

На правах рукописи

Саковец Владимир Иванович



**ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ  
СЕВЕРО-ЗАПАДА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ  
(НА ПРИМЕРЕ КАРЕЛИИ)**

06.03.03. – лесоведение, лесоводство;  
лесные пожары и борьба с ними

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – 2001

Работа выполнена в Институте леса Карельского научного центра РАН.

**Официальные оппоненты:**

академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук,  
заслуженный мелiorатор РФ **В.К. Константинов**.

профессор, доктор сельскохозяйственных наук **Е.С. Мельников**.

доктор географических наук **К.И. Кобак**.

**Ведущая организация** – Комитет природных ресурсов по  
Республике Карелия.

Защита состоится 25 АПРЕЛЯ 2001 г. в 11 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.220.02 в Санкт-Петербургской государ-  
ственной лесотехнической академии по адресу: Санкт-Петербург, Ин-  
ститутский пер., 5, главное здание, зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан «24» \_\_\_\_\_ 2001 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписа-  
ми просим направлять по адресу: 194018, Санкт-Петербург, Институт-  
ский пер., 5, Государственная лесотехническая академия, Ученый Совет.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета, профессор,  
доктор сельскохозяйственных наук

О.И. Полубояринов



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Болота и заболоченные леса на Европейском Севере России (Архангельская, Вологодская области, Республики Карелия и Коми) занимают около 39% площади лесного фонда, в т. ч. в Карелии - 37% (5,4 млн. га). Тем самым, более трети площади гослесфонда республики находится вне хозяйственной деятельности. Для вовлечения этих земель в хозяйственный оборот и повышения продуктивности лесов на северо-западе России, в 1960-80-ые годы активно проводились гидролесомелиоративные работы. Объем осушения в Карелии доходил до 60 тыс. гектаров в год. В настоящее время в лесном фонде Карелии имеется более 700 тыс. га осушаемых лесов и болот.

В научных работах и средствах информации появляются высказывания о неэффективности и возможных негативных последствиях гидролесомелиорации для окружающей среды, в частности для водности рек, качества воды и повышение углеродосодержащих газов в атмосфере за счет сработки торфяной залежи. Вопрос осушения болот и заболоченных лесов стал ещё более дискуссионным в связи с угрозой глобального потепления климата. Различия оценок гидролесомелиорации, прежде всего, связано с односторонними подходами к ее изучению. В связи с вышеизложенным комплексная оценка лесоводственной, экологической и биосферной роли гидролесомелиорации является актуальной проблемой в плане оптимизации ведения лесного хозяйства на осушенных землях.

Цель и задачи исследований Основной целью является изучение лесоводственных, экологических и биосферных аспектов гидролесомелиорации в условиях Карелии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить изменение продуктивности насаждений в связи с осушением на больших площадях по результатам повторных лесоустройств в сочетании с обследованиями в натуре.

2. Проанализировать структуру древостоев в связи с увеличением давности осушения (20-60 лет) по материалам регулярных наблюдений на постоянных пробных площадях.

3. Изучить процессы естественного облесения осушенных болот в географических (среднетаежная и северотаежная подзоны Карелии) и типологических аспектах.

4. Выявить закономерности процессов роста и структурного переформирования древостоев в связи с осушением.

5. Изучить влияние гидролесомелиорации на сток, качество воды и почвенно-грунтовые условия.

6. Отработать методы экосистемного подхода к изучению циклов углерода и круговорота основных элементов питания.

7. Исследовать изменение круговорота основных питательных элементов лесных фитоценозов под влиянием осушения.

8. Выявить возможную роль гидролесомелиорации в биосферных процессах.

Научная новизна. Для естественно-географических условий Карелии выявлена лесоводственная эффективность гидролесомелиорации на больших площадях за три периода лесоустройства (30 лет после осушения) и изучен характер изменения структуры насаждений с давностью осушения 20-60 лет. Изучены процессы естественного облесения осушенных болот в географическом аспекте.

Впервые для Европейского Севера России применен оригинальный метод экосистемного подхода в изучении изменения углеродного цикла, круговорота азота, фосфора, калия, а также процессов минерализации органического вещества и эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

Изучено изменение круговорота основных элементов питания в лесоболотных биогеоценозах под влиянием гидролесомелиорации. Установлена связь емкости биологического круговорота элементов питания с условиями местопроизрастания и продуктивностью осушенных насаждений. Впервые для условий Северо-Запада России (на примере Карелии) выявлено изменение в углеродном цикле в связи с осушением лесов и разработана модель оценки биосферной роли гидролесомелиорации.

Впервые дана оценка изменения экологических условий в связи с давностью осушения лесов Карелии.

Обоснованность и достоверность результатов базируется на длительных (1984-1999гг) исследованиях, анализе обширного репрезентативного материала, обработанного современными математико-статистическими методами.

Предмет заповей. Комплексная оценка эффективности гидролесомелиорации в естественно-географических условиях Карелии: лесоводственные и экологические последствия, изменения в круговороте основных питательных элементов и углеродном цикле лесоболотных биогеоценозов под влиянием осушения.

Главные заповищаемые положения.

Лесоводственная эффективность гидролесомелиорации в естественно-географических условиях Карелии за 20-60 -летний период после осушения.

Экологические последствия гидролесомелиорации.

- Экосистемный принцип изучения изменения круговорота углерода и основных элементов питания.

- Круговорот азота, фосфора, калия в контрастных по трофности лесоболотных биогеоценозах связи с их осушением.

- Биосферная роль гидролесомелиорации в условиях Карелии.

Практическая значимость. Материалы по облесению болот в средней и южной Карелии использовались Министерством лесного хозяйства Карелии (отчет по хоздоговору с Минлесхозом № госрегистрации: 01.85.0041237) при обосновании объемов реконструкции осушительной сети и искусственного облесения болот. Результаты исследовательских работ использовались Карельским филиалом института «Союзгипролесхоз» в процессе составления «Генеральной схемы лесосушительных мероприятий» (1986, 1990) при решении вопросов исключения неперспективных для гидролесомелиорации площадей из проектов осушения. Составлены лесотаксационные таблицы для осушенных насаждений Карелии.

Лесоводственно-экологическая оценка изменения экологических условий в осушенных лесоболотных экосистемах, баланса основных питательных элементов, углеродного цикла, хозяйственной эффективности гидролесомелиорации позволяют оптимизировать ведение лесного хозяйства на заболоченных землях, прогнозировать комплексную продуктивность и разработать принципы подбора болотных и заболоченных экосистем для хозяйственного освоения.

Апробация и публикации по работе. Основные положения и практические результаты исследований представлялись и обсуждались на региональных, Российских, стран СНГ и международных совещаниях, конференциях и конгрессах.

Региональные совещания и конференции: Петрозаводск, 1986; Йошкар-Ола, 1986; Сыктывкар, 1988; Свердловск, 1989; Петрозаводск, 1996; Петрозаводск, 1999.

Всероссийские и стран СНГ конференции и совещания: Москва, 1987; Петрозаводск, 1989; Горький, 1990; Москва, 1990; С-Пб, 1992; С-Пб, 1994; Петрозаводск, 1996; С-Пб, 1997; Петрозаводск, 1999; Москва, 1999.

Международные симпозиумы, конгрессы и конференции: Ленинград, 1988; Huuutilä Forestry Station, Finland, 1992; Минск, 1994; Joensuu, Finland, 1995; Umeo, Sweden, 1996; Petrozavodsk, Karelia, Russia, 1997.

Авторские публикации насчитывают 104 работы, в т.ч. по материалам диссертации опубликовано 60 работ. Из опубликованных работ по теме диссертации: две монографии в соавторстве.

Сбор материалов для диссертации осуществлялся в процессе исследований по 4 бюджетным и 3 хоздоговорным темам плана НИР Инсти-

туда леса Карельского НЦ РАН в период с 1984 по 1999 гг.

Личный вклад автора заключается в постановке проблем, методических разработках, организации исследований, сборе материалов, анализе данных, формулировке положений, выводов, закономерностей, рекомендаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 10 глав, заключения, списка литературы, включающего 303 наименования, в т.ч. 38 на иностранных языках, 4 приложений. Работа изложена на 321 странице, иллюстрирована 22 рисунками, содержит 98 таблиц.

## 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

### 1.1. Лесоводственная эффективность гидролесомелиорации

Лесоводственная эффективность осушения представляет большой интерес для ученых и производителей. Первые сведения об улучшении роста леса на осушенных землях появились уже в конце 19-го столетия (Августинович, 1985; Жудра, 1896). В первые десятилетия двадцатого столетия исследования изменения роста и продуктивности древостоев под влиянием осушения проводились в основном в Ленинградской области на базе Лисинского и Сиверского опытных лесхозов (Эркин, 1934; Дубах, 1936, 1945; Елпатьевский, 1949). На основе этих работ М.П.Елпатьевским (1961) была составлена достаточно полная методика по изучению лесоводственной эффективности осушения, усовершенствованная В.Г. Рубцовым и А.А. Книзе (1977).

Широкомасштабное развертывание в СССР и за рубежом гидролесомелиоративных работ в 50-80-ые годы послужило толчком для расширения и углубления исследований, связанных с осушением лесных земель, в т.ч. и в Карелии (Писарьков, 1951; Писарьков, Тимофеев, 1955, 1964; Буш, 1957, 1968; Вомперский, 1957, 1964, 1968; Елпатьевский, 1957; Пьявченко, Сабо, 1962; Пятецкий, 1963; Смоляк, 1969; Корепанов, 1980; Рубцов, Книзе, 1981; Ефремов, 1987; Медведева, 1989; Чиндяев, 1995; Дружинин, 1996; Neikurainen, 1959; Huikari, 1959). Большое внимание обращалось на изучение влияния гидролесомелиорации на водный режим почв и рост лесов, разработке практических рекомендаций по параметрам осушительной сети, процессам облесения болот после осушения (Коллист, 1953; Медведева, 1961, 1978, 1989; Залитис, 1963, 1983; Пятецкий, 1963, 1968; Сабо, 1966; Елпатьевский и др., 1970; Косарев, 1975; Бабилов и др., 1978; Русецкас, 1978; Бабилов, 1980, 1983, 1997; Орлов, 1981, 1991; Пахучий, 1985, 1991; Ионян, 1986; Харитонов, 1988; Артемьев и др., 1991; Маслаков и др., 1993; Гаврилов, 1994 и др.) и ведению лесного хозяйства на осушенных землях (Константинов, 1979; Валк, Райд, 1981; Паавилайнен, 1983; Ипатьев и др., 1984; Медведева, Матюш-

кин, 1978, 1986; Константинов и др., 1996; Тараканов, 1996, 1999; Ананьев, 1996; Красильников, 1998).

Несмотря на широкий круг изучаемых проблем к началу исследований недостаточно были освещены вопросы лесоводственной эффективности гидролесомелиорации на больших площадях (лесничество, лесхоз и т.д.), изменения структуры древостоев в связи с давностью осушения, облесения болот в географическом аспекте. Все это послужило поводом расширения исследований в указанных направлениях в естественно-географических условиях Карелии.

## 1.2. Экологические аспекты гидролесомелиорации

Экологические аспекты гидролесомелиорации изучены слабо и, в основном, являются дискуссионными. Противоречивые данные имеются по изменению гидрологического режима болот и влиянию его на водность рек и озер, по загрязнению воды в реках и других водоприемниках, сработке торфяной залежи и выделению парниковых газов, особенно углеродосодержащих ( $\text{CO}_2$ ) в атмосферу. Недостаточно данных по изменению круговорота веществ. Все эти проблемы неоднократно были в поле зрения ученых и в какой-то мере отражены в литературных источниках. Ко времени исследований получен ряд данных по режиму стока с различных по величине и природным особенностям объектов лесосушения в регионах России и за рубежом (Бабинов, 1974, 1980, 1982; Чесноков, 1977; Залитис, 1983; Крестовский, 1986; Вомперский и др. 1987; Орлов, 1991; Пахучий, 1993; Бабинов, Алексеев, 1999; Ferde, Novak, 1976; Heikurainen, 1976; Лайне, 1980; Seppa, 1981), влиянию гидролесомелиорации на качество воды водоприемников (Константинов, 1979; Синькевич, 1979; Глухова, 1982, 1994; Курапцева, 1983; Ларгин, Лавров, 1986; Скоропанов, 1987; Морозова, 1989; Ferde, Novak, 1976; Heikurainen и др., 1978; Lundin, Berguist, 1990).

Изучению изменения почвенных условий в лесоболотных экосистемах под влиянием осушения также уделялось значительное внимание в разных естественно-географических условиях (Морозова, 1968, 1991; Пятецкий, Морозова, 1968; Михальцевич и др., 1975; Пятецкий, 1976; Медведева, Егорова, 1977; Стариков, 1977; Пьявченко, Корнилова, 1978; Раковский, Пигулевский, 1978; Боч, Мазинг, 1979; Нестеренко, 1979; Германова, 1981; Дрожжина, Ваксман, 1983; Ефремова, 1985; Пьявченко, 1985; Ефимов, 1986; Вомперский, 1994; Braecke, 1987; Laine et al, 1992).

Вопросы биологического круговорота азота и зольных элементов активно исследовались на минеральных почвах. Гораздо меньше данных по лесоболотным фитоценозам и, в особенности, в связи с их лесохозяй-

ственным освоением (Родин, Базилевич, 1965; Пьявченко, 1960, 1967; Глебов, Толейко, 1975; Медведева и др., 1977; Козловская и др., 1978).

В связи с возможным глобальным потеплением климата в последние годы активизировались исследования изменения углеродного баланса в компонентах естественных и осужаемых лесоболотных экосистем (Кобак, 1988; Вомперский, 1991, 1994; Макаревский, 1991; Laine et al, 1991; Вомперский, Иванов, 1993; «Углерод в экосистемах лесов и болот России», 1994; Silvola, Alm, 1992; Laine, Vasander, 1991; Cannel et al., 1993). Единства взглядов по этой проблеме достигнуто не было, что вызвало необходимость изучения изменения углеродного цикла на экосистемном уровне.

Обобщая обзор исследований лесоводственного и экологического направления, следует отметить, что работы велись разноплановые и оценки гидролесомелиорации давались в зависимости от цели исследований и во многих случаях были полярно противоположные. Не всегда учитывался географический фактор. Поэтому возникла необходимость в постановке комплексных исследований по оценке лесоводственного значения, экологических и биосферных последствий гидролесомелиорации.

## 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛОТА, ЗАБОЛОЧЕННЫЕ ЛЕСА И ИХ ОСВОЕНИЕ ДЛЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЦЕЛЕЙ

Карелия расположена на Северо-западе Европейской части России между 60°41' и 66°39' с.ш., 30° и 35° в.д. Характерной особенностью территории является сильно расчлененный рельеф, обилие озер, рек и болот.

### 2.1. Климатические условия

Климат характеризуется продолжительной, мягкой зимой, коротким прохладным летом, достаточным количеством осадков в течение всего года (до 600 мм) и слабым испарением. В соответствии с существующим естественно-географическим районированием, Карелия расположена в пределах подзон северной и средней тайги. По агроклиматическим признакам республика делится на северную, среднюю и южную агроклиматические зоны (Романов, 1961).

Гидролесомелиорация проводилась в южной и средней агроклиматических зонах. Средняя агроклиматическая зона занимает центральную часть территории Карелии и простирается между 64°30' и 63° с.ш. Южная - между 60°30' и 63° с.ш. и отличается от других зон более длинным вегетационным периодом и более мягким климатом.

Особенности геоморфологического строения и климата обусловили широкое распространение в республике заболоченных лесов и болот.

## 2.2. Болота, заболоченные леса и их освоение

Общая площадь заболоченных земель в лесфонде Республики Карелия составляет 5,4 млн. га или 37% площади лесфонда. Лесная площадь занимает 33,6%, нелесная – 66,4%. По агроклиматическим зонам республики площадь заболоченных земель почти одинакова. Степень заболоченности лесного фонда в южной зоне составляет 31%, средней – 41% и северной – 40%.

Характерная особенность заболоченных лесов – низкая продуктивность (V-V<sup>a</sup> бонитет) и преобладание спелых и перестойных древостоев, доля которых доходила до 84%. Заболоченные леса произрастают на самых разнообразных по плодородию почвах, что предопределило их распределение по типам леса. Наибольшее распространение имеют сфагновая (44%) и травяно-сфагновая (42%) группы типов леса. Среди болот встречаются верховые, переходные и низинные, а также болота всех промежуточных стадий развития с различной степенью облесения.

Осушенная площадь в лесах гослесфонда по данным инвентаризации 1986 и 1990 гг. составила 736,6 тыс. га. Осушение осуществлялось согласно «Техническим указаниям...» (1962, 1971), с расстоянием между каналами 100 -200 м. Гидролесомелиоративные работы проводились в южной и средней агроклиматических зонах. В осушаемом фонде на долю лесной площади приходилось – 45,2%, нелесной – 46,6% и на каналы и проезды – 8,2%. В 80-е годы из осушенных площадей для природоохранных и других целей исключено 85,5 тыс. га. Это в основном болота и заболоченные леса, предназначенные для сельскохозяйственного освоения, ягодники, площади с лекарственными растениями и др. Для лесохозяйственного использования осталось 651,1 тыс. га, где лесная площадь занимает 324,2 (49,8%), нелесная – 273,5(42%) и каналы и проезды – 53,4 тыс. га (8,2%). Из этой площади реконструировано 97,2 тыс. га.

Хвойными древостоями занято 97% осушенной покрытой лесом площади. Среди хвойных господствуют спелые и перестойные древостои с преобладанием сосны – 68%, молодянки занимают 10% покрытой лесом площади, а средневозрастные – 22%.

Необходимо отметить, что при проведении инвентаризационных работ, составлении Генеральных схем осушения, не был произведен должный анализ трансформации болотных и лесоболотных экосистем в результате осушения: не проанализированы процессы облесения болот, структурного переформирования насаждений, не определена эффективность осушения земель для целей лесного хозяйства. Лесоводственная эффективность определялась только при научных исследованиях на отдельных участках – пробных площадях, и недостаточно полно отражала

ситуацию на всей осушенной территории. Это предопределило необходимость более широких исследований проблемы.

### 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1. Исследования лесохозяйственного значения гидролесомелиорации

Исследования лесохозяйственного значения гидролесомелиорации включали: изучение особенностей влияния её на изменение продуктивности и структуры древостоев, на процессы облесения болот и формирования на них лесных экосистем.

Изучение особенностей трансформации древостоев после осушения (изменение густоты, породного состава, возрастной структуры и прироста) проводилось путем повторного обследования постоянных опытных объектов с давностью осушения 15-60 лет, расположенных в южной Карелии (среднетаежная подзона), по общепринятым методам таксации, и анализа модельных деревьев. Исследованные насаждения представлены главным образом сосняками травяно-сфагновой и сфагновой групп типов леса, наиболее распространенными в Карелии, на долю которых приходится 84% от заболоченных лесов. Повторные учеты и анализ таксационных показателей древостоев проведен на 26 постоянных пробных площадях, заложенных в этих группах типов леса.

Лесоводственная эффективность лесосушения изучалась на основе материалов лесоустройства по методике, описанной нами ранее (Саковец, Эрте, 1986). На территории южной Карелии были проведен анализ лесоводственной эффективности осушения по материалам трех периодов лесоустройства на трех объектах: Киндасовское лесничество Пряжинского лесхоза (Киндасово), Заозерское лесничество Петрозаводского лесхоза (Заозерье), Юркостровское лесничество Кондопожского лесхоза (Юркостров). Общая площадь объектов - 12970 га. В пределах осушенных массивов заложены постоянные пробные площадки и проведены маршрутные обследования осушенных земель с определением таксационных показателей древостоев и дополнительного прироста по модельным деревьям. Давность осушения составила на 1992-1994 гг. по объекту Заозерье в среднем 24 года, Киндасово - 22 года, Юркострову - 19 лет.

Исследования процессов облесения болот проводились в три этапа. На первом этапе по проектам осушения, материалам лесоустройства и аэрофотоснимкам выявлялись осушенные болота. На втором - инвентаризационные обследования - уточнялись данные дешифрирования, отбирались почвенные образцы. На ботанический состав торфа взято 308 образцов в средней и более 600 в южной Карелии. На основе материалов инвентаризационных обследований выделялись ключевые участки в

преобладающих типах болот в средней и южной Карелии (23 участка), где закладывались постоянные пробные площади и маршрутные ходы, на которых изучались лесообразовательные процессы и ход роста древостоев. С целью изучения хода роста отобрано более 500 модельных деревьев.

### 3.2. Исследование экологических аспектов гидролесомелиорации

Исследования экологических аспектов гидролесомелиорации проводились в южной Карелии (61° 50' с.ш., 33° 30' в.д.) на стационаре «Киндасово». Для комплексного изучения изменения химического состава почвенно-грунтовых и дренажных вод, почвенных условий, углеродного цикла, круговорота зольных элементов под влиянием осушения были выбраны наиболее распространенные и контрастные по трофности типы осушенных лесов в Карелии – сосняк травяно-сфагновый, произрастающий на мезоевтрофной и сосняк кустарничково-сфагновый – на олиготрофной торфяных залежах и аналогичные неосушенные участки. Осушение проведено в 1972 году. Расстояние между каналами в сосняке травяно-сфагновом 125 м, а в кустарничково-сфагновом – 35 м.

Изменение стока спустя 20 лет после осушения определялось путем расчетов водного баланса, учитывающего изменения транспирации древостоев ( $\Delta E_{\text{тр}}$ ), испарения задержанных кронами деревьев осадков ( $\Delta E_{\text{ос}}$ ) и испарения живого напочвенного покрова ( $\Delta E_{\text{н.п.}}$ ). Расчет составляющих суммарного испарения производился по формулам О.И. Крестовского (1986а), с учетом некоторых корректировок. Изменение стока ( $\Delta U$ ) принималось равным изменению общего испарения (Карпечко, Саковец, 1997) и рассчитывалось по формуле:

$$\Delta U = -(\Delta E_{\text{тр}} + \Delta E_{\text{ос}} + \Delta E_{\text{н.п.}}) \quad (1)$$

Химический состав (С, N, P, K, Fe), цветность и кислотность вод определялись в Аналитической лаборатории Института леса КарНЦ РАН. Отбор воды производился в 13 точках; в скважинах, в осушенных и неосушенных сосняках кустарничково- и травяно-сфагновых, в естественных водотоках, магистральных и собирательных каналах.

Исследования почвенных условий включали в себя изучение изменений содержания углерода, основных элементов питания (NPK) и суммы зольных элементов в торфе, процессов его минерализации и сработки в результате гидролесомелиорации. Химические анализы почвы, растительных остатков до и после их разложения (всего 500 образцов) выполнены также в Аналитической лаборатории Института леса КарНЦ.

Для выявления величины сработки торфа определялась его осадка и весовая разность торфяной залежи до осушения и спустя 20 лет после осушения. Для этого измерялись мощность торфяной залежи и объемная

масса торфа. Мощность торфа до осушения определялась по данным кивелировки при составлении опытного проекта осушения, в годы проведения исследований (1991-1995) путем зондирования в 30-40 точках на осушенном участке — по створу межканального пространства. Объемная масса торфяного слоя определялась весовым методом в нескольких точках в 10-20 и 60 м от канала и на контрольных неосушенных пробных площадях путем послойного (через 10 см) отбора образцов торфа и измерения их объема в полевых условиях с последующей сушкой до абсолютно сухого веса. Отобрано 1350 образцов. Масса опада древесного яруса определялась с помощью спандуловителей. За количество опада живого напочвенного покрова условно принималась величина его ежегодного прироста. Запасы лесной подстилки и сфагнового очеса определялись весовым методом на площадках размером 0,5x0,5 м в количестве от 20 до 50 на каждой пробной площадке.

Определение общей органической массы древостоев и слагающих её компонентов проводилось по методике Института леса и древесины СО АН СССР (Поздняков, 1967; Поздняков и др., 1969; Уткин, 1975).

Изучение динамики органического вещества и круговорота азота, фосфора и калия в осушенных и неосушенных лесоболотных биогеоценозах осуществлялось с использованием методических указаний по изучению биологического круговорота веществ Л.Е. Родина с соавторами (1968) и А.А. Титляновой (1971).

При изучении изменения углеродного цикла, впервые нами применен экосистемный подход, который более точно, по нашему мнению, мог бы выявить роль гидролесомелиорации в биосферных процессах. Запасы углерода изучались во всех компонентах осушенных и неосушенных лесоболотных биогеоценозов (фитомасса растительности, торфяная залежь, почвенно-грунтовая вода, почвенный воздух). Исследовались процессы минерализации, вымывания и эмиссии углерода (рис. 1), а также изменение содержания основных элементов питания (NPK) по той же схеме.

#### 4. ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕСООСУШЕНИЯ В КАРЕЛИИ (по материалам лесоустройства)

Исследования лесоводственной эффективности осушения по материалам трёх периодов лесоустройства осуществлялось на территории трех лесничеств, расположенных в южной Карелии: Киндасовского (Пряжинский лесхоз), Заозерского (Петрозаводский лесхоз) и Юркостровского (Кондопожский лесхоз).

На всех трех объектах, наряду с лесопокрытой площадью, в осушение вовлечены значительные площади болот. Особенно выделяется в этом

плане объект Юркостров, где болот было осушено в 3,5 раза больше, чем лесной площади. В Киндасово соотношение лесной и нелесной площади примерно 1:1, в Заозерье – 1:0,5.

Анализ материалов различных периодов лесоустройства показал, что гидролесомелиорация без каких-либо других лесохозяйственных воздействий способствует увеличению лесной площади. Покрытая лесом площадь на исследованных объектах осушения в условиях среднетаежной подзоны Карелии через 19-24 года увеличилась на 25-46%, в связи с естественным облесением болот, которое происходило в основном с преобладанием сосны. Доля сосняков в покрытой лесом площади выросла с 60 до 75%.

В распределении осушенных площадей по группам возраста под влиянием осушения также произошли существенные изменения: значительно возросла площадь молодняков и средневозрастных насаждений. На объекте Заозерье площадь молодняков увеличилась в первые 11-12 лет с 3 до 214 га, Киндасово - с 344 до 2284 га, на объекте - Юркостров с 46 до 944 га. Выявлены закономерности переформирования насаждений после осушения, в зависимости от их строения и происхождения. При наличии на участке до осушения подроста и редкостойной сосны и пополнения последующим возобновлением во втором десятилетии после осушения формируются, как правило, насаждения с преобладанием средневозрастного поколения. При осушении разновозрастных древостоев происходит их омоложение за счет более интенсивного роста молодых поколений и их меньшего отпада в сравнении с высоковозрастными деревьями. Нередко спелые древостои через 20-30 лет переводятся в категорию приспевающих, а иногда и средневозрастных. При формировании насаждений, возникших из естественного возобновления после осушения безлесных болот, образуются молодняки.

Материалы лесоустройства подтверждают результаты исследований лесоводственной эффективности осушения на пробных площадях и свидетельствуют об увеличении полноты, класса бонитета, среднего прироста осушенных лесов.

Под влиянием осушения за 19-24 года общий класс бонитета повысился в Заозерье с V,4 до IV,9, а в Киндасово с V,3 до IV,1. Наименьшее увеличение класса бонитета насаждений наблюдается на объекте Юркостров (V,1 до IV,7), что вполне объяснимо, т.к. он включает большое количество площадей с бедными торфяно-болотными почвами. Анализ изменения полноты насаждений за 19-24 года показал, что на объекте Киндасово средняя полнота увеличилась от 0,54 до 0,65, в Заозерье - от 0,53 до 0,60, а в Юркострове - от 0,49 до 0,60.

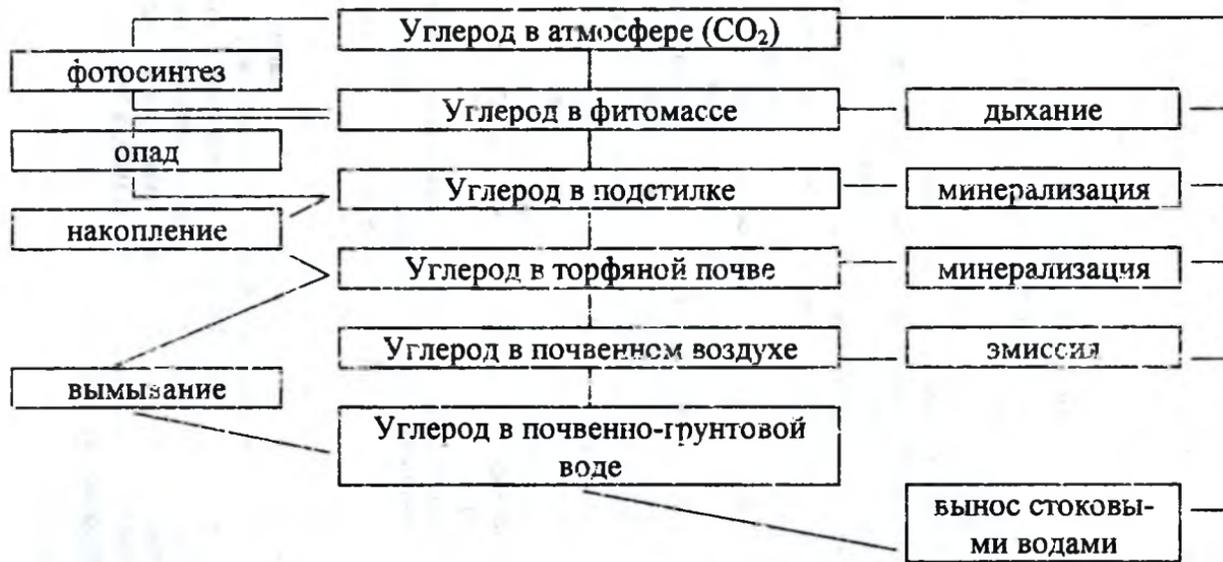


Рис. 1. Схема исследования изменения баланса углерода в лесоболотных биогеоценозах под влиянием гидролесомелиорации

Наиболее полное представление о лесоводственной эффективности гидролесомелиорации дает величина текущего прироста древостоев по запасу после осушения и дополнительный прирост, получаемый за счет осушения. Средние запасы насаждений на объектах осушения в первые 10 лет после гидромелиорации снижаются. Это происходит в результате облесения болот и перевода их в покрытую лесом площадь с низким запасом. Однако в последующие 10-15 лет средние запасы насаждений увеличиваются, по сравнению с запасами до осушения, в хвойных на 18-22%, в лиственных на 5-30%, а в среднем по всем насаждениям на 13-16%.

Дополнительный прирост на объекте Заозерье в первые 11 лет составил в среднем 1,7, а во второе десятилетие 3,1 м<sup>3</sup> /га в год. На объекте Киндасово в первые 12 лет дополнительный прирост равнялся 0,66, а в следующие 12 лет 3,1 м<sup>3</sup> /га в год, на объекте Юркостров спустя 19 лет после осушения - 1,8 м<sup>3</sup> /га в год.

Следует отметить, что эффективность гидролесомелиорации зависит от богатства условий местопроизрастания древостоев. При преобладании на объектах осушения переходных и низинных торфяников (насаждений травяно-сфагновой группы типов леса) гидролесомелиорация является наиболее перспективным средством повышения продуктивности лесов. Однако для сохранения достигнутого эффекта необходимо проведение дополнительных лесохозяйственных мероприятий по улучшению возрастной структуры, породного состава насаждений и своевременного ухода за осушительной сетью.

#### 5. ИЗМЕНЕНИЕ ГУСТОТЫ, ПОРОДНОГО СОСТАВА, ВОЗРАСТНОГО СТРОЕНИЯ И ПРИРОСТА НАСАЖДЕНИЙ НА ОСУШЕННЫХ ПОЧВАХ

С целью изучения особенностей формирования насаждений после осушения нами повторно обследованы опытные участки, заложенные ранее в сосняках травяно-сфагновой и сфагновой групп типов леса, с давностью осушения 15-60 лет, расположенные в среднетаежной подзоне Карелии.

Изменения в насаждениях под влиянием осушения происходят по-разному в зависимости от исходного типа леса, полноты, породного состава и возрастного строения древостоев. Для сосняков травяно-сфагновых в первые 20 лет после осушения характерно снижение густоты и участия сосны в составе и наоборот увеличение численности и участия в составе березы. Под пологом деревьев появляется ель. В период 40-50 лет после осушения процесс естественного изреживания сосны продолжается, количество березы растет. При осушении старых (более

100 лет) древостоев количество березы снижается. В молодняках имеются случаи смены хвойных пород лиственными.

Для сосняков кустарничково-сфагновых, имеющих в основном низкую полноту и явно выраженную разновозрастность, характерно увеличение численности стволов сосны в первые 20 лет после осушения, в особенности на верхово-переходных торфяниках, на 40-160% за счет перехода в пересчетную часть подроста сосны. Вариабельность деревьев сосны по диаметру возрастает. На верховых торфяных почвах появляется береза и в небольшом количестве ель, но доля участия их в составе древостоев незначительна. В последующие 20-25 лет после осушения в насаждениях начинается процесс естественного изреживания сосны, численность ее стволов снижается, общая густота древостоев также падает, хотя березы и становится несколько больше.

Значительные изменения происходят под влиянием осушения в количестве и породном составе подроста древесных пород. В сосняках травяно-сфагновых количество подроста сосны, возникшего до осушения, уменьшается, а количество всходов и подроста последующего возобновления сначала растет, но через 8-10 лет резко снижается. В сосняках кустарничково-сфагновых также происходит уменьшение количества подроста сосны, возникшего до осушения, однако численность всходов и подроста сосны появившегося после осушения в первые 20 лет растет. Сопоставление густоты подроста и деревьев пересчетной части древостоев показывает, что в сосняках травяно-сфагновых возникший до осушения подрост в основном погибает из-за возрастания сомкнутости древесного полога, а в сосняках кустарничково-сфагновых является источником пополнения густоты низкополнотных древостоев. Под влиянием осушения увеличивается абсолютная и относительная полнота насаждений. Этот процесс особенно интенсивен в первые 20 лет после осушения.

Как в сосняках травяно-сфагновых, так и кустарничково-сфагновых в разновозрастных насаждениях прирост более молодых деревьев по высоте и диаметру выше, чем деревьев старшего поколения. Деревья более молодого поколения продуцируют на  $1 \text{ м}^2$  площади сечения больший дополнительный прирост древесины. Так, в сосняках травяно-сфагновых на  $1 \text{ м}^2$  площади сечения 90-летних деревьев приходится в среднем  $0,136 \text{ м}^3$ , а 177-летних - лишь  $0,088 \text{ м}^3$  дополнительного прироста в год за 50-летний период осушения. В сосняках кустарничково-сфагновых 30-летние деревья давали на  $1 \text{ м}^2$  площади сечения  $0,122 \text{ м}^3$ , 65-летние -  $0,097 \text{ м}^3$  дополнительного прироста в год за 60-летний период осушения, а 110-летние не дали дополнительного прироста.

За 60-летний период после осушения происходит выравнивание вы-

сот различных поколений, древесный полог приобретает горизонтальную сомкнутость, характерную для одновозрастных древостоев. Благодаря лучшей реакции на осушение более молодого поколения при значительном участии его в древостое в разновозрастных сосняках происходит смена преобладающего по запасу поколения. Наблюдается своеобразное естественное омолаживание древостоев. Это характерно для низкополотных насаждений с большим количеством соснового подроста.

Среднепериодический прирост по запасу по десятилетиям после осушения на опытных участках в зависимости от возраста и полноты насаждений колеблется в сосняках травяно-сфагновых от 2,6 до 7,7 м<sup>3</sup>/га, а в сосняках кустарничково-сфагновых от 0,5 до 5,5 м<sup>3</sup>/га на 1 га в год. Значительную часть прироста древесины (10-50%) в сосняках травяно-сфагновых образует береза, что обесценивает результативность проведенных гидромелиоративных мероприятий в этих условиях. Это свидетельствует также о необходимости дополнительных лесохозяйственных мероприятий по реконструкции породного и возрастного состава насаждений.

Дополнительный прирост древесины за 60-летний период осушения в модальных сосняках травяно-сфагновых с полнотой 0,9 составляет в среднем 1,5-3,8 м<sup>3</sup>/га на 1 га в год, а в сосняках кустарничково-сфагновых с полнотой 0,6 лишь 1,2-2,2 м<sup>3</sup>/га в год. Наименьший прирост дают древостои, осушенные в возрасте 120-130 лет, наибольший - 10-20-летние. Максимум дополнительного прироста приходится на третье-четвертое десятилетие после осушения.

Обобщая результаты исследований необходимо отметить, что естественное переформирование насаждений в связи с осушением зависит от трофности почв и первоначальной структуры древостоев. В богатых условиях произрастания в составе древостоев уменьшается доля сосны и увеличивается березы пушистой, что снижает эффективность гидросомелиорации и свидетельствует о необходимости своевременного ухода за составом. В бедных условиях произрастания смены пород не происходит, однако дополнительный прирост от осушения значительно ниже по сравнению с богатыми условиями. В результате осушения разновозрастных древостоев происходит их омоложение и выравнивание древесного полога по высоте за счет более интенсивного роста молодых поколений.

## Глава 6. ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ОСУШЕННЫХ БОЛОТАХ КАРЕЛИИ

Эффективность осушительной мелиорации в лесном хозяйстве складывается из повышения прироста древостоев и увеличения лесной площади. Последнее обусловлено переходом болотных биоценозов в лесные



за счет естественного или искусственного облесения осушенных болот. Гидролесомелиорация, улучшая условия произрастания, создает предпосылки для естественного облесения.

### 6.1. Естественное облесение болот

От общей площади осушенных болот (272 тыс. га) под естественное зарастание в Карелии запланировано 54%. Для выявления характера естественного облесения болот в зонально-географическом аспекте нами были проведены специальные исследования и проанализированы материалы лесоустройства. Сопоставление данных о естественном лесовозобновлении в средней и южной агроклиматических зонах показывает, что в южной Карелии этот процесс протекает в 1,5-2,5 раза интенсивнее. В пределах одной и той же зоны активнее облесаются более трофные типы. В бедных почвенных условиях (кустарничково-сфагновые болота с верховой залежью), болота после осушения по-прежнему остаются болотами, на которых произрастает редкая низкорослая сосна. В то же время болота с верхово-переходной залежью в условиях южной Карелии после осушения успешно облесаются сосной.

На бедных переходных болотах осоково-сфагнового типа, где до осушения имелся подрост, успешно и в более короткий срок формируются смешанные насаждения с преобладанием сосны.

На осоково-сфагновых болотах с потенциально богатыми почвами предварительное возобновление с преобладанием хвойных, главным образом сосны, присутствует на расстоянии до 50 м от стен леса. По мере удаления от суходолов в составе древесной растительности возрастает доля березы и уменьшается доля сосны. При значительном расстоянии до стен леса эти болота заселяются березой пушистой.

Травяно-сфагновые болота, выявленные только в южной части республики, считаются наиболее перспективными для осушения (Пятецкий, 1963), так как обладают высоким плодородием почв. В то же время наши исследования показали, что они в основном облесаются березой пушистой, имеющей низкую хозяйственную ценность.

На осушенных аапа болотах возобновление идет за счет появления березы пушистой, однако, облесения их не происходит из-за высокой обводненности, независимо от степени их осушения. Гидролесомелиорация не создает предпосылок для естественного облесения аапа болот, т.к. не обеспечивается из-за выклинивания грунтовых вод необходимая норма осушения в сформировавшихся аапа комплексах.

## 6.2. Ход роста молодняков, формирующихся на осушенных болотах

Формирование молодняков обусловлено не только возобновлением древесных пород, но и ходом их роста. Анализ модельных деревьев позволил установить ход роста в высоту в зависимости от условий местопроизрастания, возраста и в зональном аспекте. Сравнение среднего периодического прироста в высоту по пятилетиям сосны, произрастающей на переходных болотах, показывает, что в южной агроклиматической зоне он значительно выше, чем в средней (рис. 2) и реакция на осушение проявляется в этих условиях в первые 5 лет.

На бедных почвах кустарничково-сфагновых болот прирост в высоту был очень низким и в течение первых десяти лет особых различий в зонально-географическом плане не выявлено. Они начинают проявляться только с третьего пятилетия (см. рис. 2).

Реакция древесных пород на осушение при различной его интенсивности (в приканальной полосе и на середине межканального пространства) имеет значительное различие. Благоприятные гидрологические условия в интенсивно осушенной 30-метровой приканальной полосе обуславливают более быстрый рост деревьев и формирование в первые 10 лет лесного биогеоценоза в сосняках травяно-сфагновых. В сосняках, произрастающих на бедных верховых торфяниках в южной Карелии даже при густой мелiorативной сети (30-40 м) интенсивность роста сосны недостаточна для формирования за 15-летний период сомкнутого насаждения.

Таким образом, низкое потенциальное плодородие бедных верховых болот независимо от степени их осушения и географического положения не способствует интенсивному росту имеющегося подроста и образованию лесной среды после осушения. Наиболее подходящими для естественного лесозаращивания являются верховые болота с верхово-переходной залежью и бедные переходные, при наличии близко расположенных источников обсеменения, так как на них формируются сосновые древостой.

Богатые переходные и низинные болота часто облесяются с преобладанием березы пушистой, поэтому для формирования хозяйственно ценных насаждений целесообразны уход за составом, реконструкция древостоев лесокультурными методами.

Исследования показали, что в Южной Карелии бесперспективно осушать бедные верховые болота, а в средней – все типы болот.

## I – Осоково-сфагновые осушенные болота.



## II – Кустарничково-сфагновые болота.



Рис. 2. Средний периодический прирост сосны в высоту по пятилетиям в различных типах болот в Южной (А) и Средней (В) Карелии (-1 - 5 лет до осушения; 1,2,... - пятилетия после осушения).

### 7. ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЛЕСОБОЛОТНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

Под влиянием гидролесомелиорации понижается уровень почвенно-грунтовых вод, улучшается водно-воздушный режим почв, повышается аэрация корнеобитаемого слоя, что приводит к усилению микробиологических процессов, повышению степени разложения торфа, улучшению условий минерального питания и роста леса, смене растительного покрова и повышению продуктивности насаждений. Повышение продуктивности лесов, в свою очередь, способствует увеличению транспирации растений, перераспределению водного баланса, изменению режима стока.

### 7.1. Уровень почвенно-грунтовых вод и температура почвы в связи с осушением

Наблюдения за изменением уровня почвенно-грунтовых вод (ПГВ) и температурой почвы через 20 лет после осушения показали что, уровень ПГВ в сосняке кустарничково-сфагновом на верховом осушенном болоте (17 м от канала) за 4 года наблюдений в течение всего вегетационного периода был в среднем на 20 см ниже, чем на неосушенном, и колебался в период вегетации на неосушенном болоте от 1 до 32 см, а на осушенном от 21 до 59 см. В сосняке травяно-сфагновом на осушенной переходной залежи в 30 м от канала уровень ПГВ находился ниже, чем на неосушенной в среднем за 4 года на 34 см. Колебание уровня ПГВ в течение вегетационного периода на неосушенном участке составляли от +2 до - 12 см, а на осушенном от - 3 до - 77 см.

Осушение изменяет не только водный режим, но и тепловые свойства почв. Почвы становятся более холодными как в начальный период (до 5 лет) после осушения (Пятецкий, 1971; Чесноков, 1977), так и в дальнейшем. Наши наблюдения на объектах с 20-летней давностью осушения подтверждают снижение температуры почвы верхнего 20-сантиметрового слоя на 1-2 градуса.

### 7.2. Влияние гидролесомелиорации на сток с осушаемых территорий

Исследования, проведенные в Карелии, показали, что величина стока в течение первых трех лет после прокладки осушительной сети превышала сток с неосушенных водосборов на 29-79% (Чесноков, 1977). Наряду с экспериментальными данными, полученными ранее с использованием водосливов, была сделана оценка годового и сезонного стока спустя 20-30 лет после лесосушения на основе изменения продуктивности мелиорируемых лесов Карелии (Карпечко, Саковец, 1997). Эта оценка основывается на расчетах водного баланса, учитывающих возрастание продуктивности осушаемых лесов. Наибольшее снижение объема стока характерно для высокопродуктивных насаждений травяно-сфагновых типов леса, хорошо реагирующих на осушение. По нашим данным среднее уменьшение стока под влиянием осушения заболоченных лесов Карелии составляет 42 мм, а болот - 23 мм в год.

Анализ литературных и наших данных позволили установить, что происходит увеличение стока с территории в первые 10-15 лет после их осушения и снижение его в последующие годы в связи с облесением болот и повышением продуктивности осушенных лесов. Наши расчеты показали, что через 20-30 лет после проведения гидролесомелиорации в Карелии сток с осушенных территорий приближается к исходному до осушения.

### 7.3. Воздействие гидролесомелиорации на качество воды

Полученные за 4 года наблюдений (1991-1994 г.г.) на опытных объектах данные гидрохимического анализа показали, что гидролесомелиорация влияет на качество ПГВ и дренажных вод. Под влиянием 20-летнего осушения происходят изменения в химическом составе ПГВ, особенно значительные в сосняке травяно-сфагновом на переходном болоте. Возрастает цветность воды, содержание в ней органического углерода, общего и аммонийного азота, фосфора и калия. Так, концентрация органического углерода в ПГВ сосняка травяно-сфагнового осушенного повысилась в среднем за 4 года до  $65,7 \pm 2,46$  мг/л (в 2,4 раза), тогда как в воде сосняка кустарничково-сфагнового всего лишь в 1,25 раза, по сравнению с неосушенным лесным болотом. Концентрация общего азота в ПГВ на осушенном переходном болоте повысилась на 121% (до  $3,67 \pm 0,27$  мг/л), а на верховом, на 41,6% (до  $2,28 \pm 0,22$  мг/л). Особенно возросло в связи с осушением содержание аммонийного азота – в 2,8 раза на переходном и на 32% на верховом болоте. В изменении содержания углерода в ПГВ в течение сезона наблюдается тенденция к возрастанию его концентрации в осенний период.

Для установления характера связей концентрации основных питательных элементов (N, P, K) и углерода с колебанием уровня почвенно-грунтовых вод и температуры почвы нами была составлена матрица коэффициентов корреляции между ними. Тесных связей при этом не выявлено, однако просматривается тенденция к увеличению концентрации углерода, фосфора и калия и уменьшению азота при повышении уровня ПГВ. В дренажных водах содержание органического углерода, азота, фосфора и калия, как правило, значительно ниже, чем в ПГВ как на осушенных, так и неосушенных болотах. Исключение составляет железо, содержание которого в дренажных водах больше, чем в ПГВ, что можно объяснить увеличением его миграции в связи с осушением. Концентрация углерода в стоковых водах с переходного болота была ниже, чем в ПГВ в 1,3-2,2 раза, а с верхового в 1,3 раза. Это связано с разбавлением стоковых вод выпадающими осадками и, возможно, поглощением элементов при передвижении воды в почве. Со стоковыми водами выносятся дополнительно за счет осушения 56,0 кг/га органического углерода и 1,78 кг/га азота в год с верхового болота и соответственно 63,2 и 2,39 кг/га - с переходного. Вынос фосфора и калия определяется десятками долями кг/га в год.

#### 7.4. Изменение торфяных почв под влиянием осушения

Из водно-физических свойств лесных торфяных почв нами изучались осадка торфа, объемная масса и влажность. Порозность и водопроницаемость определялись по формуле И.М.Нестеренко (1979). Установлено, что под влиянием осушения происходит осадка торфяной залежи, объемная масса торфа возрастает с увеличением интенсивности и давности осушения. Одновременно уменьшается порозность, влажность и полная влагоемкость торфов.

Исследования изменения агрохимических свойств почв показало, что более глубокие изменения в торфе происходят с увеличением давности осушения и связаны они с уплотнением верхних горизонтов торфа, образованием лесной подстилки и ускорением минерализационных процессов. Лесная подстилка значительно отличается от сфагнового охеса большими запасами в ней основных питательных элементов. Гидролесомелиорация способствует увеличению плодородия как верховых, так переходных почв, особенно верхних горизонтов (0-20 см). Существенные изменения происходят на торфяниках с более высокой трофностью почв (табл. 1).

Запасы основных элементов питания в почве осушенного сосняка травяно-сфагнового, произрастающего на переходно-низинной торфяной почве, значительно выше по сравнению с кустарничково-сфагновым на верховой торфяной почве - сумма зольных элементов в слое 0-50 см в 6 раз, азота в 4 раза.

Гидролесомелиорация оказывает большое влияние на минерализационные процессы торфяной почвы и растений-торфообразователей. Выявлено, что в первые годы при интенсивном осушении уменьшается масса органического вещества торфа, что обусловлено усилением минерализационных процессов и выносом органического вещества торфа дренажными водами. Запасы торфа на интенсивно осушенном участке (35 м между каналами) сосняка кустарничково-сфагнового снизились спустя 20 лет после осушения на 98 т/га. В сосняке травяно-сфагновом в 30 м от канала - на 36 т/га, а в 60 м - на 5 т/га (рис. 3). В бедных условиях отмечены более высокие потери торфа, которые обусловлены меньшей компенсацией органического вещества за счет детритной фитомассы в течение 20-летнего периода после осушения. Процессы прихода и расхода органического вещества в настоящий момент (спустя 20 лет после осушения) сбалансированы, текущие потери торфа не выявлены. Масса монолитов торфа, заложенных в глубь залежи, за годы исследований не изменилась.

Установлено, что вследствие осушения качество минерализующегося субстрата (опада) в бедных условиях (верховые торфяные почвы) улучшается, а в богатых (переходные) ухудшается с точки зрения доступно

Таблица 1.

Изменение запасов основных элементов питания в почвах под сосняками, произрастающими на бедных верховых и переходно-низинных почвах, под влиянием гидролесомелиорации, ц/га

Глубина залежи, см	Неосушенная почва				Осушенная почва			
	Σ зольных элементов	N	P	K	Σ зольных элементов	N	P	K
Сосняк кустарничково-сфагновый на верховом торфе								
Подстилка (сфагновый очес)	1,91	0,77	0,05	0,19	1,90	0,9	0,06	0,18
0-10	9,50	3,6	0,22	0,44	9,68	3,8	0,23	0,26
10-20	9,13	4,0	0,18	0,23	12,61	6,8	0,24	0,14
Σ 0-20	20,54	8,4	0,45	0,86	24,19	11,5	0,53	0,58
20-30	10,42	3,6	0,15	0,43	15,72	6,0	0,29	0,41
30-40	9,27	4,8	0,15	0,19	12,67	8,2	0,29	0,17
40-50	10,51	6,1	0,20	0,20	9,50	6,6	0,19	0,07
Σ 0-50	50,74	22,9	0,95	1,68	62,09	32,3	1,30	1,23
Сосняк травяно-сфагновый на низинно-переходном торфе								
Подстилка (сфагновый очес)	6,53	0,98	0,06	0,24	16,9	5,08	0,26	0,18
0-10	68,9	13,25	0,79	0,88	164,0	33,50	1,43	0,50
10-20	60,3	15,58	0,76	0,62	80,3	36,06	1,12	0,20
Σ 0-20	135,7	29,81	1,61	1,74	261,2	74,64	2,81	0,88
20-30	47,5	19,66	0,67	0,26	59,9	28,06	1,05	0,12
30-40	45,5	23,72	0,82	0,21	48,0	22,24	0,71	0,10
40-50	46,5	24,23	0,84	0,22	35,2	16,82	0,50	0,10
Σ 0-50	275,2	97,42	3,94	2,43	404,3	141,76	5,07	1,20

сти его микроорганизмам и интенсивности деструкции. В первом случае значительно уменьшается доля трудноразлагаемых, малозольных сфагновых мхов и увеличивается доля более интенсивно разлагаемого опада древесных растений и кустарничков, во втором случае значительно уменьшается доля легкоразлагаемого высокозольного травянистого и увеличивается доля менее разлагаемого относительно низкозольного древесного опада.

Вместе с тем, оказалось, что интенсивность минерализации свежего опада как в осушенных лесоболотных биогеоценозах (спустя 20 лет после осушения), так и неосушенных близка (табл. 2). В травяно-сфагновом типе около 32%, а в кустарничково-сфагновом неосушенном - 24%, осушенном - 27%.

Следует отметить, что интенсивность высвобождения основных элементов питания (НРК) из свежего опада в бедных условиях местопроизрастания сосняков кустарничково-сфагновых в связи с осушением изменилась незначительно. В то же время в осушенных древостоях в пополнении почвы элементами питания огромную роль играет образующаяся лесная подстилка. Она значительно в большей степени пополняет основными питательными элементами почву в сравнении со свежим опадом и очесом неосушенных биогеоценозов. Из подстилки сосняка травяно-сфагнового осушенного высвобождается азота почти в 10 раз, а зольных элементов в 3 раза больше, чем из очеса неосушенного сосняка того же типа. В неосушенных насаждениях живой напочвенный покров является основным источником пополнения элементами питания почвенного блока, а в осушенных - древесный ярус.

Несмотря на потери торфа в начальный период мелиорации, изменения, произошедшие в лесоболотных биогеоценозах в результате осушения как на верховых, так и переходных торфяных почвах, можно оценить как положительные, способствующие повышению их естественного плодородия.

## 8. ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

Улучшение водно-воздушного режима и лесорастительных свойств почвы при гидролесомелиорации вызывает значительные изменения в фитоценологическом аспекте.

### 8.1. Влияние осушения на биоразнообразие сосновых фитоценозов

В результате осушения происходит трансформация во всех ярусах растительности. Формируются новые лесные фитоценозы, занимающие промежуточную стадию между заболоченными неосушенными и произрастающими на минеральных почвах лесами. Наиболее существенные изменения в видовом разнообразии происходят в фитоценозах на более

богатых почвах. В более богатых условиях произрастания сосняков травяно-сфагновых в результате осушения возрастает участие березы и появляется ель. Увеличивается разнообразие подлесочных пород за счет внедрения видов, характерных для минеральных почв, таких как *Rosa acicularis*, *Alnus incana* и др. Особенно активно реагирует на изменение условий в результате осушения напочвенный покров. Из состава кустарничково-травяного яруса исчезают виды олиготрофных болот, большинство гидрофильных и гидрофильных видов мезо- и евтрофных болот. Внедряются виды характерные для минеральных почв, такие как *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium myrtillus* и др. В моховом покрове исчезают мхи олиготрофных болот, усиливается влияние лесных видов *Polytrichum commune*, *Rhizidiadelphus squarrosus* и др.

В бедных условиях произрастания сосняков кустарничково-сфагновых видовое разнообразие в результате их осушения изменяется в меньшей степени. Здесь из древесных пород появляются береза и ель. Последняя, как правило, из-за бедности почв остается в подросте. В живом напочвенном покрове понижается жизнеспособность некоторых гидрофитов, появляются виды характерные для более богатых болот такие, как *Carex globularis*, *Carex lasiocarpa*, *Planozium Schreberi*, *Polytrichum commune*.

В результате гидролесомелиорации ценолитическое и видовое разнообразие сосновых фитоценозов увеличивается. Скорость и степень происходящих изменений предопределяется богатством условий местопроизрастания и интенсивностью осушения, чем богаче условия и выше интенсивность осушения, тем существеннее изменения.

## 8.2. Биологическая продуктивность сосновых фитоценозов в связи с осушением

С целью изучения изменения баланса основных элементов питания и углеродного цикла под влиянием осушения проведены исследования биологической продуктивности в наиболее распространенных и контрастных по трофности болотных биогеоценозах – сосняках кустарничково- и травяно-сфагновых.

После проведения гидролесомелиорации, в связи с улучшением гидрологических и почвенных условий, в сосновых насаждениях происходит резкое увеличение общей фитомассы (за 20 лет в 1,6 раза), что составляет в травяно-сфагновом сосняке около 600 ц/га, а в кустарничково-сфагновом чуть больше 100 ц/га, меняется и ее вертикальная структура: возрастает доля древесного полога, уменьшается - подроста и живого напочвенного покрова (табл. 3)

СОСНЯК КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫЙ  
Неосушенный      Осушенный

СОСНЯК ТРАВЯНО-СФАГНОВЫЙ  
Неосушенный      Экстенсивно осушенный      Интенсивно осушенный

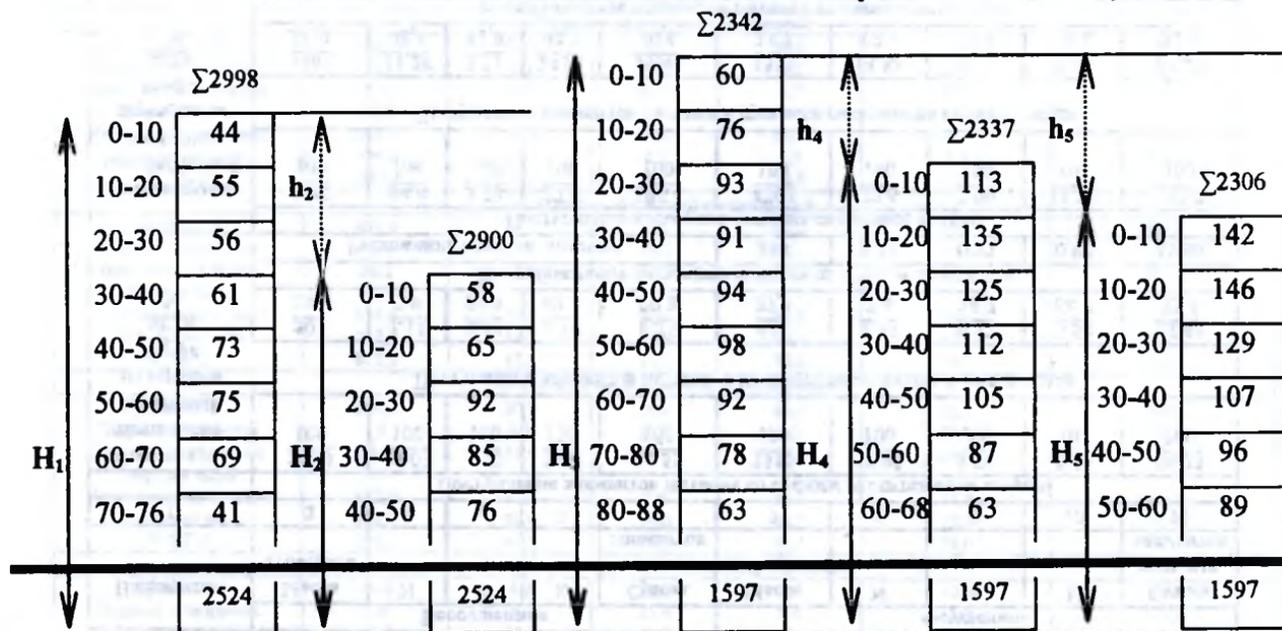


Рис. 3. Запасы торфа по горизонтам (т/га). Мощность торфа (см):  $H_1$  - 290;  $H_2$  - 264;  $H_3$  - 178;  $H_4$  - 158;  $H_5$  - 150; Осадка торфа после осушения (см):  $h_2$  - 26;  $h_4$  - 20;  $h_5$  - 28; Σ - общий запас торфа;

44

-запас торфа в горизонте; — линия горизонта выравнивания объемной массы.

Таблица 2.

Изменения процессов минерализации детритной фитомассы в лесоболотных биогеоценозах в результате гидрлесомелиорации										
Насаждения	Неосушенное					Осушенное				
	Масса субстрата	N	P	K	Сумма зольных элементов	Масса субстрата	N	P	K	Сумма зольных элементов
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поступление элементов питания со свежим растительным опадом										
Сосняк кустарничково-сфагновый на верхнем торфе	<u>2080</u>	<u>14.03</u>	<u>1.20</u>	<u>5.02</u>	<u>44.53</u>	<u>2355</u>	<u>17.95</u>	<u>1.86</u>	<u>5.53</u>	<u>56.33</u>
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Поступление элементов питания в процессе разложения свежего опада										
кг/га	<u>505</u>	<u>1.11</u>	<u>0.34</u>	<u>3.19</u>	<u>9.25</u>	<u>644</u>	<u>1.33</u>	<u>0.72</u>	<u>3.58</u>	<u>13.42</u>
	24.3	7.9	28,3	63.5	20.8	27,3	7.4	38.7	64.7	23.8
%	Высвобождение элементов питания из охеса и подстилки									
	Разложение охеса не выделено						380	3.38	0.22	0.87
Поступление элементов питания со свежим опадом										
Сосняк травяно-сфагновый на низинно-переходном торфе,	<u>4647</u>	<u>64.4</u>	<u>3.73</u>	<u>27.0</u>	<u>194.4</u>	<u>4763</u>	<u>72.6</u>	<u>2.90</u>	<u>11.70</u>	<u>185.7</u>
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
кг/га	Поступление элементов питания в процессе разложения свежего опада									
	<u>1481</u>	<u>31.28</u>	<u>2.31</u>	<u>24.91</u>	<u>59.48</u>	<u>1511</u>	<u>13.88</u>	<u>0.77</u>	<u>8.96</u>	<u>60.20</u>
31,9	48,6	61,9	92,3	30,6	31,7	19,1	26,6	76,6	32,4	
%	Высвобождение элементов питания из охеса и подстилки									
	8640	5.76	0.21	0.84	29	19900	67.2	3.55	2.98	195.8

Таблица 3.

## Биологическая продуктивность лесоболотных биогеоценозов

Фракции фитомассы	Фитомасса, ц/га	Годичный прирост		Опад		
		ц/га	% от фитомассы	ц/га	% от фитомассы	% от год. прироста
<b>С. травяно-сфагоновый осушенный</b>						
Древостой	1006,9	77,9	7,7	54,8	5,4	70,3
Подрост и подлесок	17,1	4,3	25,2	4,2	24,6	97,7
Напочвенный покров	8,1	4,9	60,5	4,7	58,0	96,9
Мертвая часть	74,7					
Итого надземная часть	1106,8	87,1	8,4	63,7	6,2	73,1
Подземная часть	309,0	12,7	4,3	5,9	3,6	64,4
ВСЕГО	1415,8	105,1	7,8	74,9	5,9	71,7
<b>С. травяно-сфагоновый неосушенный</b>						
Древостой	461,6	24,7	5,4	22,2	4,8	90,3
Подрост и подлесок	43,7	8,4	19,0	8,1	18,5	97,6
Напочвенный покров	29,2	19,9	68,2	19,3	66,1	97,0
Мертвая часть	41,8					
Итого надземная часть	574,5	53,0	9,9	49,6	9,3	93,0
Подземная часть	237,7	34,3	14,4	30,0	12,6	87,5
ВСЕГО	812,2	87,3	11,3	79,6	10,3	91,2
<b>С. кустарничково-сфагоновый осушенный</b>						
Древостой	109,1	20,7	19,0	13,7	12,6	66,2
Подрост и подлесок	1,0	0,2	20,0	0,2	20,0	100,0
Напочвенный покров	33,9	11,6	34,2	11,2	33,0	96,6
Мертвая часть	8,9					
Итого надземная часть	152,9	32,5	2,6	25,1	17,4	77,2
Подземная часть	132,7	32,6	34,6	26,3	19,8	80,7
ВСЕГО	285,6	65,1	23,5	51,4	18,0	79,0
<b>С. кустарничково-сфагоновый неосушенный</b>						
Древостой	34,4	4,2	12,2	3,6	10,5	85,7
Подрост и подлесок	2,6	0,4	15,4	0,4	15,4	100,0
Напочвенный покров	60,9	19,0	31,2	17,1	28,1	90,0
Мертвая часть	12,4					
Итого надземная часть	110,3	23,6	24,1	21,1	21,6	89,4
Подземная часть	70,7	14,7	20,8	13,3	18,8	90,5
ВСЕГО	181,0	38,3	22,7	34,4	20,4	89,8

Если в неосушенном сосняке травяно-сфагновом фитомасса живого залоченного покрова составляет 22% от обледей, а в кустарничково-сфагновом - 59% (в обоих случаях преобладают сфагновые мхи), то в осушенных она сокращается, соответственно, до 2 и 15%. Основную массу при этом составляют кустарнички и травы. Большие изменения происходят в годичном приросте и опаде. В неосушенных сосняках кустарничково-сфагновых годичный прирост фитомассы в основном формируется за счет прироста сфагновых мхов, в осушенных сосняках травяно-сфагновых за счет травянистых растений и сфагновых мхов и в тот же год переходит в опад. В осушенных сосняках травяно-сфагновых масса травяно-мохового яруса резко сокращается и годичный прирост фитомассы формируется в основном за счет прироста стволовой древесины, поэтому доля опада от годичного прироста невелика. В осушенных же сосняках кустарничково-сфагновых в формировании годичного прироста фитомассы по-прежнему большое участие принимают кустарнички, доля опада от прироста в этих условиях больше. Неттопродукция в осушенных сосняках в 2-3,5 раза больше, чем в неосушенных и составляет в травяно-сфагновом 30,2 ц/га, а кустарничково-сфагновом 13,7 ц/га.

Изменение ценотического и видового разнообразия, продуктивности и структурная перестройка сосновых фитоценозов являются следствием изменения экологических условий под влиянием осушения и оказывает большое влияние на процессы обмена органического вещества в лесоболотных экосистемах.

## 9. КРУГОВОРОТ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (N,P,K) В ОСУШЕННЫХ И НЕОСУШЕННЫХ ЛЕСОБОЛОТНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ

Под биологическим круговоротом понимается поступление элементов из атмосферы и почвы в живые организмы, биохимический синтез и закрепление химических элементов в органическом веществе растений и возвращение их в почву и атмосферу с ежегодным опадом или полностью отмершими организмами, входящими в состав биоценоза (Родин и др., 1968).

### 9.1. Зольный состав растений

Анализ содержания различных элементов питания в растениях лесоболотных фитоценозов позволил установить колебания их концентрации под действием гидролесомелиорации. Особенно заметные различия между осушенными и неосушенными древостоями обнаружены в содержании азота и суммы зольных элементов в хвое и листьях древесных растений. Сумма зольных элементов в хвое сосны в неосушенных древосто-

ях колеблется от 1,14 до 1,21%, в осушенных – от 1,21 до 1,41%. В листьях березы, соответственно, – от 1,7 до 2,99%. Содержание азота в хвое сосны без осушения составляет 0,9-1,14, а в осушенных древостоях – 1,14 – 1,25%. Самое низкое содержание азота в древесине стволов сосны – 0,2-0,25%. Закономерных изменений в содержании фосфора и калия в древесных растениях в связи с осушением не выявлено. Содержание N,P,K в свежем опаде хвои и ветвях сосны несколько ниже, чем в растущих хвое и ветвях.

В живом напочвенном покрове заболоченных лесов распространены различные виды кустарничков, травянистых растений и мхов. Их видовой состав обусловлен экологическими условиями. В бедных условиях произрастания сосняков кустарничково-сфагновых неосушенных в живом напочвенном покрове преобладают болотные кустарнички и сфагновые мхи с низким содержанием азота и минеральных элементов. В сосняках травяно-сфагновых доминируют в покрове травянистые растения и сфагновые мхи с более высоким содержанием N,P,K. Масса живого напочвенного покрова в лесоболотных фитоценозах под влиянием осушения снижается. Уменьшается и его значение в круговороте органического вещества, азота и зольных элементов, особенно на более богатых болотных почвах. Фитомасса древесных растений, наоборот, возрастает. Таким образом, в бедных условиях произрастания сосняков кустарничково-сфагновых масса менее зольных растений напочвенного покрова заменяется массой более зольных - древесных. В сосняках травяно-сфагновых, наоборот, более зольные растения живого напочвенного покрова заменяется массой менее зольных - древесных.

## 9.2. Потоки азота, фосфора, калия и зольных элементов

В лесных биогеоценозах происходит постоянный обмен минеральными элементами между растительностью и почвой - поглощение из почвы азота и зольных элементов растительностью и возврат их в почву с опадом. Наряду с этим часть минеральных элементов поступает в почву с осадками, вымывается из живых органов растений, передвигается по профилю почвы и выносится с грунтовыми водами за пределы биогеоценоза.

В связи со структурной перестройкой фитомассы, увеличением продуктивности древесного яруса и снижения напочвенного покрова лесоболотных фитоценозов в результате их осушения повышается содержание основных элементов питания в фитомассе древостоев и понижается доля их аккумуляции растениями напочвенного покрова. В то же время, емкость круговорота в звеньях (прирост - опад) элементов питания в осушенных лесоболотных фитоценозах неоднозначна в зависимости от богатства условий произрастания. В сосняках травяно-сфагновых емкость кру-

говорота основных элементов питания (N, P, K) под влиянием осушения уменьшается, а в бедных условиях сосняков кустарничково-сфагновых – увеличивается. Это обусловлено тем, что в богатых условиях произрастания неосушенных фитоценозов общий прирост фитомассы формируют в основном более высокозольные растения, а в осушенных менее зольные – древесные растения. В бедных условиях произрастания доли низкозольных растений, особенно сфагновых мхов, в формировании прироста фитомассы значительно уменьшается, и возрастает в связи с осушением доля более зольных древесных растений. С лесоводственной точки зрения данное явление можно считать положительным, так как мелиорацией достигается увеличение прироста древесины, что является основной целью данного мероприятия.

Возврат основных элементов питания (N, P, K) в лесоболотных биогеоценозах в почву с опадом не компенсирует расходы на рост. Возврат их от выноса на прирост в результате осушения в низкопродуктивных сосняках кустарничково-сфагновых, уменьшился в сравнении с неосушенным с 92 до 84%, а в высокопродуктивных, сосняках травяно-сфагновых, соответственно, с 94 до 82%.

В истинном приросте осушенных насаждений закрепляется питательных элементов значительно больше, чем неосушенных: в сосняке кустарничково-сфагновом азота в 2,3, фосфора в 6,0, калия в 2,7 раза, а в сосняке травяно-сфагновом азота в 2,4, фосфора в 4,4, калия в 2,2 раза. Вследствие более высокой биологической продуктивности сосняков травяно-сфагновых, участие азота и зольных элементов в круговороте здесь гораздо выше, чем в сосняках кустарничково-сфагновых, что приводит к более значительному повышению почвенного плодородия корнеобитаемого слоя почвы при осушении переходных торфяных почв.

Следует отметить, что запас элементов питания (N, P, K) в верхнем горизонте почвы (0-50 см) в результате осушения увеличился, однако в целом в торфяной залежи – уменьшился. Это уменьшение обусловлено сработкой органического вещества торфа и повышением выноса N, P, K на прирост древесных растений, а также с дренажными водами за пределы биогеоценоза (табл. 4). Увеличение расходов питательных элементов на прирост и вынос со стоком, особенно в первые годы после осушения, привело к их более быстрому использованию и уменьшению их запасов в торфяной залежи.

Годичный цикл круговорота элементов питания в неосушенных лесоболотных биогеоценозах носит застойный характер, чему способствуют пополнение запасов торфа и консервация значительной части элементов питания в органическом веществе верхних горизонтов почвы, в основном за счет опада травяно-кустарничкового и мохового ярусов. Под влиянием осушения в лесоболотных биогеоценозах складывается новый

тип круговорота, который можно отнести к прогрессивному, при котором аккумуляция основных питательных элементов происходит не в органическом веществе почвы, а в более мобильном для круговорота веществ древесном приросте. Кроме этого происходит перераспределение элементов питания в почвенном блоке: уменьшается в торфяной залежи и увеличивается в ПТВ, что способствует лучшему усвоению их растительностью и повышению продуктивности лесоболотных биогеоценозов.

Таблица 4

Изменения запасов N, P, K в различных компонентах сосняков травяно-кустарничково-сфагновых под влиянием 20-летнего осушения

Компоненты биогеоценоза	Ежегодное изменение запасов элементов питания, кг/га					
	сосняк травяно-сфагновый			сосняк кустарничково-сфагновый		
	N	P	K	N	P	K
Фитомасса	+8,56	+1,11	+3,57	+3,88	+0,31	+0,92
Надземная часть	+12,59	+1,39	+4,4	+1,78	+0,18	+0,04
в т. ч.: древесной	+14,01	+1,49	+5,68	+2,3	+0,08	+0,08
напочвенный покров	-1,42	-0,10	-1,42	-0,5	+0,1	-0,04
Подземная часть	-4,03	-0,28	+0,83	+2,10	+0,13	+0,88
Лесная подстилка (сфагновый очес)	+20,5	+1,0	-0,3	+0,7	+0,05	-0,05
Торфяная залежь	-16,0	-0,7	-0,9	-94,8	-2,5	-6,9
Почвенно-грунтовые воды (в слое 1 м)	+39,65	+0,1	+2,65	+8,3	-4,35	-11,15
Итого	+5,27	+1,51	+5,02	-81,9	-6,49	-17,2
Вынос со стоком	+2,42	+0,11	+0,13	+3,17	+0,12	+0,44

Оценивая изменения круговорота основных элементов питания на экосистемном уровне под влиянием гидролесомелиорации, необходимо отметить, что в сосняке травяно-сфагновом изменение баланса положительное, а в сосняке кустарничково-сфагновом - отрицательное, что свидетельствует о хозяйственной и экологической перспективности осушения лесоболотных фитоценозов, произрастающих в мезо- и евтрофных условиях и нецелесообразности его в олиготрофных.

#### 10. ИЗМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

В последнее время в связи с антропогенным воздействием все большее беспокойство в мире вызывает рост содержания тепличных газов в атмосфере, особенно углеродсодержащих. Болотные экосистемы, как

известно, в естественном состоянии больше связывают атмосферного углерода, чем отдают его в процессе своей жизнедеятельности. О влиянии лесохозяйственного использования (осушения) торфяников на углеродный цикл нет однозначного мнения.

### 10.1. Запасы углерода в фитомассе осушенных и неосушенных фитоценозов

За 20 лет после осушения запасы углерода закрепленного в фитомассе осушенных сосняков по сравнению с неосушенными существенно возросли, произошли значительные изменения во всех компонентах фитоценозов. Ежегодное увеличение запасов углерода в сосняке травяно-сфагновом составило в среднем 1,38 т/га, в кустарничково-сфагновом — 0,28 т/га. Повышение запасов углерода зафиксировано почти во всех компонентах фитомассы, за исключением живого напочвенного покрова. Так в сосняке травяно-сфагновом произошло уменьшение запаса углерода в фитомассе живого напочвенного покрова в среднем на 0,24 т/га в год. В сосняке кустарничково-сфагновом изменений не зафиксировано.

Таким образом, гидролесомелиорация способствует увеличению аккумуляции углерода в древесной фитомассе и снижению ее в живом напочвенном покрове, особенно в богатых условиях произрастания, где эта закономерность проявляется в большей степени.

### 10.2 Запасы углерода в торфе

Процесс торфообразования заключается в накоплении на поверхности почвы полуразложившихся растительных остатков, углерод которых в анаэробных условиях консервируется и исключается из биологического круговорота. Осушение торфяных почв нарушает сложившийся процесс торфообразования, что выражается в усилении минерализации торфа, осадке торфяной залежи и ее сработке и приводит, в конечном счете, к снижению запасов углерода в торфяной залежи. Ежегодная убыль углерода за двадцатилетний период осушения в сосняке травяно-сфагновом составила, по нашим расчетам, в среднем 0,85 т/га в зоне интенсивного осушения (0-30 м от канала) и 0,15 т/га на удалении от канала 30-60 м. В целом для всей межканальной полосы (125 м) ежегодные потери углерода составили 0,57 т/га.

В сосняке кустарничково-сфагновом при расстоянии между осушителями 35 м зафиксирована большая убыль углерода торфяной залежи — 2,25 т/га в год. Разница данного признака в сравниваемых типах леса обусловлена их различной продуктивностью. При этом необходимо отметить, что интенсивная потеря углерода происходила в основном в пер-

вые годы после осушения. В последующие годы потери углерода компенсировались за счет увеличения отпада фитомассы, в особенности корней.

Таким образом, потеря углерода торфяной залежи зависит от интенсивности осушения и богатства условий произрастания лесоболотных биогеоценозов. С увеличением интенсивности осушения и ухудшением лесорастительных условий потери углерода торфа возрастают.

### 10.3 Углерод в почвенно-грунтовых водах и вынос его дренажными водами

Исследования изменения химического состава почвенно-грунтовых вод (ПГВ), осуществленные в период с 1991 по 1994 годы, позволили установить, что концентрация в них углерода под влиянием осушения возрастает. В частности, в метровой толще торфяной залежи сосняка кустарничково-сфагнового концентрация углерода в ПГВ выросла с  $48,0 \pm 2,50$  мг/л до  $62,9 \pm 5,65$  мг/л, а травяно-сфагнового – с  $28,2 \pm 3,04$  мг/л до  $65,7 \pm 2,46$  мг/л, т. е. в бедных олиготрофных условиях произрастания концентрация углерода в ПГВ увеличилась в 1,3 раза, а в мезотрофных – в 2,4 раза. Как показали дальнейшие расчеты, несмотря на увеличение концентрации углерода в ПГВ осушенного сосняка кустарничково-сфагнового, запасы углерода в общем объеме воды не изменились, по сравнению с неосушенным, и составили 1.3 т/га. Здесь меньшие запасы воды компенсируются большей концентрацией углерода. Запасы углерода в ПГВ сосняка травяно-сфагнового осушенного почти в 2 раза превышают этот показатель неосушенного участка. За счет осушения в сосняке травяно-сфагновом произошло увеличение содержания углерода в ПГВ на 0.60 т/га.

Наиболее достоверные данные о выносе углерода под влиянием осушения может дать определение его в стоке. По нашим расчетам величина выноса углерода стоковыми водами в связи с осушением увеличивается, однако существенного влияния на этот процесс трофности болот не выявлено. С травяно-сфагновых болот величина выноса углерода составила за 20-летний период 12,6 ц/га, а с кустарничково-сфагновых – 11,2 ц/га. Кроме этого, учитывая вышеприведенные расчеты (см. гл. 7) изменения стока в связи с осушением, можно предположить, что в дальнейшем вынос углерода будет снижаться, вследствие уменьшения стока в результате повышения продуктивности фитоценозов и облесения болот.

### 10.4 Углерод в почвенном воздухе и эмиссия его из почвы

Проведенные исследования влияния осушения лесоболотных экосистем на содержание углекислоты в почвенном воздухе и ее эмиссии из торфяной почвы показали, что гидроресомелиорация способствует увеличению обоих признаков. Более выражены данные явления проявляют-

ся в более богатых условиях произрастания и повышении интенсивности осушения. Так, в почвенном воздухе сосняка травяно-сфагнового неосушенного концентрация  $\text{CO}_2$  достигала лишь 0,05%. В результате осушения она возрастает и в интенсивно осушенной зоне (10 м от канала) доходит до 0,86%. При этом содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе в мезотрофных условиях возросло после осушения с 0,02 до 17,3 кг/га и, соответственно, углерода – с 0,005 до 4,65 кг/га. Различий в изменении запасов углерода и концентрации его в почвенном воздухе сосняков кустарничково-сфагновых осушенного и неосушенного нами не выявлено.

Что касается изменения эмиссии углерода из торфяной почвы в атмосферу в связи с осушением, то, можно отметить, что этот процесс имеет сходство с содержанием  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе. В неосушенном сосняке травяно-сфагновом эмиссия углерода составила (при среднем УПТВ - 2 см) 0,4 кг  $\text{CO}_2/\text{м}^2$  в час, в осушенном – 2,21 кг  $\text{CO}_2/\text{м}^2$  в час (при среднем УПТВ – 35 см). Средняя температура почвы в дни наблюдений составляла: неосушенного +11°C, осушенного +9,9°C. В неосушенном и осушенном сосняках кустарничково-сфагновых средняя эмиссия углерода из почвы различается мало: на неосушенном участке – 1,16 кг  $\text{CO}_2/\text{м}^2$  в час (при среднем УПТВ равном 41 см и температуре почвы - +10,5°C), на осушенном – 1,42 кг  $\text{CO}_2/\text{м}^2$  в час (средний уровень ПТВ – 31 см, температуре почвы - +8,4°C). По средним данным рассчитана эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы исследуемых участков за вегетационный сезон (100 дней). В сосняке кустарничково-сфагновом неосушенном эмиссия  $\text{CO}_2$  за этот период составила 2784 кг/га, в осушенном – 3408 кг/га. В сосняке травяно-сфагновом, соответственно, - 960 и 5304 кг/га. Тем самым, увеличение эмиссии углерода в атмосферу вследствие осушения достигает в сосняке кустарничково-сфагновом 624 кг/га, а в травяно-сфагновом – 4344 кг/га за вегетационный период. В сезонной динамике выявлено два пика максимальной эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы. Первый – в июне, в период активной вегетации растений и второй – в августе месяце, когда УПТВ имеет самое низкое стояние. Первый пик обусловлен активным дыханием корней и минерализационными процессами в почве, а второй – большей толщиной торфяной залежи, участвующей в процессах дыхания.

В результате проведенных исследований установлено, что, чем богаче условия произрастания, тем выше концентрация углекислого газа в почвенном воздухе и, соответственно, его эмиссия в атмосферу.

Обобщая результаты изучения углеродного цикла лесоболотных экосистем, необходимо отметить, что основные изменения обуславливают такие её компоненты, как органическая масса торфа и фитомасса растений. В данном случае большую роль играет компенсирующий фактор:

насколько потери органической массы торфа восполняются ростом фитомассы растительности и возвратом её в почву с опадом и отпадом. Необходимо отметить, что при образовании 1 тонны живой биомассы леса связывается 1,73 т диоксида углерода (Синицин, 1993). В сосняке травяно-сфагновом за 20-летний период после осушения экосистема накапливала больше углерода в среднем на 1.12 т/га в год по сравнению с неосушенным участком, а в кустарничково-сфагновом, наоборот, убыль составляет 1,94 т/га (табл. 5).

Таблица 5.

Годичное изменение углеродного цикла лесоболотных биогеоценозов под влиянием осушения 20-ти летней давности, т/га

Компонент биогеоценоза	Сосняк травяно-сфагновый			Сосняк кустарничково-сфагновый интенсивно осушенный
	интенсивно осушенный	экстенсивно осушенный	среднее	
Фитомасса растений	+1,51	+1,25	+1,38	+0,28
в том числе древостой	+1,75	+1,49	+1,62	+0,24
напочвенный покров	-0,24	-0,24	-0,24	+0,04
Надземная часть	+1,33	+1,13	+1,23	+0,12
Подземная часть	+0,18	+0,12	+0,15	+0,16
Лесная подстилка, очес	+0,22	+0,20	+0,21	+0,03
Торфяная залежь	-0,85	-0,15	-0,57	-2,25
Почвенно-грунтовая вода	+0,03	+0,03	+0,03	0
Почвенный воздух, кг	0	0	0	0
<b>ИТОГО</b>	<b>+0,91</b>	<b>+1,33</b>	<b>+1,12</b>	<b>-1,94</b>
Вынос стоковыми водами			0,06	0,06
Эмиссия "С" из почвенного воздуха	1,1	1,1	1,1	0,2

Оценивая роль гидролесомелиорации в изменении углеродного цикла следует отметить, что в мезотрофных условиях произрастания осушенная лесоболотная экосистема увеличивает сток углерода из атмосферы, по сравнению с неосушенной, а в олиготрофных, наоборот, превращается в источник поступления углерода в атмосферу.

Приняв во внимание, что продуктивность осушенных лесоболотных фитоценозов различна в зависимости от условий произрастания, нами

была предпринята попытка моделировать процесс изменения углеродного цикла в экосистемах по дополнительному приросту древесины, получаемому за счет гидроресомелиорации. Наряду с нашими данными, использовались результаты исследований финских ученых (Laine et al., 1992), полученные на объектах, располагающихся в сходных климатических условиях (61°48' с.ш.).

В результате математической обработки результатов выявлена связь между изменением дополнительного прироста древесины в результате осушения и годовыми потерями или накоплением углерода, которая (рис. 4), выражается следующим логарифмическим уравнением:

$$y = 1,428 \ln(x) - 0,314 \quad (2)$$

$R^2 = 0,858$ ;  $y$  – годовое изменение углерода, т/га,

$x$  – дополнительный прирост древесины, м<sup>3</sup>/га в год



Рис. 4. Зависимость годового накопления углерода в осушенной лесоболотной экосистеме от дополнительного прироста древесины.

Таким образом, установлено, что при дополнительном приросте от осушения 1,25 м<sup>3</sup>/га годовое накопление углерода равно нулю, при большей производительности древесины сток углерода в экосистему увеличивается. Это свидетельствует о том, что при дополнительном приросте свыше 1,25 м<sup>3</sup>/га в год гидроресомелиорация играет положительную биосферную роль. При меньшем дополнительном приросте лесоболотная экосистема после осушения превращается в источник выброса углерода в атмосферу, что может оказать определенное отрицательное воздействие на биосферные процессы в период глобального потепления климата.

Данная модель является ориентировочным инструментом расчета изменений углеродного цикла в лесоболотных экосистемах в связи с гидроресомелиорацией. Она позволяет приблизительно определить в на-

стоящее время и дать прогноз на будущее роль гидролесомелиорации в биосферных процессах и оптимизировать ведение лесного хозяйства в различных лесорастительных условиях Карелии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные исследования лесоводственной эффективности гидролесомелиорации, её экологических последствий и биосферной роли в естественно-географических условиях Карелии позволили выявить ряд особенностей и закономерностей и дать оценку влияния данного мероприятия на лесоболотные фитоценозы и окружающую среду.

1. Гидролесомелиорация способствует увеличению покрытой лесом площади за счет облесения болот. Установлены географические аспекты этого процесса. Естественное облесение болот в среднетаежной подзоне (южная Карелия) происходит в основном в первые 10 лет после осушения. Скорость облесения зависит от трофности их почв. Бедные верховые болота, несмотря на наличие предварительного возобновления, из-за медленного роста и высокого возраста, после осушения не всегда трансформируются в лесоболотные биогеоценозы. В северотаежной подзоне (средняя Карелия) заселение открытых болот протекает только в южном направлении от стен леса, смыкание крон затягивается на несколько десятилетий или вовсе не происходит. В этой связи осушение болот всех типов в северотаежной, бедных верховых и аапа-болот в среднетаежной подзонах Карелии бесперспективно.

2. На богатых почвах переходных и низинных болот облесение после осушения происходит, как правило, березой пушистой. Для повышения лесоводственной эффективности гидролесомелиорации здесь целесообразно создание лесных культур. Бедные переходные болота и богатые верховые (верхово-переходная залежь) при наличии предварительного возобновления сосны являются наиболее перспективными объектами для естественного зарастивания, так как они облесаются в основном сосной и не требуют ухода за составом.

3. Выявлена закономерность изменения возрастной структуры древостоев на осушенных землях в зависимости от их происхождения. При естественном облесении осушенных безлесных болот образуются молодняки и в дальнейшем имеет место обычная возрастная динамика. При наличии предварительного до осушения возобновления и редкостойной сосны часто на болотах через 20-30 лет формируются разновозрастные насаждения с преобладанием средневозрастного поколения и при таксации их переводят в средневозрастные насаждения, минуя молодняки. При осушении разновозрастных насаждений происходит их омоложение

из-за более интенсивного роста деревьев молодых поколений и большего отпада в высоковозрастной части древостоев; в результате спелые насаждения через 20 - 30 лет после осушения могут перейти в категорию приспевающих, а иногда и средневозрастных.

4. Установлено, что густота сосны в осушенных насаждениях со временем меняется в зависимости от условий произрастания: в мезо- и евтрофных она уменьшается, в олиготрофных - увеличивается. Осушение способствует повышению полноты насаждений.

5. Изменения породного состава древостоев осушенных лесоболотных биогеоценозов зависят от трофности почв. В богатых условиях произрастания (сосняки травяно-сфагновой группы типов леса) значительно увеличивается участие в составе березы пушистой, в небольшом количестве появляется ель. Отмечены случаи естественной смены хвойных пород лиственными. В бедных условиях произрастания (верховые почвы) смены пород не происходит, однако в небольшом количестве появляется береза, которая внедряется в основной полог древостоя.

6. Под влиянием гидролесомелиорации изменяется вертикальное строение древесного полога. Характерный для разновозрастных насаждений ступенчатый полог кроны постепенно выравнивается.

7. Продуктивность осушенных древостоев зависит от условий произрастания. При принятых в Карелии параметрах осушительной сети (100 - 150 м) с преобладанием в объектах осушения древостоев, произрастающих на переходных торфяных почвах, дополнительный прирост в начале третьего десятилетия в условиях южной Карелии в среднем достиг  $3 \text{ м}^3/\text{га}$ , а при преобладании в объектах насаждений, произрастающих на верховых и верхово-переходных торфяных почвах, был значительно ниже -  $1.8 \text{ м}^3/\text{га}$ .

8. Лесоводственная эффективность гидролесомелиорации зависит от возраста древостоев и давности осушения. Наибольший дополнительный прирост по запасу дают древостои в третьем десятилетии после осушения. Чем старше древостой в период осушения, тем ниже его дополнительный прирост. Продуктивность сосняков осушенных в спелом возрасте (120 - 130 лет) в 2.2 - 2.5 раза меньше по сравнению с молодняками (10 - 40 лет).

9. Видовое разнообразие всех ярусов растительности (древостой, подрост, подлесок, кустарничково-травяного и мохового) под влиянием осушения увеличивается. Внедряются виды, более требовательные к трофности, в т. ч. виды, характерные для минеральных почв.

10. Изучение влияния гидролесомелиорации на экологические факторы и обменные процессы лесоболотных биогеоценозов дало возможность, в определенной мере раскрыть суть этого явления и дать ему оценку.

11. Установлено увеличение стока с осушенных территорий в первые 10 -

15 лет после осушения и уменьшение его в последующие годы в связи с ростом суммарного испарения, обусловленного увеличением продуктивности древостоев. В условиях Карелии через 20 - 30 лет после лесосушения земель сток с осушенных территорий приближается к исходному до осушения.

12. Через 20-лет после осушения происходят изменения в химическом составе ПГВ, возрастающие с увеличением трофности осушенных почв. Увеличивается цветность воды, концентрация в ней органического углерода, общего и аммонийного азота, фосфора и калия.

13. В стоковых водах концентрация органического углерода, азота, фосфора и калия в результате осушения возрастает, однако она значительно ниже, чем в ПГВ как на осушенных, так и неосушенных болотах.

14. Вынос химических элементов стоковыми водами наиболее интенсивен в первые годы после осушения.

15. Установлено, что под влиянием осушения изменяются водно-физические свойства торфяных почв. Происходит осадка торфа, возрастание объемной массы почвенного горизонта, уменьшение порозности, влажности и полной влагоемкости торфа.

16. Выявлено, что в первые годы при интенсивном осушении уменьшается масса органического вещества торфа, как в бедных условиях произрастания сосняков кустарничково-сфагновых, так и в богатых травяно-сфагновых. В бедных условиях за 20-летний период после осушения отмечаются более высокие потери, которые обусловлены меньшей компенсацией органического вещества за счет детритной фитомассы в сравнении с богатыми. Текущие потери торфа спустя 20 лет после осушения не выявлены. Процессы прихода и расхода органического вещества сбалансированы.

17. Установлена закономерность изменения качества минерального состава опада в связи с трофностью почв осушенных лесоболотных биогеоценозов. Выявлено, что состав опада лесоболотных фитоценозов в бедных условиях (верховые торфяные почвы) улучшается, а в богатых (переходные) ухудшается в связи с их осушением с точки зрения доступности микроорганизмам и интенсивности его деструкции.

18. В результате осушения увеличиваются запасы основных элементов питания (NPK и сумма зольных элементов) в почве (слой 0-50) и уменьшаются в торфяной залежи.

Несмотря на потери массы торфа в начальный период после мелиорации, изменения, произошедшие в почвенном блоке биогеоценоза в результате осушения, как верховых, так и переходных торфяников можно оценить как положительные, способствующие повышению их естественного плодородия.

19. Исследование изменений под влиянием гидролесомелиорации углеродного цикла и круговорота основных элементов питания в лесобо-

лотных биогеоценозах проводилось на экосистемном уровне (растения, почва, почвенно-грунтовая вода, почвенный воздух, изучались процессы выноса элементов дренажными водами и эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы в атмосферу). Этот метод при таком роде исследований применен впервые.

20. Годичный цикл круговорота элементов питания в лесоболотных биогеоценозах в естественных условиях носит застойный характер (идет пополнение запасов торфа и консервация значительной части элементов питания в органическом веществе верхних горизонтов почвы).

21. Под влиянием гидролесомелиорации в лесоболотных биогеоценозах складывается новый тип круговорота питательных веществ, который можно отнести к прогрессивному, при котором аккумуляция основных питательных элементов происходит не в органическом веществе почвы, а в более мобильном древесном приросте и опаде, что увеличивает скорость круговорота. В результате осушения интенсивность круговорота питательных веществ возрастает по мере роста трофности местообитаний.

22. Гидролесомелиорация оказывает неоднозначное влияние на емкость круговорота элементов питания в звеньях (прирост-опад) в разных по трофности лесоболотных фитоценозах. В богатых условиях произрастания сосняков травяно-сфагновых емкость круговорота основных элементов питания (N, P, K) в звеньях прирост-опад под влиянием осушения уменьшается, а в бедных - увеличивается.

23. В процессе роста осушенных насаждений в биомассе древостоев закрепляется питательных элементов значительно больше, чем неосушенных.

24. Под влиянием осушения возрастает и вынос питательных элементов из почвы стоковыми водами, особенно азота и калия. Увеличение количества элементов питания закрепленных в фитомассе древостоев и вынос их со стоком, особенно в первые годы после осушения, приводят к уменьшению запасов этих элементов в торфяной залежи.

25. Под влиянием осушения происходит перераспределение элементов питания в звеньях круговорота, уменьшается их количество в торфяной залежи и увеличивается в ПГВ, что способствует лучшему усвоению их растительностью.

26. Оценивая изменения круговорота основных элементов питания на экосистемном уровне под влиянием гидролесомелиорации необходимо отметить, что в лучших условиях произрастания (сосняк травяно-сфагновый) баланс питательных веществ возрастает, а в худших условиях произрастания (сосняк кустарничково-сфагновый) - уменьшается.

27. Установлено, что гидролесомелиорация оказывает неоднозначное влияние на изменение содержания углерода в компонентах лесоболотных экосистем. Осушение способствует накоплению углерода в древес-

ной фитомассе и снижению его в живом напочвенном покрове. С улучшением условий произрастания (трофности и интенсивности осушения) эта закономерность проявляется в большей степени.

28. В связи с гидrolесомелиорацией происходят потери углерода в торфяной залежи в первые годы после осушения. Спустя 20 лет после осушения они в большей мере компенсируются в богатых условиях произрастания сосняков травяно-сфагновых за счет более значительного увеличения продуктивности древостоев и увеличения опада растительности в сравнении с бедными.

29. Годичный вынос углерода стоковыми водами в результате осушения возрастает.

30. Выявлено, что концентрация  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе и его эмиссия с осушением лесоболотных биогеоценозов возрастает.

Установлено, что чем богаче условия произрастания, тем выше концентрация углекислого газа и его эмиссия в атмосферу под воздействием гидrolесомелиорации. Это связано с лучшей минерализацией торфяных почв и более интенсивным дыханием корней в богатых условиях в сравнении с бедными.

31. Оценивая роль гидrolесомелиорации, в изменении углеродного цикла следует отметить, что в бедных условиях произрастания (верховые торфяники), осушенная лесоболотная экосистема является источником поступления углерода в атмосферу, а в мезотрофных - наоборот.

32. Исследования позволили разработать прогнозную модель изменения углеродного цикла в зависимости от продуктивности (дополнительного прироста) насаждений после осушения.

Выявлено, что при дополнительном приросте древостоя в результате осушения  $1.25 \text{ м}^3/\text{га}$  годовые изменения углерода в экосистеме равны нулю. При большем дополнительном приросте лесоболотная экосистема является местом стока атмосферного углерода, и, таким образом, играет положительную биосферную роль, при меньшем дополнительном приросте - наблюдается обратное явление.

#### **Рекомендации:**

Для увеличения лесоводственной эффективности гидrolесомелиорации необходимо:

- исключить из гидrolесомелиоративного фонда и фонда реконструкции осушительных систем бедные верховые болота в южной Карелии и открытые болота всех типов в средней (северотаежной подзоне  $63^\circ - 64^\circ 30'$ ) Карелии;
- своевременно проводить уход за породным составом древостоев в богатых условиях произрастания;
- проводить рубки для улучшения возрастной и товарной структуры

осушенных древостоев,

- поддерживать гидролесомелиоративную сеть в рабочем состоянии.
- при составлении проектов осушения и реконструкции осушительных систем необходимо учитывать не только лесоводственную эффективность, но и экологические и биосферные последствия гидролесомелиорации.

#### Основные публикации по теме диссертации.

1. Саковец В.И., Эрте А.Э. Анализ лесоводственной эффективности осушения по материалам лесоустройства // Изменение лесоболотных биогеоценозов под влиянием осушения. Петрозаводск, 1986. С. 50-62.
2. Саковец В.И., Гаврилов В.Н. О пригодности болот аапа типа для лесосушения // Эффективность и организация работ по осушению лесных земель в Коми АССР (Тез. докл. сов.). Сыктывкар, 1988. С. 33-34.
3. Medvedeva V.M., Sakovets V.I. The formation of forest communities on drained peat soils in Karelia // Proceeding of VIII international peat congress. L., Section III, 1988. P. 42-48.
4. Саковец В.И. Результаты обследования осушенных болот средней Карелии // Актуальные проблемы осушения лесов на Среднем Урале (Инф. мат. сов.). Свердловск, 1989. С. 182.
5. Саковец В.И. Проблемы облесения осушенных болот Карелии // Проблема и перспективы развития народнохозяйственного комплекса Карелии. (Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф.). Петрозаводск, 1989. С. 219-221.
6. Саковец В.И. Лесоводственная характеристика осушенных болот средней Карелии // Исследования осушенных лесоболотных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск, 1989. С. 5-14.
7. Ионин И.В., Ермаков И.В., Саковец В.И. К вопросу об эффективности искусственного облесения осушенных болот в средней Карелии // Исследования осушенных лесоболотных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск, 1989. С. 23-32.
8. Саковец В.И. Результаты инвентаризации мелиорированных лесных площадей Карелии // Гидролесомелиорация Северо-Востока ЕТС (информ. матер. совещ.). Горький, 1990. С. 96-97.
9. Саковец В.И. Лесоводственная эффективность осушения в среднеэтажной подзоне Карелии // Гидролесомелиорация и рациональное природопользование (тез. докл. науч.-произв. сов.). С-Петербург, 1992. С. 30-32.
10. Sakovets V.I., Germanova N.I. Changes in the carbon balance of forested mires in Karelia due to drainage // (Proc. International works shop) Carbon Cycling in boreal peatlands and Climate Change. Suo. V. 43, 1992. P. 249-252.
11. Sakovets V.I. Ground and remote monitoring of drained peatland condition based on the inventory of Karelian forests // Ilvessalo symposium national forest inventories Finland. August, 17-21. Summary. Helsinki, 1992. P. 10.

12. Саковец В.И. Влияние лесосушения на углеродный баланс лесоболотных биогеоценозов в условиях Северо-Запада России // Генезис, эволюция и роль болот в биосферных процессах (тез. докл. междунар. конфер.) Минск, 1994. С. 86-87.
13. Саковец В.И. Биосферная роль гидролесомелиорации в условиях Северо-Запада России // Гидролесомелиорация: задачи и координация исследований. (Инф. мат. коорд. науч.-произв. сов.). С.-П., 1994. С. 70-71.
14. Саковец В.И., Гаврилов В.Н. Лесообразовательные процессы на осушенных болотах Карелии. Петрозаводск, 1994. 100 с.
15. Sakovets V.I., Gavrilov V.N. The role of forest peatlands reclamation in the carbon balance in North-Western Russia // Climate change, Biodiversity and Boreal Forest Ecosystems. conf.abstr. Joensuu, Finland, 1995. P. 65.
16. Sakovets V.I. Forestry in the Republic of Karelia // Environmental impacts of forestry and forest industry EFI proceedings. № 3, 1995. P. 93-97.
17. Саковец В.И., Скадорва И. В., Валдаев В.В. Гидролесомелиорация в Карелии // Эколого-биологическое обоснование гидролесомелиорации и реконструкции лесосушительных систем (Инф. мат. сов.) Петрозаводск, 1996. С. 3-4.
18. Саковец В.И., Аняньев В.А. Динамика углерода в почвенно-грунтовых водах в связи с осушением лесов, произрастающих на торфяных почвах в Карелии // Гидролесомелиорация: наука-производству. Труды СПбНИИЛХ. С.-П., 1996. С. 90-91.
19. Anan'ev V.A., Sakovets V.I. Advance growth potential to accomplish sustainable utilization of boreal forests in Karelia // Silvicultural challenges to support economically sound forestry in boreal zone Swedish Russian Workshop, October, 7-8. Umea Sweden, 1996. P. 7.
20. Sakovets V.I. Biosphere importance and economic efficiency of forest drainage in Russian Karelia // Peatland use – present, past, and future; volume 3: Summary papers (10<sup>th</sup> int. Peat Congr., Bremen, Germany), Stuttgart, 1996. P. 55.
21. Саковец В.И. Биосферная роль гидролесомелиорации на Северо-Западе таежной зоны России // Препринт докл. на заседании Президиума КарНЦ РАН, Петрозаводск, 1997, 16 с.
22. Карпечко Ю.В., Саковец В.И. Постмелиоративные изменения элементов водного баланса водосборов Карелии // Журн. Водные ресурсы, 1997, Т. 24, № 3. С. 266-269.
23. Саковец В.И., Матюшкин В.А. Углеродный баланс в связи с ведением лесного хозяйства на торфяниках Карелии // Лесной журн., 1997, №5. С. 112-117.
24. Matyushkin V.A., Sakovets V.I. Changes induced in the biodiversity of paludified pine biocoenoses by drainage // Biodiversity of Fennoscandia. Petroza-

vodsk, 1997. P. 26.

25. Саковец В.И. Гидролесомелиорация на северо-западе России и её роль в возможных климатических последствиях // Лесная наука на рубеже XXI века. Сб. науч. труд. Института леса национальной Академии наук Белоруси. № 46. Гомель, 1997. С. 448-450.
26. Германова Н.И., Егорова Р.А., Саковец В.И. Потери органического вещества при лесохозяйственном освоении осушенных болот Карелии // Антропогенное воздействие на природу севера и его экологические последствия (тез. докл. Всерос. совещ.). Апатиты, 1998. С. 191-192.
27. Anan'ev V.A., Sakovets V.I. Productivity of Peatland and forest management // Paper on growth trends in European forests. Proc. workshop IUFRO World Congress in Tampere, Finland 7-8 August, 1998, Joensuu P. 14-17.
28. Ананьев В.А., Саковец В.И., Медведева В.М., Матюшкин В.А. Лесотаксационные таблицы для осушенных насаждений Карелии // Петрозаводск, 1999. 24 с.
29. Германова Н.И., Егорова Р.А., Саковец В.И. Разложение опада как показатель интенсивности круговорота элементов в заболоченных сосняках // Экология таежных лесов (тез. докл. межд. конф.). Сыктывкар, 1998. С. 110-111.
30. Германова Н.И., Егорова Р.А., Саковец В.И. Влияние гидролесомелиорации на деструкцию органического вещества и круговорот элементов питания на верховых болотах // Лесоведение, 1999, № 1. С. 10-16.
31. Германова Н.И., Саковец В.И. Разложение опада и эффективность мелиорации в Карелии // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования (матер. конфер.). М., 1999. С. 172-175.
32. Саковец В.И. Эффективность лесосушения в Карелии по материалам лесоустройства // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования (матер. конфер.). М., 1999. С. 282-284.
33. Германова Н.И., Саковец В.И. Микробоценозы как показатель эффективности мелиорации торфяных почв Карелии // Почвоведение, 2000, № 7. С. 847-854.
34. Саковец В.И. Эффективность гидролесомелиорации и изменение углеродного цикла // Регион. пробл. изучения и использования избыточного увлажнения земель (тез. докл. конф.). Екатеринбург, 2000. С. 94-95.
35. Германова Н.И., Саковец В.И. Баланс органического вещества торфяных почв, используемых в лесном хозяйстве // Регион. пробл. изучения и использования избыточного увлажнения земель (тез. докл. конф.) Екатеринбург, 2000. С. 80-81.
36. Саковец В.И., Германова Н.И., Матюшкин В.А. Экологические аспекты гидролесомелиорации в Карелии. Петрозаводск, 2000. 155 с.

*serif-*