны. По нашим данным в северо-таежной подзоне в сосняках лишайниковых длина главного осевого побега у сосны за год увеличивается до $30,5 \pm 1,2$ см (Листов, Коновалов, 1988), а на северном пределе ареала не превышает $19,6 \pm 0,8$ см (Цветков, Семенов, 1985).

Выборочные рубки на северном пределе ареала снижают содержание хлорофилла у деревьев сосны и ели на 15, у подроста на 22 %, в 2 раза повышают интенсивность фотосинтеза, на 21 % транспирацию и на 12 % дыхание корней. Так, например, в Республике Коми (урочище Н.-Пеша, $66^{\circ}45'$ с.ш.) на 21-летней вырубке из-под сосняка черничного ширина годичного слоя у подроста сосны и ели увеличилась по сравнению с древостоем в 1,8–2,9 раза, прирост в высоту в 3,3 раза, а длина хвоинок возросла на 22,8 % (табл. 18).

Таблица 18 – Интенсивность физиологических процессов у подроста сосны и ели в ельнике черничном и на однолетней сплошной вырубке

Наименование показателей	Ельник черничный		Однолетняя вырубка	
	Сосна	Ель	Сосна	Ель
Дыхание корней, мг CO ₂ /(г*ч)	0,59±0,03	0,64±0,02	0,66±0,03	0,75±0,02
Дыхание хвои, мг CO ₂ /(г*ч)	0,52±0,02	0,47±0,06	0,60±0,02	0,52±0,06
Сумма хлорофиллов, мг/г	0,47±0,01	0,41±0,01	0,44±0,01	0,37±0,01
Сумма каротиноидов, мг/г	0,19±0,01	0,20±0,01	0,17±0,01	0,18±0,01
Фотосинтез, мг CO ₂ /(г*ч)	6,2±0,4	5,2±0,3	18,9±1,0	12,0±0,8
Транспирация, мг H ₂ O/(г*ч)	174±9	226±17	237±17	263±16

Лесные пожары средней интенсивности у деревьев снижают содержание пигментов на 26–69, интенсивность фотосинтеза на 40–87 %, а транспирацию в 2 раза и более, причем наиболее значительно у березы и ели и меньше у сосны и лиственницы. Последствия пожаров негативно отражаются на камбиальной деятельности деревьев. Так, через 8 лет после низового пожара средней интенсивности годичный слой древесины у сильно поврежденных огнем деревьев сосны (с пожарными подсушинами) был в 5,0–5,5 раз уже, чем у здоровых деревьев.

В решении проблемы повышения устойчивости и климатозащитных функций лесов Крайнего Севера применению удобрений в будущем, безусловно, должно принадлежать ведущее место. Наши исследования в лесах Крайнего Севера показали, что внесение азотных удобрений в сосняки лишайниковые уже в первый год повышает содержание хлорофилла у сосны на 58, каротиноидов на 38, интенсивность фотосинтеза на 36 %. Наибольшее влияние на ход физиологических процессов в 33 и 60-летних сосняках лишайниковых оказал азот в дозах 240 кг/га. Доза азота N120 оказала слабое действие на ассимиляционный аппарат, а действие дозы N80 на ходе физиологических процессов практически никак не проявилось, превышение над контролем составило менее 10 % (табл. 19).

Таблица 19 – Интенсивность физиологических процессов у сосны в 33-летнем сосняке лишайниковом после внесения азотного удобрения (август)

Вариант опыта	Хлорофилл, мг/г			Каротиноиды, мг/г	Фотосинтез мг CO ₂ /(г*ч)	Длина хвои, см
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a:b</i>			
Контроль	0,22±0,010	0,11±0,006	2,0	0,13±0,003	19,0±1,5	2,7±0,4
N80	0,24±0,006	0,12±0,004	2,0	0,16±0,004	20,5±1,3	3,0±0,8
N120	0,29±0,010	0,13±0,006	2,2	0,16±0,003	24,0±1,3	3,4±0,3
N180	0,32±0,004	0,17±0,003	1,9	0,17±0,005	25,9±1,6	3,6±0,5
N240	0,33±0,007	0,17±0,005	1,9	0,17±0,004	25,7±0,8	3,9±0,04
N300	0,33±0,013	0,18±0,009	1,9	0,18±0,003	24,8±2,4	4,0±0,6

У ели при дозе азота 240 кг/га содержание зеленых пигментов увеличилось на 19, каротиноидов на 13 %, а фотосинтез возрос на 24 %. У сосны под влиянием максимальных доз удобрения длина хвоинок увеличилась на 48, ширина на 12 и толщина на 28 %, возросло также количество смоляных каналов на 12–19 %. Рубки ухода здесь в 30-летнем сосняке лишайниковом в комплексе с удобрениями у сосны повысили фотосинтез на 34%, а содержание пигментов на 20-31 %.

10. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФИЗИОЛОГИЮ ПОДСАЧИВАЕМЫХ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ

Результаты наших опытов показывают, что на пятый год обычная подсочка (без стимулятора смоловыделения) у сосны снижает концентрацию хлорофилла на 17, каротиноидов на 20 % и повышает фотосинтез на 11 % по сравнению с неподсоченными деревьями. Особенно значительно эти показатели изменились у высокосмолопродуктивных деревьев. Подсочка с настоем кормовых дрожжей

(НКД) через пять лет увеличила у сосны концентрацию пигментов по сравнению с обычной подсочкой на 19 %, интенсивность фотосинтеза на 10 % и на 17 % по сравнению с незаподсоченными деревьями (табл. 20).

Таблица 20 – Влияние технологии подсочки на содержание пигментов у сосны в сосняке черничном, 1985 г.

Способ подсочки	Смолопродуктивность деревьев	Концентрация пигментов, мг/г			Фотосинтез, мг CO ₂ /(г*ч)
		Хлорофилл	Каротиноиды	Сумма пигментов	
Без подсочки	–	0,94±0,030	0,30±0,009	1,30±0,019	18,9±0,83
Обычная, без стимулятора, схема 1	Низкая	0,85±0,014	0,31±0,012	1,16±0,010	19,5±0,80
	Высокая	0,76±0,017	0,28±0,010	1,04±0,015	20,9±0,82
с НКД, схема 1	Высокая	0,93±0,010	0,35±0,006	1,28±0,015	22,2±0,88
	Низкая	0,89±0,021	0,33±0,007	1,22±0,013	21,1±1,06
с НКД, схема 2	Высокая	0,90±0,018	0,32±0,005	1,22±0,011	22,1±0,85
	Низкая	0,86±0,011	0,33±0,009	1,19±0,19	20,8±0,73

Нашими опытами установлено, что минеральные удобрения у подсачиваемых с настоем кормовых дрожжей деревьев повышают содержание пигментов на 15–19, интенсивность фотосинтеза на 12–27 % (табл. 21). Из литературы (Егоренков, Медников, 1983) известно, что кормовые дрожжи в своем составе содержат многие физиологически активные вещества (витамины, микро- и макроэлементы, ферменты), которые при поступлении в метаболические центры дерева способны оказать активирующее действие на синтез и работу гормональных соединений типа цитокининов, контролирующих обмен веществ во всем дереве, синтез пигментов в том числе, что и выявлено нами у подсоченной с настоем кормовых дрожжей сосны.

Таблица 21 – Влияние удобрений на интенсивность фотосинтеза у деревьев сосны, подаваемых с настоем кормовых дрожжей, мг CO₂/(г*ч)

Вариант опыта	Сосняк черничный		С. мохово-лишайниковый	
	Фотосинтез	t	Фотосинтез	t
Контроль, подсочка без удобрений НКД	30,7±1,3	–	35,9±1,65	–
K100	32,8±2,00	0,88	39,8±3,00	1,08
N200	37,9±2,24	2,77	42,6±1,90	2,64
N200K100	36,7±2,02	2,48	41,7±1,80	2,36
N200P200	39,0±2,43	3,00	44,9±2,08	3,35
P200K200	35,1±2,57	1,51	40,5±3,23	1,29

Самый высокий фотосинтез отмечался у деревьев на площадках с азотом (N и NP). Превышение над контролем составляло 23–27% при статистически значимых значениях ($t = 2,6–3,5$ при $t_{0,95} = 2,2$). Существенного изменения дыхания хвои у подсачиваемых с НКД деревьев минеральные удобрения не вызвали.

Таким образом, материалы проведенных исследований свидетельствуют, что осушение заболоченных торфяных почв Севера существенно улучшает условия для произрастания сосны и ели, что благоприятно отражается на их физиологической деятельности и в целом на продуктивности сосновых и еловых древостоев. Внесение в осушенную торфяную почву минеральных удобрений ведет к дальнейшей оптимизации физиологических процессов у этих древесных пород. В условиях осушенных переходных торфяных почв наибольший положительный эффект на ход физиологических процессов у деревьев оказывает полное минеральное удобрение и один фосфор. Выявлено также, что при технологии осушения глубокими, редко расположенными канавами положительная реакция деревьев на осушение и внесение минеральных удобрений неоднозначна на всей площади межканавного пространства (максимальная в приканавной полосе), что свидетельствует о несовершенстве указанной технологии лесосушения.

Несплошные рубки в осушенных лесах, березняках и ельниках черничных увеличивают доступ света к кронам, что благоприятно влияет на физиологическую деятельность и ростовые процессы деревьев и подроста. Сплошные рубки у сосны и ели лишь незначительно повышают интенсивность фотосинтеза и ростовые процессы по сравнению с выборочными рубками. В осушенных лесах они уже через 3-4 года приводят к заболачиванию вырубленной территории.

В сосновых молодняках рубки ухода улучшают световое и корневое питание сосны, существенно повышают физиологическую активность и общую массу деревьев. Однако неравномерность осушения на всей площади межканавного пространства значительно снижает положительный эффект для всего фитоценоза от этого важного лесохозяйственного мероприятия.

Минеральные удобрения, вносимые в сосняки лишайниковые, ельники и березняки черничные, благоприятно влияют на физиологическую деятельность сосны и ели, суточный и сезонный рост терминальных побегов и хвои и в целом ведут к повышению продуктивности деревьев и подроста. Вносимые удобрения одновременно повышают также жизненное состояние подпологовых растений.

Адаптация растений к условиям холодного климата у растений обеспечивается специфическими особенностями в метаболизме: пониженным содержанием пигментов, повышенным фотосинтезом и дыханием, умеренной транспирацией. Азотные удобрения и выборочные рубки существенно повышают климато-защитные свойства северных лесов и их устойчивость в холодном климате, а лесные пожары, напротив, ухудшают жизненное состояние и рост деревьев и ведут к преждевременной гибели их. Подсочка с настоем кормовых дрожжей по фону удобрений у сосны активизирует обмен веществ, сохраняя при этом повышенный выход живицы в течение 6-8 лет (Коновалов, Ярунов, 1986).

ВЫВОДЫ

1. Осушение торфяно-болотных почв приводит к существенному улучшению лесорастительных условий. В результате понижения уровня грунтовых вод в 1,2–1,8 раза снизилась влажность верхнего слоя почвы, улучшился газовый состав почвенного воздуха, в 1,2–1,5 раза возрос объемный вес и зольность торфа, в

2 раза увеличилось количество азота в корнеобитаемом слое. Наряду с этим осушение привело к некоторому снижению (на 0,3–4,2 °С) температуры торфяной почвы и приземных слоев воздуха, уменьшению подвижности фосфора и калия.

2. Кривая депрессии уровня почвенно-грунтовых вод при лесосушении редкими, глубокими канавами выражена достаточно отчетливо только на расстоянии 30–40 м от осушителей. Дальше уровень почвенно-грунтовых вод мало отличается от неосушенного участка, что свидетельствует о несовершенстве системы лесосушения глубокими, но редко расположенными канавами.

3. Осушение, улучшая лесорастительные условия, у сосны и ели повышает дыхание корней в 2,5 раза, скорость фотосинтеза в 1,5 раза, содержание азота, фосфора и калия на 8–50%. Позитивные изменения в ходе физиологических процессов в целом способствовали повышению продуктивности осушенных лесов. Через 45 лет бонитет елового древостоя вблизи канавы увеличился на два класса, а запас на 98 м³/га. В сосняке кустарничково-сфагновом дополнительный прирост сосны в высоту составил 4,4 м, запас древесины 39 м³/га.

4. Внесение минеральных удобрений в осушенную почву у деревьев способствует дальнейшему усилению процессов обмена веществ. Осушение в комплексе с полным удобрением повышает содержание азота в однолетней хвое ели на 32, калия на 45 %, фосфора в 2 раза, содержание пигментов в 2–2,4 раза, усиливает фотосинтез в 1,9–2,4 раза. Через 4 года у ели это удобрение вблизи канавы увеличивает ширину годичного слоя на 28 % (с 1,02 до 1,32 мм).

5. В осушенных лесах, сосняках лишайниковых, ельниках и березняках черничных внесение хлористого калия, увеличивая в хвое на 30–34 % содержание хлора, отрицательно влияет на фотосинтез, рост и развитие ассимиляционного аппарата деревьев. В связи с этим на лесных площадях с аналогичными типами леса необходимо вносить калийные удобрения, не содержащие в своем составе иона хлора, например K₂SO₄.

6. Выборочные рубки в осушаемых сосняках и ельниках, березняках черничных, улучшая лесорастительные условия, у сосны и ели в 1,6–1,8 раза усиливают дыхание корней, в 1,4–3,8 раза повышают интенсивность фотосинтеза, активизируют донорно-акцепторные взаимодействия и ростовые процессы. Через 14 лет они на 28 % увеличивают массу деревьев (с 61,5 до 79,6 кг) и на 2,8 кг ежегодный прирост молодой хвои. Наибольшую физиологическую реакцию на выборочные рубки проявляют лидирующие деревья.

7. На сплошных вырубках деревья и подрост сосны и ели на 30–54 % меньше содержат пигментов, чем под пологом и на 29 % меньше, чем на участках выборочных рубок. Интенсивность фотосинтеза у этих пород на сплошных вырубках лишь на 10 % выше, чем при выборочных рубках. В осушенных лесах сплошные рубки уже через 3–4 года приводят к заболачиванию вырубаемой территории. В связи с этим в осушаемых ельниках и березняках черничных наиболее приемлимыми являются выборочные рубки. В осушаемых сосняках ввиду высокого светолюбия сосны наряду с несплошными рубками могут быть рекомендованы условно-сплошные с сохранением достаточного количества тонкомерной части древостоя в комплексе с хвойным подростом высокого жизненного состояния.

8. Рубки ухода в осушенных сосновых молодняках изменяют структуру древостоев и активизируют донорно-акцепторные взаимодействия. В близи канав они в 1,5–2,2 раза увеличивают интенсивность фотосинтеза, в 2,2 раза массу деревьев и в 2,5 раза массу молодой хвои. Однако в результате неравномерного осушения глубокими, редко расположенными канавами равного эффекта от осушения и рубок ухода на всей мелиорируемой площади не достигается.

9. Внесение в сосняки лишайниковые, ельники и березняки черничные минеральных удобрений улучшает корневое питание растений, что благоприятно влияет на их состояние. Под их действием у сосны и ели в 1,3–1,6 раза усиливается дыхание корней, на 8–10 % повышается оводненность хвои и на 14–47 % содержание отдельных пигментов, на 18–46 % становится выше интенсивность фотосинтеза, значительно ускоряется оттока ассимилятов, суточный и сезонный рост побегов и другие процессы, лежащие в основе продуктивности лесов.

10. Среди азотных удобрений наибольшее положительное действие на ход физиологических процессов и рост сосны и ели оказывает азот в дозе 180 кг/га, а также полное и азотно-фосфорное удобрения. За четыре года эта доза азота у сосны в 25-летнем сосняке лишайниковом обеспечивает получение дополнительного прироста в высоту 36,4 см, а прироста стволовой древесины 7,3 м³/га. Удобрения усиливают также рост хвои, увеличивая через четыре года на площадках с N240 ее длину на 47 % и массу в 2,1 раза.

11. Круглосуточными исследованиями установлено, что на Севере рост сосны наиболее активно происходит в сумеречное и ночное время при благоприятных экологических условиях. В дневные часы происходит лишь накопление растениями пластических веществ в результате высокого фотосинтеза. Азот в дозе 180 кг/га увеличивает суточный роста сосны в высоту в 2 раза.

12. Подпологовые растения, перехватывая у древесных растений вносимые в насаждения азотные удобрения, в 1,4–2,6 раза повышают в тканях содержание азота и на 58–79 % количество пигментов, на 17–92 % усиливают фотосинтез и на 16–22 % снижают транспирацию, а, разрастаясь, увеличивают объем дернины и степень проективного покрытия.

13. Адаптация растений к почвенно-климатическим особенностям Крайнего Севера обеспечивается специфическими изменениями в метаболизме. В этих условиях растения содержат в 1,5–2 раза меньше пигментов, особенно хлорофилла, но больше каротиноидов, в 2 раза выше имеют фотосинтез, но в 1,5 раза ниже прирост в высоту. Выборочные рубки на северном пределе ареала у сосны и ели в 2 раза повышают интенсивность фотосинтеза, на 12 % дыхание корней и в 2,9 раза увеличивают ширину годичного кольца. Азотные удобрения способствуют дальнейшему улучшению жизненного состояния и защитных свойств лесов этого уникального природного комплекса. Лесные пожары ухудшают жизненное состояние и рост притундровых лесов, на 29–50 % снижая у деревьев интенсивность фотосинтеза и в 5,5 раз сокращая ширину годичного слоя.

14. Подсочные ранения у сосны на 11% повышают фотосинтез и на 19 % снижают содержание пластидных пигментов в хвое. Настой кормовых дрожжей в комплексе с минеральными удобрениями у заподсоченной сосны способствует

дальнейшему повышению фотосинтеза и содержания пигментов, сохраняя при этом повышенным выход живицы в течение 6–8 лет.

Предложения производству:

1. В целях недопущения подтопления корнеобитаемого горизонта в течение всего вегетационного периода заболоченные леса следует осушать системой мелкой мелиорации с расстоянием между канавами 30–40 м и глубиной 50 см.

2. В осушаемых ельниках и березняках черничных рекомендуется проведение выборочных рубок интенсивностью 40–50 %, в осушаемых сосняках условно сплошных с сохранением достаточного количества тонкомера и жизнеспособного подроста. Проведение сплошных рубок в осушенных лесах может не дать положительного эффекта и привести к заболачиванию вырубаемой территории.

3. В осушаемые сосняки и ельники при их удобрении рекомендуется вносить полные, а также фосфорные удобрения. В сосняки лишайниковые, ельники и березняки черничные целесообразно вносить азот в дозах 180 кг/га или полные удобрения. Из калийных удобрений следует использовать виды, не содержащие в своем составе иона хлора, например, K_2SO_4 .

4. Для достижения равного эффекта от осушения и удобрений на всей мелиорируемой площади проектируемая осушительная сеть не должна допускать подтопления корнеобитаемого слоя в течение всего вегетационного периода.

5. Подсочку северной сосны можно проводить по любой технологической схеме (1, 2) с применением экстракта кормовых дрожжей в качестве стимулятора смолывыделения по фону полного удобрения.

6. Для повышения жизненного состояния, устойчивости и климатозащитных свойств лесов Крайнего Севера целесообразно вносить азотные удобрения в дозах 240 кг/га. Допустимо проведение выборочных рубок с интенсивностью рубки не более 50 % по запасу. Природные пожары негативно влияют на жизненное состояние лесов этой природно-климатической зоны.

Основные публикации по теме диссертации.

Монографии:

1. Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., **Коновалов В.Н.** Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях антропогенного загрязнения: диагностика состояния. Екатеринбург: Уро РАН, 2004. 333 с.
2. **Коновалов В.Н.**, Зарубина Л.В. Эколого–физиологические особенности хвойных на осушаемых землях. Архангельск: С(А)ФУ, 2010. 295 с.
3. **Коновалов В.Н.**, Зарубина Л.В. Эколого–физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск: С(А)ФУ, 2011. 338 с.

Статьи в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ:

4. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Динамика содержания пластидных пигментов у сосны в св-язи с внесением удобрений в северотаежных лишайниковых борах // Лесн. журн., 1985. № 6. С. 18-22.– (Изв. высш. учеб. заведений).
5. **Коновалов В.Н.** Сезонная динамика содержания пластидных пигментов в хвое ели в связи с внесением минеральных удобрений // Журн. общей биологии, 1988. Т. XLIX. № 5. С. 611–617.
6. Листов А.А., **Коновалов В.Н.** Влияние минеральных удобрений на сезонный рост сосны в высоту // Лесоведение, 1988. № 1. С. 33-42.
7. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Влияние условий минерального питания на дыхание корней сосны обыкновенной // Лесн. журн., 1989. № 4. С. 15-19 – (Изв. высш. учеб. заведений).
8. **Коновалов В.Н.** Особенности сезонной динамики содержания пластидных пигментов у подростка ели в лиственнично-еловых древостоях в связи с комплексными уходами // Лесн. журн., 1995. № 1. С. 31-36 – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. **Коновалов В.Н.**, Коновалова В.Н. Адаптивные особенности физиологических процессов у растений на Крайнем Севере // Лесн. журн., 1996. № 6. С. 26-31 – (Изв. высш. учеб. заведений).
10. **Коновалов В.Н.** Трансформация физиологических процессов у древесных растений в притундровых формациях под влиянием природных и антропогенных факторов // Лесн. журн., 1999. № 1. С. 33-42 – (Изв. высш. учеб. заведений).
11. **Коновалов В.Н.**, С.Н.Тарханов С.Н., Костина Е.Г. Состояние ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях промышленного атмосферного загрязнения // Лесоведение, 2001. № 6. С. 43-46 – (Изв. высш. учеб. заведений).
12. Зарубина Л.В., **Коновалов В.Н.** Особенности сезонной динамики пигментов в листьях растений сосняка кустарничково-сфагнового // Лесн. журн., 2009. № 4. С. 24-32 – (Изв. высш. учеб. заведений).
13. **Коновалов В.Н.** Особенности минерального питания ели на осушенных и удобренных торфяных почвах Севера // Вестник Поморского университета: Серия «Естественные науки», 2011. № 1. С. 55-62.
14. **Коновалов В.Н.** Особенности физиологических процессов у сосны и ели при сплошных и выборочных рубках // Вестник Поморского университета: Серия «Естественные науки», 2011. № 2. С. 53-60.
15. **Коновалов В.Н.** Влияние минерального азота на физиологическое состояние подпологовых растений в лесных фитоценозах Севера // Вестник КрасГАУ, 2011. № 8. С. 48-52.
16. **Коновалов В.Н.** Биологические особенности подростка ели в березняках черничных после выборочных рубок // Вестник КрасГАУ, 2011. № 8. С. 99-104.
17. **Коновалов В.Н.**, Зарубина Л.В. Влияние подсочки и минеральных удобрений на физиологию сосны // Лесн. журн., 2011. № 5. С. 20-26 – (Изв. высш. учеб. заведений).

Публикации в других изданиях:

18. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Влияние карбамида на содержание пигментов в хвое сосновых молодняков // Материалы отчетной сессии по итогам НИР за 1981 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1982. С. 19–21.
19. **Коновалов В.Н.** Эколого-физиологические особенности сосны и ели на осушенных и удобренных торфяных почвах Севера // Мелиорация лесов Европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1982. С. 66–75.
20. **Коновалов В.Н.**, Коновалова Л.В. Сезонная и возрастная динамика потенциального фото-синтеза хвои ели на осушенных болотных почвах // Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и водного режима растений в полевых условиях: Материалы Всесоюзн. совещ. Иркутск, 1982. С. 10–11.
21. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Влияние карбамида на содержание пигментов в хвое сосновых молодняков // Материалы отчетной сессии по итогам НИР за 1981 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1982. С. 19–21.
22. Листов А.А., **Коновалов В.Н.**, Серый В.С. Сезонный рост в высоту и фотосинтез сосновых молодняков в связи с внесением удобрений // Проблемы повышения продуктивности лесов и перехода на непрерывное рациональное лесопользование в свете решений 26 съезда КПСС. Архангельск: АИЛиЛХ, 1983. С.25–28.
22. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Суточный рост и фотосинтез сосны обыкновенной под влиянием азотных удобрений // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Материалы Всесоюзн. совещания Гомель, 1984. С. 26-27.
24. Листов А.А., Серый В.С., **Коновалов В.Н.** Влияние азотных удобрений на продуктивность сосняков лишайниковых // Материалы отчетной сессии за 1984 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1985. С. 38–40.
25. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А., Серый В.С. Влияние азотных удобрений на рост и физиологическое состояние нижних ярусов растительности в сосняках лишайниковых // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Материалы Всесоюзн. совещания Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. 48–49.
26. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Особенности дыхания корней сосны в северотаежных лишайниковых борах в связи с внесением удобрений // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: Материалы Всесоюзн. совещания – Архангельск: АИЛиЛХ, 1986.– С. 54-55.
27. **Коновалов В.Н.**, Ярунов А.С. Влияние подсочки сосны с применением дрожжевых стимуляторов смолы выделения на физиологическое и лесопатологическое состояние насаждений. // Интенсификация подсочки и использование вторичной продукции леса. Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. С. 31–45.
28. **Коновалов В.Н.** Сезонная динамика содержания пластидных пигментов в листьях некоторых болотных растений // Материалы симпозиума «Биологические проблемы Севера». Якутск, 1986. Ч. 2. С. 111–112.
29. **Коновалов В.Н.** Влияние подсочки на физиологическое состояние удобренных сосновых насаждений // Материалы отчетной сессии по итогам НИР в 11 пятилетке. Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. С. 63–64.

30. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Особенности оттока ^{14}C -ассимилятов у сосны обыкновенной под влиянием азотных удобрений // Проблемы физиологии и биохимии древесных растений. Петрозаводск, 1989. С. 63–64.
31. **Коновалов В.Н.**, Семенов Б.А. О содержании пластидных пигментов у растений лесного острова Море-Ю // Материалы отчетной сессии по итогам НИР за 1987 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1989. С. 66–67.
32. **Коновалов В.Н.**, Семенов Б.А. Влияние пожаров на физиологическое состояние древостоев Крайнего Севера.- Сб. Проблемы лесоведения и лесной экологии: Материалы Всесоюзн. совещания. М., 1990.– Ч. 1.– С. 156–158.
33. **Коновалов В.Н.** Физиологическая оценка воздействия минеральных удобрений на древесные растения Крайнего Севера // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: Материалы Междунар. симпозиума. Архангельск–Москва, 1990. Ч.2. С. 107–112.
34. **Коновалов В.Н.** Особенности физиологических процессов лесной растительности в связи с применением минеральных удобрений // Экологические исследования в лесах Европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1991. С. 103–110.
35. **Коновалов В.Н.**, Семенов Б.А. Физиологическое состояние древесных растений на вырубках Крайнего Севера // Эколого-географические проблемы сохранения и восстановления лесов Севера: Материалы Всесоюзн. научн. конференции.– Архангельск, АИЛиЛХ, 1991. С. 258–260.
36. **Коновалов В.Н.** Особенности CO_2 -газообмена сосны обыкновенной при разных режимах азотного питания // Экологическая физиология хвойных: Материалы Междунар. симпозиума ИЮФРО.– Абакан-Красноярск, 1991. С. 54–55.
37. **Коновалов В.Н.**, Вялых Н.И. Фотосинтез и транспирация хвойных пород в условиях разного светового режима на Европейском Севере // Экологическая физиология хвойных: Материалы Междунар. симпозиума ИЮФРО. Абакан-Красноярск, 1991. С. 56–57.
38. **Коновалов В.Н.**, Вялых Н.И. Физиология ели после комплексных уходов в лиственнично-еловых насаждения на Европейском Севере // Материалы 26 сессии Комиссии им. Л.А.Ива—нова / Анатомия, физиология и экология лесных растений. Петрозаводск: Кар. ФАН СССР, 1992. С. 70-74.
39. **Коновалов В.Н.**, Листов А.А. Сезонный рост и фотосинтез сосны обыкновенной под влиянием азотных удобрений // Повышение продуктивности лесов Европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1992. С. 151–159.
40. **Коновалов В.Н.** Жизнедеятельность растений Крайнего Севера и ее изменение под влиянием пожаров // Проблемы притундрового лесоводства. Архангельск: АИЛиЛХ, 1995. С. 78–89.
41. **Коновалов В.Н.**, Вялых Н.И., Ермолаевская Г.Н., Коновалова Л.В. Эколого-физиологические особенности рубок главного пользования в лесах Европейского Севера // Антропогенное влияние на европейские таежные леса России. Архангельск: АИЛиЛХ, 1994. С. 38–52.
42. Вялых Н.И., **Коновалов В.Н.** Ускоренное переформирование лиственнично-еловых древостоев в еловые на Севере // Информационный листок № 15-98.– Архангельск: ЦНТИ, 1998.– 2 с.

38. **Коновалов В.Н.** Результаты физиологических исследований в познании природы лесов Севера // Наука – лесному хозяйству. Архангельск: АИЛиЛХ, 1999. С. 91–101.
43. **Коновалов В.Н.**, Тараканов А.М. Влияние рубок ухода на морфофизиологическое состояние сосновых молодняков на осушенных землях // Материалы междунар. научн.-практ. семинара: Глобальное потепление и леса Поволжья. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. С. 82–88.
44. **Коновалов В.Н.**, Зарубина Л.В. Эколого-биологические особенности подроста ели в мягколиственных лесах в связи с рубками // Наука-северному региону. Архангельск: АГТУ, 2002. С. 91–96.
45. **Коновалов В.Н.**, Зарубина Л.В., Мылюева Л.П. Сезонная динамика накопления пигментов у растений в осушаемом сосняке кустарничково-сфагновом // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. труд. Архангельск: АГТУ. 2007. Вып. 10. С. 28-29.
46. Зарубина Л.В., **Коновалов В.Н.** Эколого-физиологическая оценка эффективности гидромелиорации в сосняках и ельниках на гидроморфных почвах // Лесопользование и гидролесомелиорация. С.-Петербург-Вологда: СевНИИЛХ, 2007. Ч. 2. С.13–18.
47. **Коновалов В.Н.**, Зарубина Л.В. Физиологические особенности выборочных рубок в древостоях на осушаемых землях // Наука – северному региону. Архангельск: АГТУ, 2009.– Вып. 68. С. 123-132.
48. **Коновалов В.Н.**, Тараканов А.М., Зарубина Л.В. Влияние рубок ухода на отток ^{14}C -ассимилятов у подроста ели на осушаемых землях // Наука – северному региону. Архангельск: С(А)ФУ, 2010. Вып. 83. С. 10–15.