

Институт  
Экономики

На правах рукописи

**КИСТЕРНАЯ** Маргарита Васильевна

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ  
АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ**

05.21.05 – Технология и оборудование  
деревообрабатывающих производств,  
древесиноведение

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва, 2000 г.

Работа выполнена в аналитической лаборатории Института леса Карельского научного центра РАН, ряд экспериментальных исследований проведен в отделе строительных материалов финского научно-исследовательского центра VTT Building Technology.

Научный руководитель      Борис Наумович Уголев,  
доктор технических наук,  
профессор, академик ИАВС

Официальные оппоненты:      Станислав Николасвич Рыкунин,  
доктор технических наук, профессор,  
член-корр. РАЕН;  
Анатолий Иванович Шиикин,  
доктор технических наук, профессор

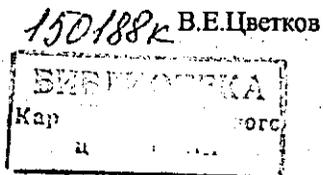
Ведущая организация: ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко,  
сектор деревянных конструкций

Защита состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2000 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 053.31.01 при Московском Государственном Университете Леса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского Государственного Университета Леса. Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим направлять по адресу: 141001, Мытищи-1, Московской обл., Московский Государственный Университет Леса. Ученому секретарю.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2000 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Введение

Актуальность темы. В последние годы все большее внимание уделяется проблеме сохранения мирового культурного наследия, неотъемлемой частью которого являются памятники деревянного зодчества. Русский Север – родина деревянных сооружений разного типа, сохранившихся до наших дней. Этот культурный потенциал может быть утрачен, если не будут приняты неотложные меры по его сохранению.

При проведении реставрационных и ремонтных работ оценка качества старой древесины является первоочередной задачей. Особые трудности создают ограниченные возможности отбора образцов для стандартных испытаний на прочность. Недостаток информации об изменении физико-механических свойств древесины при длительной эксплуатации вызывает необоснованную замену исторического материала памятника.

Для памятников деревянного зодчества отсутствуют описания наиболее типичных дефектов и научно обоснованные рекомендации по их устранению. В 60–80-е годы для защиты деревянных построек от биоповреждений широко использовались химические методы, не безопасные для человека и загрязняющие окружающую среду. Часто мероприятия по сохранению памятников ограничивались только химической защитой деревянных конструкций, без поддержания нормальных условий эксплуатации.

Несмотря на то, что с 1982 года страны-участницы Конвенции по защите культурного наследия стараются выработать основные принципы оценки состояния памятника, до настоящего времени общепринятая система выполнения такой процедуры отсутствует. В связи с этим представляет интерес разработка и обоснование системы мониторинга памятников деревянного зодчества, включающей наблюдение за состоянием древесины и микроклиматом здания.

Цель и задачи исследования – оценить состояние древесины после длительной эксплуатации, обосновать экологически безопасные методы обеспечения долговечности деревянных конструкций памятников. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить изменения, произошедшие в древесине после длительной эксплуатации, на примере памятника деревянного зодчества XVIII века – церкви Преображения (о.Кижь, Карелия);
- выявить типичные дефекты деревянных конструкций и наиболее значимые факторы, вызывающие их образование;

- оценить эффективность химической консервации древесины на примере церкви Покрова (1774 г., о. Кижи);
- разработать систему мониторинга состояния архитектурных памятников, обеспечивающую их долговременную сохранность.

#### Научная новизна проведенных исследований

Установлены изменения химического состава и прочностных свойств древесины, произошедшие вследствие ее длительной эксплуатации в условиях Карелии.

Выявлено влияние качества древесины и условий эксплуатации строений на развитие биоповреждений.

Разработана и апробирована схема мониторинга памятников, позволяющая оценить интенсивность развития биоповреждений древесины.

Определено состояние древесины, подвергнутой химической консервации.

Обоснованность и достоверность выводов подтверждаются комплексным характером исследований, значительным объемом экспериментального материала и использованием современных методов обработки полученных данных.

#### Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты исследования химических и физико-механических свойств длительно эксплуатировавшейся древесины;
- компьютерный способ измерения размеров макрообразований (анатомических зон и пороков) древесины;
- принципы мониторинга состояния памятников деревянного зодчества Европейского Севера.

#### Практическая значимость и реализация результатов исследований

В процессе выполнения диссертационной работы была разработана и реализована система мониторинга, позволившая получить достаточно полную информацию о микроклимате уникального памятника архитектуры – Преображенской церкви (о. Кижи), динамике влажности древесины отдельных элементов конструкции и оценить активность процессов биоразрушения. Анализ полученных физико-механических показателей и химического состава древесины, эксплуатировавшейся более 280 лет, позволил сделать вывод о том, что она в достаточной мере сохранила свои прочностные свойства. Были выявлены закономерности повреждения древесины деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами. Результаты исследований были использованы при составлении концепции сохранения и реставрации Преображенской церкви, разрабатываемой по заданию Министерства культуры Российской Федерации.

Организация исследований. Работа была выполнена в Институте леса КарНЦ РАН и в исследовательском центре VTT Building Technology, Финляндия. Основной объем экспериментального материала получен в 1995-1999 гг. в ходе выполнения НИР по хозяйственным темам "Оценка состояния древесины Преображенской церкви", "Мониторинг биоразрушений древесины Преображенской церкви" и "Атлас дефектов Преображенской церкви", а также в рамках проекта "Hilten, piveen ja pinia-kasittelyn yhteispelia" ("Взаимодействие бревна, утеплителя и защита поверхности", VTT Building Technology, Финляндия).

Исследования выполнены при поддержке фонда World Monuments Watch, предоставившего современное оборудование для контроля влажности древесины и параметров окружающей среды, а также программное обеспечение.

Личное участие автора в исследованиях состоит в разработке методики и проведении экспериментальных работ, анализе и интерпретации результатов эксперимента. Автор был руководителем и ответственным исполнителем подразделов "База данных "Преображенская церковь"", "Приборный контроль в миколого-древесиноведческом мониторинге деревянных объектов" хозяйственных тем.

#### Апробация и публикация результатов исследований

Основные положения и результаты работы докладывались на 2-м Международном симпозиуме "Строение, свойства и качество древесины-96", Москва, 1996 г.; международной научной конференции "М.В. Ломоносов и национальное наследие России", Архангельск, 1996 г.; международной конференции "Preservation of Russian antiquities, its impact on Russia's rejuvenation", Санкт-Петербург-Москва, 1997 г.; международной конференции "Karelia and Norway: the main trends and prospects of scientific cooperation", Петрозаводск, 1997 г.; 3-м международном симпозиуме "Insect Pest Control in Museums", Стокгольм, 1998 г.; 4-м международном симпозиуме "Measurement Technology and Intelligent Instruments ISMTI'98", Мишкольц, Венгрия, 1998 г.; международном симпозиуме "Актуальные проблемы исследования и спасения уникальных памятников деревянного зодчества", Ненокса-Петрозаводск-Кижи, 1999 г.; Высшем экспертном совете Министерства культуры Российской Федерации, Москва, 1999 г.; сессии Координационного Совета по современным проблемам древоисследования и семинаре "Древесина в строительстве", Москва, 1999 г.

По результатам исследований в соавторстве опубликовано 12 работ.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 124 страницах машинописного текста и состоит из введения, 5 глав, основных вы-

водов и приложения. Список использованной литературы включает 109 источников, в том числе 45 иностранных. Работа содержит 18 таблиц, 40 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Древесина – основной строительный материал Европейского Севера. Факторы, определяющие долговечность построек

Древесина – старейший строительный материал, известный своими высокими прочностными характеристиками, легкостью обработки, хорошими звуко- и теплозащитными свойствами. Достоинством является и тот факт, что в отличие от других строительных материалов древесина относится к возобновляемым ресурсам. Скорость и степень ее деградации при эксплуатации под открытым небом определяются целым рядом факторов, таких как параметры окружающей среды, качество древесины, степень надежности защитной обработки, частота и объем проводимых ремонтных работ и т.д. Согласно стандарту ISO 6421 (ISO, 1984), факторы окружающей среды, разрушающие древесину при эксплуатации, подразделяются на термические, механические, химические, биологические, электромагнитные.

Сведения об изменении механических свойств древесины при длительной эксплуатации достаточно противоречивы. Большинство исследователей считают, что с течением времени прочность древесины значительно снижается под влиянием длительных нагрузок при циклических изменениях температуры и влажности (Hearman, Paton, 1964; Gerhards, 1977; Ugolev, Skuratov, 1995; Eriksson, 1997; Уголев и др., 1997). Однако А.Шнивинд (Schniewind, 1967; Schniewind, Lyon, 1972) и ряд отечественных исследователей (Герентьев и др., 1988; Шаповалова, 1994) утверждают, что для элементов конструкций большого сечения это снижение не столь значимо.

Существует мнение, что происходящее при длительной эксплуатации упрочнение полимерной структуры древесины приводит к увеличению ряда прочностных показателей (Никитин, Ошкаев, 1992). К такому заключению пришли Т.Э.Кесккюлла (1985) при исследовании несущих балок из еловой древесины и Ю.А.Лобанов и Т.Б.Кабанова (1989), изучавшие конструктивные элементы из сосновой древесины после 270-летней эксплуатации. Эти выводы могут быть подвергнуты сомнению, так как они основаны на сравнении полученных данных с условными величинами прочности древесины в начальный момент, которые рассчитывались коевенно по плотности и содержанию поздней древесины.

Многочисленные исследования (Kaila et al., 1985; Paajanen, Viitanen, 1989; Варфоломеев, 1992; Naagenrud et al., 1998) подтверждают ведущую роль биологических агентов в снижении долговечности построек. При условиях, благоприятных для развития дереворазрушающих грибов и насекомых, деструкция древесины происходит достаточно быстро, в течение нескольких лет.

В условиях Европейского Севера наиболее распространенный и опасный тип разрушения, особенно хвойной древесины, – бурая деструктивная гниль (Вакин, 1980, Защита леса от вредителей и болезней, 1988; Paajanen, Viitanen, 1989), вызываемая настоящим домовым грибом (*Serpula lacrymans*), пленчатым домовым грибом (*Coniophora puteana* (Fr.)) и др. Другим дефектом, наиболее часто встречающимся в увлажняемых конструкциях, является умеренная гниль.

В процессе эксплуатации древесина разрушается также насекомыми-точильщиками (*Anobidae*), долгоносиками (*Curculionidae*) и др. Особенностью этих вредителей является их способность развиваться в относительно сухой древесине с влажностью 10–12% и обитать внутри древесины почти во всех фазах развития (Защита леса от вредителей и болезней, 1988).

Как показал анализ литературы, недостаточно изученной является динамика процессов, происходящих в древесине при длительной эксплуатации построек в условиях Европейского Севера.

### Глава 2. Объекты и методы исследования

Исследование химических и физико-механических свойств длительно эксплуатировавшейся древесины было проведено на примере Преображенской церкви (1714 г., остров Кижь, Карелия). Основной материал для строительства – древесина сосны (*Pinus sylvestris*). В диссертации приведена подробная характеристика объекта, включающая описание проведенных ремонтных работ.

Для исследований по всему периметру церкви на разных уровнях было отобрано 200 кернов древесины диаметром 5 мм, длиной от 100 до 200 мм.

Плотность древесины определялась методом рентгеновской денситометрии на сканирующем плотнотмере (Козлов, Филиппов, 1979). Одновременно подсчитывалось число годичных слоев в 1 см и процент поздней древесины.

Химический анализ древесины выполнялся по общепринятым методам (Практические работы по химии древесины, 1965) на кернах, поэтому полученные результаты относятся как к заболонной, так и к ядро-

вой древесине. При испытаниях определяли содержание: целлюлозы – азотнокислотным методом, лигнина – методом Класона в модификации Комарова и водорастворимых веществ.

Микологический анализ отобранных кернов древесины проводился методами "чистой культуры" и "влажной камеры" (Рипачек, 1967; Дудка, Вассер, 1982).

Полученные в процессе исследований данные обрабатывались методами вариационной статистики.

Влияние методов глубокой химической консервации на сохранность древесины памятников изучалось на примере Покровской церкви (1764 г., о.Кижь, Карелия), стены которой были обработаны панельным способом препаратом ПББ-211 (пентахлорфенолят натрия (ПХФН), бура, борная кислота в соотношении 2:1:1) в 1974-75 гг. (Горшин и др., 1992).

Содержание ПХФН в древесине определялось качественно – методом окрашивания и количественно – спектрометрическим методом (Горшин, Телятников, 1962). Анализ воздушной среды на содержание фенольных соединений проведен газохроматографическим методом согласно нормативным документам (Руководство по контролю загрязнений атмосферы..., 1991; Нормативные данные..., 1994).

Для исследования влияния условий эксплуатации на развитие биоповреждений были построены модельные крестообразные конструкции из сосновых бревен. Они были сконструированы таким образом, чтобы повреждение бревен происходило как можно быстрее. С 1993 по 1998 год эти постройки экспонировались на полигоне исследовательского центра VTT Building Technology (г.Эспоо, Финляндия). В течение всего испытательного периода измерялись температура воздуха и влажность древесины. После демонтажа конструкций для анализа биоповреждений из двух бревен каждой из девяти построек было выпилено по шесть срезов толщиной 15 мм (108 образцов). Оценивались как степень деструкции пораженной зоны по 5-балльной шкале, так и ее площадь.

Для этой цели был использован предложенный автором компьютерный способ определения площадей макрообразований (ядра, заболони, гнилей, сучков и т.д.). Он состоит в следующем:

1. Создается топограмма дефектов образца на прозрачной пленке. Границы исследуемых зон обводятся различными цветами, которые подбираются таким образом, чтобы после сканирования изображения контуры каждой из исследуемых зон можно было бы последовательно исключать, используя цветные фильтры. Экспериментальным путем были определены оптимальные цвета для выделения зон различного происхождения – красный, зеленый и синий, так как фильтрацию проще

всего производить в программе Adobe Photoshop по одному из данных цветов в отдельности.

2. Изображение сканируется и обрабатывается с использованием программы Adobe PhotoShop ver.5.0. Создается необходимое число рэплик (по одной для каждой зоны), затем путем наложения цветового фильтра выбираются только зоны одного происхождения, остальные при этом игнорируются. Площадь выделенной зоны закрашивается черным цветом. При этом программа позволяет получить в численном виде соотношение между площадью выделенной зоны и общей площадью отсканированного изображения.

Этот способ позволил значительно ускорить процедуру анализа и повысить точность эксперимента.

Моделирование процессов биоразрушения проводилось с использованием методов регрессионного анализа.

Система мониторинга состояния деревянных памятников была разработана и апробирована на Преображенской церкви.

Общая оценка состояния деревянных конструкций с целью определения их сохранности, степени и причин биологического разрушения выполнялась согласно имеющимся методическим разработкам (Highley, Schaeffer, 1989; Методические рекомендации, 1992). Видовой состав дереворазрушающих грибов определялся по стандартным методикам (Рипачек, 1967; Дудка, Вассер, 1982).

Контроль температуры и влажности воздуха проводился при помощи системы автоматической регистрации Smart Reader 2 Temperature and Humidity Logger (ACR System Inc., Canada) с 1996 по 1998 год, измерения проводились круглогодично, с периодичностью 1 час.

Для измерения влажности древесины использовались портативные влагомеры RDM-2S (DELMHORST, USA); Hydrotest 6500, (TESTOTERM, Germany) кондуктометрического типа с игольчатыми электродами, которые устанавливались в контролируемых зонах на глубине 2 см. Постоянный контроль влажности древесины проводился в 1995–1997 гг. по 15 точкам, в 1998 году – по 34 точкам. Измерения осуществлялись через день в течение мая–октября. Было выполнено более 5000 измерений.

Активность дереворазрушающих грибов оценивалась по следующей методике. В контролируемой зоне высверливался возрастным буром канал глубиной до 150 мм, диаметром 5 мм. В него вставлялся образец контрольной древесины несколько меньшего диаметра, отверстие закрывалось герметиком. По окончании сезона активности грибов образец извлекался, помещался в герметичный пенал и доставлялся в

лабораторию, где определялась влажность образца и потеря массы, записывалась денситограмма ядра и проводился его микологический анализ методом влажной камеры.

### Глава 3. Изменение свойств древесины при длительной эксплуатации в условиях Европейского Севера

Комплексный процесс изменения структуры, химического состава и свойств под воздействием факторов окружающей среды в течение длительного времени, измеряемого годами и столетиями, принято называть старением древесины (Фенгел, Вегенер, 1988). Наиболее изучена так называемая ископаемая древесина "возрастом" в несколько тысяч лет, образующаяся в процессе медленного старения. Исследованию же свойств 200–300-летней древесины посвящены лишь разрозненные статьи (Терентьев и др., 1989; Шаповалова, 1994; Гусев, 1999).

Степень изменения свойств древесины определяется длительностью хранения и окружающими условиями. Наибольшее влияние оказывают параметры окружающей среды (температура, влажность, присутствие агрессивных агентов) и степень их стабильности, величина и характер механических нагрузок, биоповреждения.

Считается, что в относительно "молодой" древесине (возрастом до тысячи лет) при отсутствии биоповреждений не происходит значительных изменений в структуре клеточных стенок. С увеличением степени деградации увеличивается способность древесины к набуханию и ухудшаются механические свойства.

#### 3.1 Изменение химического состава древесины.

Проведенный анализ древесины, подтвердил тот факт, что под влиянием климатических факторов в ней происходят определенные изменения химического состава. Они затрагивают как структурные (целлюлоза, лигнин), так и низкомолекулярные компоненты древесины (экстрактивные, минеральные вещества) (табл. 1).

Лигнин является наиболее устойчивым компонентом древесины. Пониженное по сравнению с растущими деревьями содержание целлюлозы (45,8% по сравнению с 49,4%) объясняется разрушением ее макромолекул с образованием водорастворимых веществ – сахаров, кислот и др. Подобное снижение содержания целлюлозы наблюдается и для древесины сухостойных деревьев, которые могут выступать в качестве своеобразного модельного объекта для целей данного исследования – с 45,1% после 1 года усыхания до 39,3% после 100 лет (Матюшкина, Агеева, 1978).

Химический состав древесины различного происхождения

Происхождение образца	СОДЕРЖАНИЕ, %			
	Лигнин	Целлюлоза	Пентозаны	В-ва, растворимые в горячей воде
Преображенская церковь	26,0	45,8	8,4	3,33
Растущие деревья	27,1	49,4	9,8	3,10
Сухостойные деревья *	25,4	39,3		

\*по данным Матюшкиной, Агеевой, 1978

Быстро разрушаются также и легкорастворимые гемицеллюлозы – количество пентозанов составило 8,4%, а легкогидролизуемых веществ – 18 %. Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что в процессе старения превращения начинаются с разрушения легкорастворимых полиоз (Фенгел, Вегенер, 1983; Пищик, 1997).

Изменение химического состава древесины после длительной эксплуатации дает основание предполагать, что ее механическая прочность имеет тенденцию к уменьшению.

#### 3.2 Изменение механических свойств древесины

При обследовании архитектурных памятников возможности отбора проб древесины для испытаний по стандартным методикам ограничены. В связи с этим была предпринята попытка оценить прочность древесины по такому показателю, как плотность, которую можно определить неразрушающим методом.

Плотность древесины сосны для Южной Карелии составляет 450–550 кг/м<sup>3</sup> при 12% влажности (Боровиков, Уголев, 1989; Полубояринов, 1997). Это совпадает и с нашими данными по Преображенской церкви, которые приведены в таблице 2.

Зачастую хорошую сохранность памятников деревянного зодчества объясняют использованием в постройках только высококачественной специально отобранной древесины (Горшин и др., 1992; Alsvik, 1998; Шаповалова, Вешняков, 1998; Гусев, 1999). Однако полученные данные не подтверждают это утверждение.

Более половины образцов имело плотность 430–490 кг/м<sup>3</sup> и от 6 до 14 годичных слоев на 1 см, и только 20% были представлены узкослойной древесиной с количеством годовых слоев в 1 см более 18. Анализ

результатов позволяют сказать, что узкослойная древесина ( $n = 17$  год.сл./см) с высокой плотностью ( $\rho_{12} = 525 \text{ кг/м}^3$ ) использовалась лишь для нижних венцов строения. Основной объем храма построен из древесины со средней плотностью  $440 \text{ кг/м}^3$ , причем разброс значений плотности здоровой древесины, начиная с отметки 3.10 м до отметки 22.4м, практически отсутствует. Для верхних восьмериков использовалась широкослойная древесина ( $n = 5$  год.сл./см) с пониженной плотностью ( $\rho_{12} = 396 \text{ кг/м}^3$ ).

Выявленные закономерности указывают на экономное использование строительного материала. При этом достигалось уменьшение нагрузки на нижние венцы от собственного веса конструкции, использование более прочной древесины в наиболее нагруженных зонах и упрощение процессов строительства. Первые два условия невольно наталкивают на мысль о том, что создатели храма учитывали принципы строительной архитектоники растущего дерева, в котором наиболее нагруженная комлевая часть имеет большую плотность.

Для расчета механических характеристик древесины были использованы регрессионные уравнения пересчета, предложенные Ю.А.Лобановым и Т.Б.Кабановой (Лобанов, Кабанова, 1989) для древесины Преображенской церкви.

Наиболее важной характеристикой для срубовых конструкций является предел прочности при сжатии поперек волокон, который составил 3,5 МПа. Предел прочности при сжатии вдоль волокон, являющийся наиболее представительной характеристикой древесины, практически совпадает со значением, приведенным в СНиП 11-25-80, и составляет 43,7 МПа.

Обращает на себя внимание различие значений прочности древесины внутренних элементов и конструкций, находящихся под непосредственным действием факторов окружающей среды. Для древесины наружных конструкций прочность при сжатии вдоль волокон была в среднем на 17% ниже значений, полученных для образцов древесины, отобранных внутри здания. Влияние условий эксплуатации наиболее существенно для нижних, наиболее нагруженных венцов церкви – здесь разница между показателями в среднем 17,5%, тогда как для верхних венцов она составляет 10%.

При проведении реставрационных работ необходима оперативная информация по каждому элементу конструкции для определения его дальнейшей пригодности. Именно поэтому в последнее время все большее внимание уделяется разработке неразрушающих методов контроля.

Таблица 2

Физические свойства древесины

Уровень над фундаментом, м	Кол-во образцов	Плотность, кг/м <sup>3</sup>				Годичный слой в 1 см				Доля годичной древесины, %						
		$\rho_{cp}$	$S_x$	$S_j$	$V, \%$	$\rho_j$	$\rho_{cp}$	$S_x$	$S_j$	$V, \%$	$\rho_j$	$S_x$	$S_j$	$V, \%$	$\rho_j$	
0,20	6	525	28,8	1,3	5,5	0,2	17,0	3,7	1,5	22,0	9,3	20,0	1,1	2,0	20,0	5,7
3,10	19	450	40,5	9,3	9,0	2,1	10,1	4,9	1,1	48,0	11,5	22,0	1,9	2,1	37,0	9,0
6,10	19	428	42,9	9,8	10,0	2,4	11,4	6,0	1,4	53,0	12,6	25,0	2,3	1,1	32,0	9,5
8,80	23	439	42,2	8,8	9,6	2,1	13,2	4,7	1,0	35,6	7,7	23,0	1,5	1,5	21,7	6,8
11,60	20	440	34,7	7,8	7,9	1,8	12,2	5,3	1,2	43,7	10,2	25,0	2,7	1,4	27,7	11,2
14,90	16	432	25,6	6,4	5,9	1,5	11,9	3,2	0,8	26,8	7,0	27,0	2,0	1,3	25,6	7,7
18,60	16	461	56,2	14,1	12,2	3,2	12,1	5,7	1,4	46,8	12,2	25,0	1,5	1,2	26,3	6,2
19,80	16	447	20,8	5,2	4,6	1,2	13,3	5,2	1,3	39,0	10,1	24,0	1,4	1,1	29,1	6,1
22,40	8	396	19,6	6,9	5,0	1,8	5,1	1,7	0,6	32,6	12,0	22,0	1,2	0,9	27,1	5,7
Всего	139	443					12,0					23,7				

Примечание.  $\rho_{cp}$  – среднее значение,  $S_x$  – среднее квадратическое отклонение,  $S_j$  – средняя ошибка среднего арифметического,  $V$  – коэффициент вариации,  $\rho_j$  – относительная точность определения среднего арифметического.

В диссертации приведен сравнительный анализ гвоздевого метода (Прочностные и упругие характеристики., 1992), огнестрельного метода Кашкарова (Отрешко, 1957) и метода гамма-дефектоскопии (Никитин, Ошкаев, 1992), применявшихся в последнее десятилетие для оценки состояния деревянных конструкций Преображенской церкви.

Данные, полученные первыми двумя упомянутыми методами, хорошо согласуются с показателями, полученными при испытаниях по стандартным методикам. Однако они не позволяют выявлять внутренние дефекты и имеют ряд ограничений в применении. Учитывая целый ряд преимуществ, которые дает метод гамма-дефектоскопии, – экспрессность, простота, неразрушающий характер, высокая воспроизводимость результатов, следует считать его достаточно полезным для периодического контроля состояния древесины. Полученные результаты в сочетании с данными других методов оценки качества древесины могут применяться для принятия решений при ремонтных и реставрационных работах.

Использованный в наших исследованиях метод анализа физико-механических характеристик древесины по кернам позволил оценить сохранность древесины без отбора больших образцов. Полученные данные позволяют утверждать, что не поврежденная дереворазрушающими грибами древесина, сохранила свои прочностные качества и может эксплуатироваться еще довольно продолжительное время.

#### Глава 4. Дефекты древесины архитектурных памятников

Всякого рода несовершенства древесины, ограничивающие возможность ее использования как конструкционного, поделочного материала и сырья, принято называть пороками древесины. Такого же рода недостатки (гнили, окраски, трещины, червоточины) присущи эксплуатирующейся в изделиях и сооружениях древесине. Поэтому можно несколько условно выделить эту группу недостатков, назвав их дефектами древесины. Именно такого рода несовершенства древесины будут рассмотрены при дальнейшем изложении. Появление и развитие дефектов зависят от способов и степени защищенности древесины и условий эксплуатации.

##### 4.1 Дефекты длительно эксплуатируемой древесины

Типичными дефектами длительно эксплуатируемой древесины являются трещины. 90% из них имеют глубину 2–4 см и лишь 10% трещин имеют глубину более 1/10 толщины бревна. Характерно, что в основном повреждена верхняя часть бревна. Появление этих трещин обу-

словливается внутренними напряжениями, нарушающими целостность древесины в плоскости наименьшего сопротивления – по сердцевинным лучам. Попадающая в трещины вода, замерзая, также вносит свой вклад в процессы разрушения древесины вследствие изменения температурно-влажностного состояния древесины.

Главную роль в повреждении древесины играют биологические агенты – дереворазрушающие грибы и насекомые.

Проведенное микологическое обследование выявило развитие очага настоящего домового гриба *Serpula lacrimans*, одного из наиболее опасных разрушителей древесины, и пленчатого гриба *Coniophora puteana*. Также были обнаружены гифы плесневых грибов из родов *Penicillium* и *Trichoderma*, которые, не являясь прямыми разрушителями древесины, при благоприятных условиях подготавливают среду для поселения и дальнейшего развития дереворазрушающих грибов.

До 90% выявленных разрушений древесины приходится на внешние элементы конструкции. Большею частью это мягкая гниль, которая затрагивает лишь заболонные слои древесины, что не может существенно повлиять на несущую способность элементов в целом.

В основном поражение дереворазрушающими грибами возникает в тех местах, где древесина периодически увлажняется (под окнами, в местах соединений). В 30–50-годы вследствие нарушений системы вентиляции и водоотведения под тесовой обшивкой церкви создавались условия (повышенная влажность и оптимальная температура), благоприятные для развития деревонасеяющих грибов. Этим и объясняется значительная деструкция заболони. После снятия обшивки за счет интенсивной аэрации конструкции произошло высыхание поврежденных участков и снижение активности грибов.

Значительное участие в разрушении деревянных конструкций церкви принимают насекомые, в частности северный точильщик *Hadrobregmus (Anobium) confusus*, следы прошлой деятельности которого отчетливо видны на наружной поверхности большинства бревен. Развитие этого вредителя активно продолжается и в настоящее время.

##### 4.2 Дефекты, возникшие после химической консервации длительно эксплуатируемой древесины

В течение долгого времени считалось, что только химическая защита способна обеспечить длительный срок эксплуатации памятников деревянного зодчества. Поэтому методы консервации широко использовались в 60–80-е годы во многих музеях (Горшин, 1985; Горшин и др., 1992).

После окончания панельной пропитки, при которой в древесину вво-

дилось большое количество воды, снимали ограждающую пленку, и далее следовала интенсивная сушка древесины. Так как влага в древесине была распределена неравномерно, возникали внутренние напряжения, которые приводили к расширению старых и появлению новых трещин. Бревна южных панелей, нагрев которых происходит более интенсивно, повреждены в большей степени, чем северные фасады. Глубина и ширина трещин пропитанных бревен оказалась в два раза больше, чем непропитанных, и составила  $9,65 \pm 0,50$  см и  $2,10 \pm 0,10$  см соответственно. Это свидетельствует о значительных внутренних напряжениях, возникших в процессе сушки пропитанной древесины.

Из-за изменения химического состава и ультраструктуры обработанной древесины (Минина и др., 1980) процессы ее увлажнения и сушки протекают по-разному. Показано, что для древесины, подвергнутой глубокой консервации, характерны большая влагоинерционная способность при изменениях состояния внешней среды.

Химический анализ выявил наличие антисептика в древесине Покровской церкви спустя 24 года после консервирования. Содержание ПХФН составляет до  $10 \text{ кг/м}^3$ , глубина проникновения достигает 3 см.

Несмотря на проведенную глубокую консервацию древесины, повышенная влажность на чердаке церкви обусловила развитие несовершенных и сумчатых грибов, вызывающих серую смешанную гниль. В 1995 году в подклете Покровской церкви было выявлено развитие настоящего домового гриба (*Serpula lacrymans*).

Обследование помещений церкви выявило, что содержание фенольных соединений превышало среднесуточные ПДК. В непосредственной близости от стен их уровень превысил ПДК для разовых выбросов  $0,01 \text{ г/м}^3$ .

Таким образом, можно заключить, что глубокая химическая консервация привела к дополнительным нарушениям целостности древесины, не обеспечила надежной защиты от биоповреждений и создала неблагоприятную экологическую обстановку.

## Глава 5. Мониторинг памятников деревянного зодчества

### 5.1 Основные принципы

По решению заседания Комитета по Всемирному наследию ЮНЕСКО странам-участницам Конвенции по защите культурного наследия необходимо разработать и внедрить в практику систему мониторинга объектов всемирного культурного наследия. Разумеется, постоянный контроль позволяет продлить срок службы любого памятника.

Можно выделить несколько этапов системы мониторинга (рис. 1). В него входят способы контроля состояния объекта в целом и каждого элемента в частности; он также должен служить основой для проведения своевременных ремонтных работ, предотвращающих развитие существующих очагов повреждения. Для каждого региона должна существовать своя специальная система контроля, направленная на обнаружение новых и слежение за динамикой развития старых очагов повреждений и их ликвидацию, учитывающая особенности самих памятников и условия их эксплуатации.

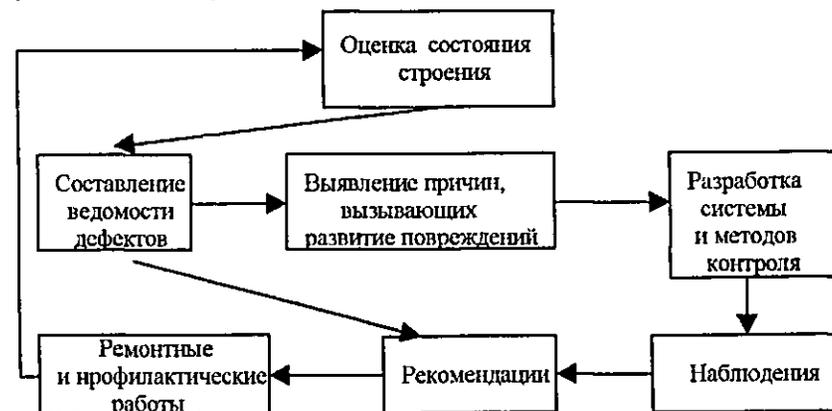


Рис. 1. Схема этапов системы мониторинга состояния памятника

Особенностью деревянных памятников является то, что они построены из сравнительно недолговечного материала, подверженного процессам старения, деструкции под воздействием факторов окружающей среды и биологическому разрушению. Для Европейского Севера (Карелия, Архангельская обл., Финляндия, Норвегия) основными разрушителями являются грибы и насекомые (Горшин и др., 1992; Mattsson, 1995; Kaila et al., 1985; Paajanen, Viitanen, 1989). Поэтому для этих объектов задачей мониторинга на ближайшую и долговременную перспективу должно стать предотвращение возможности развития биоповреждений как основного фактора, снижающего срок эксплуатации сооружений.

### 5.2 Влияние условий эксплуатации на развитие биоповреждений

Для изучения влияния таких факторов, как качество древесины и условия эксплуатации, на развитие биоповреждений был поставлен опыт

с модельными постройками (глава 2).

После 5-летней экспозиции под открытым небом синевой было повреждено 92% проанализированных образцов, в том числе 38% в значительной степени, 21% образцов был поврежден бурой деструктивной гнилью, развитие мягкой гнили не было зафиксировано.

Корреляционный анализ показал, что степень повреждения образцов синевой тесно связана со средней за период наблюдений влажностью древесины (коэффициент корреляции 0,86). При влажности меньше 20% развития синевы не происходило. Степень поражения образцов линейно зависела от длительности экспозиции при благоприятных для развития биоповреждений условиях (коэффициент корреляции 0,78). Не удалось обнаружить статистически значимой связи между долей заболонной древесины и степенью повреждения синевой.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что контролируемые параметрами при мониторинге развития биоповреждений деревянных построек могут являться влажность древесины и параметры, характеризующие микроклимат постройки, – температура и влажность воздуха.

### 5.3 Опыт организации мониторинга памятников деревянного зодчества

Система мониторинга была разработана для церкви Преображения, памятника, включенного в составе Кижского архитектурного ансамбля в Список Всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО и в Государственный свод особо ценных объектов культурного наследия народов Российской Федерации.

На первом этапе организации системы мониторинга была создана база данных (БД), аккумулирующая и систематизирующая результаты всех исследований, проведенных за последние 30 лет на памятнике, которая позволила проанализировать изменения, произошедшие после проведенных ремонтов, избежать возможности дублирования и составить наиболее полную картину состояния памятника.

Она содержит более 10 000 записей, характеризующих каждый элемент конструкции, и включает в себя данные о механической прочности, плотности, дефектах, ослабляющих сечению бревна, поражении биологическими агентами.

Анализ материалов созданной БД позволил опровергнуть существовавшее мнение о катастрофическом состоянии древесины Преображенской церкви и показал, что при органолептических оценках происходит завышение реального уровня разрушения строения, поскольку в резуль-

тате деятельности дереворазрушающих грибов и насекомых повреждаются в основном внешние (заболонные) слои древесины. В целом древесина памятника сохранила свои прочностные характеристики.

Основной причиной разрушения древесины является биопоражение. Составленные картограммы дефектов позволили оценить его вид и степень. Ряд элементов конструкции были разрушены в значительной степени настоящим домовым грибом *Serpula lacrymans* и северным точильщиком *Hadrobregmus confusus*. Было проведено удаление этих элементов, представляющих источник заражения.

В ряде зон был выявлен мицелий малого домового гриба *Serpula minor*, пленчатого домового гриба *Coniophora puteana* и плесневых грибов из родов *Penicillium* и *Trichoderma*. Необоснованная замена исторического материала памятника недопустима, поэтому необходимо было оценить активность процессов биоповреждения.

Как было показано, основными факторами, определяющими развитие дереворазрушающих грибов, являются температура и влажность субстрата, а также время экспозиции. Поэтому на следующем этапе оценивался микроклимат постройки, определяемый климатом данной местности, условиями эксплуатации и типом конструкции.

Территория о.Кизи в соответствии со СНиП 2.01.01-82 относится к климатическому району IVB и отличается более мягким климатом по сравнению с соседними, в том числе и более южными районами Карелии. Климат рассматриваемой территории умеренно-континентальный, влажный.

Период наблюдений характеризовался относительно теплой погодой – превышение среднесезонной температуры составило 26–45%, в то же время различия в количестве выпавших осадков были более существенными. Так, в 1997 году осадков выпало на 52% меньше, а в 1998 году – на 75% больше нормы.

Внутренний микроклимат характеризуется однородностью наблюдаемых параметров – значения температуры и влажности воздуха на разных уровнях по высоте здания оказались достаточно близкими: различие по влажности составило 5%, по температуре 1–5°C. Анализ временных рядов показал, что имеется лаг в 2 и 4 часа, т.е. значения температуры воздуха в помещении запаздывают по отношению к соответствующим значениям на улице на 4 часа, а влажности воздуха – на 2 часа.

Мониторинг температуры и влажности воздуха позволил рассчитать равновесную влажность древесины. Среднемесячные значения для наружных конструкций в 1995-97 гг. составили 9-15%, а в 1998 году – 5-30%.

Вне зависимости от погодных условий, равновесная влажность древесины, эксплуатирующейся в здании церкви, была на 6–10% выше соответствующего показателя для наружных конструкций.

В зонах, в которых был выявлен мицелий дереворазрушающих грибов, а также в зонах повышенной влажности древесины были установлены датчики. Помимо этого трижды за сезон проводилось измерение влажности древесины основных конструкций церкви. Было выявлено, что для церкви характерна достаточно большая вариация влажности по отдельным бревнам от 7 до 50–60%. Наблюдается уменьшение влажности снизу вверх по всем панелям строения, типичное для деревянных сооружений. Влажность древесины в весенний период выше, чем летом. Все контролируемые зоны можно разделить на 3 категории:

- первая – влажность древесины изменяется от 10 до 18 %,
- вторая – влажность древесины 10–24 %, а осенью до 30%,
- третья – влажность древесины 24–55%.

Характер изменения влажности древесины для всех зон оставался постоянным в течение всего периода наблюдений (рис.2).

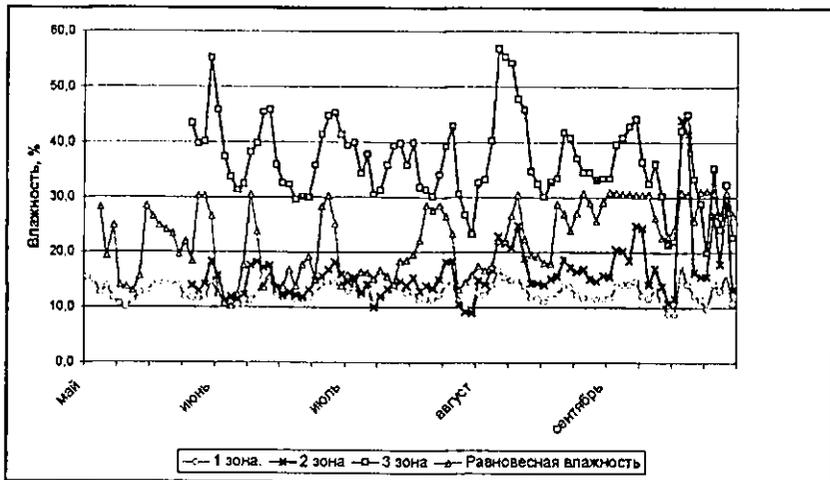


Рис. 2. Динамика влажности древесины различных зон церкви.

Зоны первой категории по степени риска развития дереворазрушающих грибов могут быть охарактеризованы как безопасные. В зонах второй категории возможно развитие настоящего домового гриба *S. lacrymans* при температуре выше 15 °С. Условия, создающиеся в зонах,

относящейся к третьей категории, являются оптимальными для развития *S. lacrymans* в температурном диапазоне 15–22 °С и *C. puteana* при температурах свыше 20 °С.

Влажность древесины 3-й зоны всегда выше предела гигроскопичности и вызвана поглощением воды из почвы или ее поступлением в результате протечек. Было рекомендовано установить гидроизоляцию окон и удалить грунт из подклета церкви. Эти меры способствовали снижению влажности древесины и созданию условий, неблагоприятных для развития домовых грибов, что позволило избежать замены исторического материала.

В тех зонах с повышенной влажностью древесины, где был выявлен мицелий деревонасееляющих грибов, проводилось дополнительное исследование активности процессов биоразрушения по предложенной оригинальной методике (глава 2).

За период наблюдений изменение массы образцов-свидетелей не превысило 1%, в то время как в контрольных опытах она снизилась за тот же период на 4%, что является доказательством незначительной активности грибов для большинства исследованных элементов конструкции. Результаты микологического анализа подтвердили данные весового метода – лишь на отдельных образцах была зафиксирована первая стадия деструкции клеточных стенок гифами базидомицетов.

Мониторинг позволил оценить степень сохранности древесины, условия эксплуатации и микроклимат строения. Полученная информация использована при составлении концепции сохранения и реставрации Преображенской церкви, разрабатываемой по заданию Министерства культуры Российской Федерации.

#### Основные выводы

1. Результаты проведенных исследований показали, что в древесине после длительной эксплуатации происходят изменения ее химического состава, затрагивающие как структурные (целлюлоза, лигнин), так и низкомолекулярные компоненты (экстрактивные, минеральные вещества). При этом лигнин оказался наиболее устойчивым компонентом, а содержание целлюлозы несколько снизилось вследствие разрушения ее макромолекул и образования водорастворимых веществ.

2. Плотность неповрежденной древесины сруба достаточно высока (440 кг/м<sup>3</sup>), что соответствует нормативной плотности древесины сосны для Южной Карелии и свидетельствует о сохранившейся в достаточной мере прочности основного материала. Древесина памятника имеет значительные вариации по средней ширине годичных слоев: их

число на 1 см изменяется от 3 до 30, что служит подтверждением отсутствия специального отбора материала при строительстве. Содержание поздней древесины составляет 25%, что соответствует стандартному показателю.

3. На основании проведенных исследований было установлено, что узкослойная древесина ( $n = 17$  год.сл./см) с высокой плотностью ( $\rho_{12} = 525$  кг/м<sup>3</sup>) использовалась лишь для нижних венцов строения, основной объем храма построен из древесины со средней плотностью 440 кг/м<sup>3</sup>, а для верхних восьмериков использовалась широкослойная древесина ( $n = 5$  год.сл./см) с пониженной плотностью ( $\rho_{12} = 396$  кг/м<sup>3</sup>). Выявленные закономерности указывают на экономное использование строительного материала. При этом достигалось уменьшение нагрузки от собственного веса конструкции на нижние венцы, использование более прочной древесины в наиболее нагруженных зонах и упрощение технологии строительства.

4. Установлено, что для длительно эксплуатировавшейся древесины наиболее характерными дефектами являются гнили. Подтверждена высокая инфицированность объектов различными видами дереворазрушающих грибов, вызванная нарушениями правил эксплуатации строений в 40–60-е годы пынешнего века. Кроме того, в разрушенных деревянных конструкциях памятников музея "Кижи" принимают участие насекомые, в частности домовый точильщик - *Hadrobregmus (Anobium) pertinax* (L). Развитие этого вредителя активно продолжается и в настоящее время.

5. Проведенные модельные эксперименты показали, что на первой стадии развития биоповреждения происходит заселение древесины грибами синевы, которые подготавливают среду для поселения дереворазрушающих грибов. Степень повреждения образцов синевой тесно связана со средней за период наблюдений влажностью древесины и длительностью экспозиции при благоприятных для развития биоповреждений условиях. Вопреки высказываемым предположениям не удалось обнаружить статистически значимой связи между долей заболонной древесины и степенью повреждения синевой. Предложенный в процессе исследований компьютерный способ определения площадей может быть использован не только для оценки состояния древесины памятников, но и для решения широкого круга задач, связанных с дефектоскопией древесины, оценкой качества лесоматериалов и др.

6. Результаты исследования древесины памятников, которая для защиты от биоповреждений была пропитана более 20 лет назад огнебиозащитным препаратом ПББ-211, показали, что содержание ПХФН в

древесине составляет в настоящее время 10 кг/м<sup>3</sup>. Глубокая пропитка вызвала разрушения ультраструктуры древесины, не оказалась надежной защитой от биоповреждения и создала неблагоприятную экологическую обстановку.

7. Для памятников деревянного зодчества Европейского Севера задачей мониторинга на ближайшую и долговременную перспективу должно быть предотвращение возможности развития биоповреждений как основного фактора, снижающего их долговечность. Система мониторинга состояния древесины Преображенской церкви (о.Кижи, Карелия), созданная в процессе выполнения работы, позволила оценить степень сохранности древесины и микроклимат строения. Было выявлено, что для древесины памятника характерна достаточно большая вариация влажности (от 7 до 50–60%), причем зоны повышенной влажности сохранялись в течение всего периода наблюдений. Разработанная методика оценки активности процессов биоповреждения позволила сделать вывод о том, что жизнедеятельность грибов в настоящее время практически отсутствует.

Полученная информация была использована при составлении концепции сохранения и реставрации Преображенской церкви, разрабатываемой по заданию Министерства культуры Российской Федерации.

#### Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Козлов В.А., Крутов В.И., Кистерная М.В. Методические основы оценки состояния древесины Преображенской церкви в музее-заповеднике "Кижи" // Строение, свойства и качество древесины: Тез. докл 11 Междунар. симпоз., М., 1996. С.101–102.

2. Козлов В.А., Крутов В.И., Кистерная М.В., Вахрамеева Т.И. Методические основы оценки состояния древесины Преображенской церкви в музее-заповеднике "Кижи" // М.В.Ломоносов и национальное наследие России: Тез.докл. междунар. науч. конф. Ч. 3. Архангельск, 1996. С. 99-100

3. Kistrnaja M., Kozlov V., Krutov V. Estimate of Condition of the Timbers in the Church of The Transfiguration on Kizhi // Proceedings of Workshop and Conference on Board M/S Andropov, Sept. 1997, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, USA, P. 28

4. Козлов В.А., Крутов В.И., Кистерная М.В. Методические основы оценки состояния древесины Преображенской церкви в музее-заповеднике "Кижи" // Строение, свойства и качество древесины: Матер. 11 Междунар. симпоз., М., 1997. С. 307–312

5. Козлов В.А., Кистерная М.В. Приборный контроль за состоянием древесины на памятниках архитектуры // Народное зодчество: Межвузовский сб., Петрозаводск, 1998. С. 271–273.

6. Kozlov V.A., Krutov V.I., Kisternaja M.V. Problems of protecting wooden monuments in the Kizhi museum // Proc. of the 3rd Nordic Symp. on Insect Pest Control in Museums, 24-25.09.98, PRE-MAL and INCOM, Stockholm, 1998. P. 146–158.

7. Kozlov V., Kisternaja M. Instrumental evaluation of wood quality of World Architectural Monuments // 4th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments ISMTI'98, Miskolc, Hungary, 1998. P.386–392

8. Kozlov V., Krutov V., Kisternaja M., Vakchrameeva T. Russian - Norwegian collaboration in wooden architectural monuments preservation (Preobrazhenskaya Church at Kizhi open-air museum as the example) // Proceedings of the Scientific Conference "Karelia and Norway: the main trends and prospects of scientific cooperation" 28.05-31.05.97 Petrozavodsk, Petrozavodsk, 1998. P.109-112

9. Козлов В.А., Кистерная М.В., Крутов В.И. Состояние древесины Преображенской церкви музея-заповедника "Кижь" // Труды КарНЦ РАН, Сер. Б "Биогеография Карелии", вып. 1, Петрозаводск, 1999. С.131-140.

10. Козлов В.А., Кистерная М.В., Луговой Д.Д. Проблемы сохранения памятников музея-заповедника "Кижь" (древесиноведческие аспекты) // Тр. междунар. симпоз. "Актуальные проблемы исследования и спасения памятников деревянного зодчества России". СПб., 1999. С. 113–118.

11. Козлов В.А., Кистерная М.В. Актуальные проблемы сохранения памятников деревянного зодчества // Важнейшие результаты научных исследований Карельского научного центра Российской академии наук (1994–1999). Тез. докл. юбилейной науч. конф. КНЦ РАН, посв. 275-летию РАН. Петрозаводск, 1999. С. 28–29.

12. Кистерная М.В. Методика организации мониторинга деревянных строений. // Инф. листок Кар. ЦНТИ № 74-49, серия Р 13.61.25. Петрозаводск, 1999. 4 с.

Сдано в производство 25.01.2000. Формат 60x84/16.  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,4. Усл. печ. л. 1,4.  
Изд. № 4. Заказ № 138. Тираж 100 экз.

Карельский научный центр РАН  
Редакционно-издательский отдел  
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50