

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 624.154.2

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.86

### ХИМИКО-МИКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

*Е. Н. Покровская*<sup>1</sup>, *Ю. Л. Ковальчук*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный строительный университет,  
Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26  
E-mail: elenapokrovskaya@bk.ru

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции РАН,  
Российская Федерация, 119071, Москва, Ленинский проспект, 33  
E-mail: jlkovalchuk@gambler.ru

*Рассмотрены механизмы биоразрушения древесины, изученные микологическим и физико-химическими методами, приведены виды биоразрушающих грибов. Показаны результаты химического и микологического исследования древесины.*

**Ключевые слова:** *древесина; долговечность древесины; биоразрушающие грибы; лигнин; целлюлоза.*

**Введение.** Древесина традиционно остаётся одним из наиболее востребованных материалов в строительстве. В настоящее время значительно увеличился объём деревянного домостроения в России, Японии, Канаде и др. Памятники деревянного зодчества до сих пор удивляют изяществом и новизной архитектуры и являются объектами всемирного наследия. Особенно много памятников деревянного зодчества в России. Для сохранения во времени зданий и сооружений из древесины при эксплуатации необходимо периодически проводить обследование конструкций. При реставрации частично разрушенных конструкций необходимо определять степень

их сохранности и обоснованно прогнозировать их долговечность. Результаты современных исследований отечественных и зарубежных учёных, проведённые методами физических анализов (ИК-спектроскопии и др.), и кинетические расчёты показывают, что долговечность древесины определяется неизменностью сохранения структуры лигно-углеводного комплекса (ЛУК) [1–3]. При этом не учитывалась степень воздействия биологического фактора. Химико-микологический метод исследования наряду с физико-механическими методами позволяет более полно изучить процессы разрушения и сохранности древесины.

© Покровская Е. Н., Ковальчук Ю. Л., 2017.

**Для цитирования:** Покровская Е. Н., Ковальчук Ю. Л. Химико-микологический метод исследования древесины // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 1 (33). С. 86–92. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.86

**Цель работы** – разработка химико-микологического метода исследования древесины для определения степени сохранности памятников деревянного зодчества и обоснованного прогнозирования их долговечности.

Основным компонентом полимерного композита древесины является лигно-углеводный комплекс. Целлюлоза и лигнин объединены в пространственную полимерную структуру, содержащую реакционно-способные гидроксильные группы. Сохранение прочности древесины определяется неизменностью химического состава и строения ЛУК.

Наличие в древесине органических углеродсодержащих полимеров обуславливает подверженность деревянных конструкций и изделий из древесины биокоррозии. В присутствии биоразрушающих грибов происходит разрушение древесины, которое увеличивается при влажности древесины более 18 % [4]. Для обоснованного определения долговечности конструкций, содержащих жизнеспособные споры (ЖС) биоразрушающих грибов, необходимо контролировать химическими анализами изменение целлюлозы и лигнина (компонентов ЛУК), а также изменение структуры древесины методом электронной микроскопии.

**Объекты и методики исследований.** Мы располагали образцами древесины из Кремля Ростова Великого, музея Кижского дома на Малом Власьевском переулке г. Москвы. Длительность эксплуатации зданий и сооружений этих объектов 100, 150, 350, 400 и 1000 лет. Имелись также образцы древесины свайных фундаментов Успенского собора Свято-Троицкой Сергиевой Лавры и свай Конюшенного двора Ростовского кремля; Никольского храма из деревни Лявля Архангельской области, деревянные балки пола Архиерейской гостиницы Серафимо-Дивеевского женского монастыря и др.

*Микологические исследования* проводили для определения вида биоразрушителей на образцах древесины и

количественного определения жизнеспособных спор методом прямого посева проб древесины на плотные агаровые питательные среды с последующим подсчетом количества жизнеспособных спор грибов на 1 см<sup>2</sup> и определением видового состава сообщества. Пробы древесины помещали на поверхность стерильного сушла-агара и среды Сабуро в чашки Петри и инкубировали при температуре 27 – 28 °С и относительной влажности 90 % в течение недели и больше. На тех пробах, где отмечался рост грибов и других микроорганизмов, выросшие культуры изучались при увеличении 20<sup>x</sup> под биноклем и при увеличении 630<sup>x</sup> под микроскопом. С этой целью готовились микологические препараты для исследования характера спорообразования изучаемых культур грибов. Кроме того, культуры плесневых грибов выращивали на жидкой питательной среде, содержащей минеральные составляющие (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub>, KCl, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) и сахарозу. Выделенные культуры поддерживали на среде Чапека-Докса. Определение видов грибов проводили по С.И. Ванину и Э.И. Мейеру \*, пользуясь рекомендациями, изложенными в работах [5, 6].

*Физико-химические исследования.* Химический анализ состава древесины проводили на содержание лигнина Классона методом Комарова, определение целлюлозы – по методу Кюршнера-Хеффера [7]. Методом ИК-спектроскопии определяли химические изменения компонентов ЛУК [8]. Строение древесины исследовали методом электронной микроскопии [9].

**Результаты и их обсуждение.** Результаты микологического анализа образцов древесины приведены в табл. 1.

---

\* Ванин С.И. Домовые грибы, их биология, диагностика и меры борьбы. Л., 1931. 112 с.

Мейер Э.И. Определитель деревоокрашивающих грибов. М.–Л., 1953. 116 с.

Таблица 1

## Количество жизнеспособных спор (ЖС) грибов на образцах древесины

Место отбора пробы древесины	Микроорганизмы (МО), обнаруженные в пробе		Количество ЖС на 1 см <sup>2</sup>	Концентрация МО в 1 г пробы (общее количество)
	Сусло-агар	Среда Сабуро		
Серафимо-Дивеевский женский монастырь. Архиерейская гостиница. Деревянная балка пола	<i>Ophistoma</i> sp. <i>Aspergillus niger</i> ; <i>Aspergillus flavus</i> ; <i>Penicillium cyaneofulvum</i> ; <i>Penicillium biforme</i> .	<i>Ophistoma</i> <i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i> дрожжи <i>Lypomyces</i>	178	КОЕ 5·10 <sup>4</sup>
Кизи. Дом Серегина	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Ophistoma</i> ; <i>Aspergillus flavus</i> ; <i>Fusarium</i> ; <i>Serpula lacrimans</i>	<i>Serpula</i> <i>Actinomyces</i> дрожжи <i>Lypomyces</i>	126	КОЕ 4·10 <sup>3</sup>
Церковь Никольская, село Лявля, с восточной стены алтаря снаружи	<i>Trichoderma viride</i> ; <i>Trichoderma koningii</i> ; <i>Cladosporium herbarum</i> ; <i>Ophistoma</i>	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> дрожжи <i>Lypomyces</i> <i>Rodotoruba</i>	214	КОЕ 9·10 <sup>5</sup>
Свято-Троицкая Сергиева Лавра. Успенский собор, деревянные сваи фундамента	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Mucor hiemalis</i> <i>Ophistoma</i> , <i>Fusarium</i> <i>Penicillium capculatum</i>	Дрожжи <i>Lypomyces</i>	193	КОЕ 2·10 <sup>7</sup>
Малый Власьевский переулок, дом 4. Часть стены в чердачных комнатах	<i>Penicillium biforme</i> ; <i>Penicillium cyaneofulvum</i> ; <i>Aspergillus glaucus</i> ; <i>Aspergillus niger</i> ; <i>Stemphylium</i> sp;	<i>Penicillium</i> Дрожжи <i>Lypomyces</i> <i>Candida</i> <i>Rhodotoruba</i>	112	КОЕ 8·10 <sup>3</sup>
Сваи Ростовского кремля	<i>Penicillium chrysogenum</i> ; <i>Penicillium capculatum</i> ; <i>Aspergillus glaucus</i> ; <i>Ophistoma</i> ; <i>Fusarium</i>	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> Дрожжи	102	КОЕ 3·10 <sup>4</sup>
Ростов Великий. Кониошенный двор. Глубина 2,5 м. Свая	<i>Penicillium biforme</i> ; <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium rugulosum</i> , <i>Fusarium</i>	<i>Penicillium</i> Дрожжи <i>Lypomyces</i>	67	КОЕ 5·10 <sup>2</sup>

В представленных пробах древесины выявлены плесневые грибы (пять видов *Penicillium*, три вида *Aspergillus*, *Fusarium*); биоповреждающие – *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Mucor*; дереворазрушающие *Ophistoma*, *Serpula*, *Stemphylium*; дрожжи и дрожжеподобные грибки *Candida*, *Lypomyces*, *Rodotoruba*. Концентрация жизнеспособных спор в

древесине повреждённых конструкций составляла от 67 до 214 сп./см<sup>2</sup>. Как известно из литературных источников, концентрация ЖС выше 80 сп./см<sup>2</sup> создаёт опасную ситуацию, при которой возрастает биокоррозия древесины [7].

Влияние количества ЖС/см<sup>2</sup> на изменение содержания целлюлозы и лигнина на поверхности древесины показано на рис. 1.

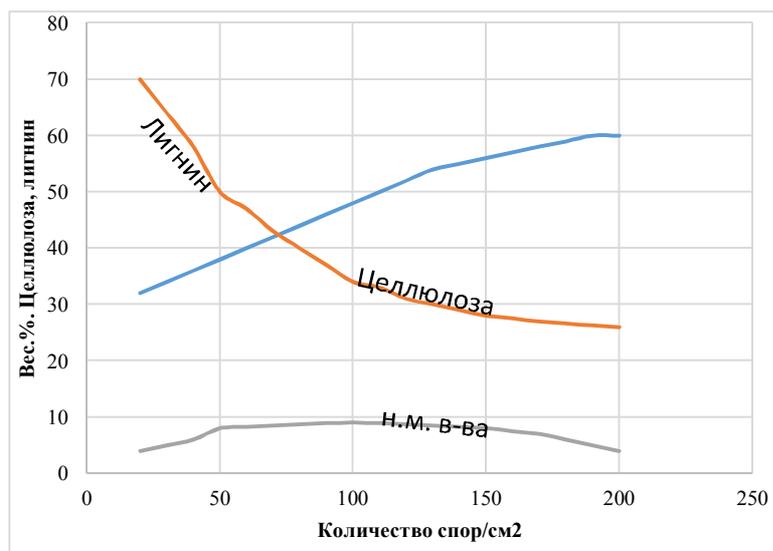


Рис. 1. Содержание лигнина и целлюлозы в зависимости от концентрации жизнеспособных спор на поверхности древесины. Н. м. – низкомолекулярные вещества

Таблица 2

#### Влияние увлажнения и температуры на концентрацию ЖС

№ п/п	Температура, °С	Время, сутки	Концентрация ЖС, сп./см <sup>2</sup>	
			Без увлажнения	С увлажнением 35 %
1	15	7	50	138
2	28	7	75	350
3	15	7	9	17
4	28	7	10	27

Содержание целлюлозы во времени при биокоррозии уменьшается. Фрагменты разрушения целлюлозы конденсируются со структурой лигнина и его содержание увеличивается.

Долговечность древесины конструкций в основном зависит от активности биоразрушителей, которая усиливается в зависимости от повышения температуры и влажности. Количественное содержание ЖС от увлажнения и температуры приведено в табл. 2.

Биоразрушение древесины протекает по принципу гидролитического разрушения, при этом биоразрушающие грибы являются активными катализаторами процесса. С химической точки зрения при разрушении древесины изменяется содержание целлюлозы, лигнина и пентозанов. При наличии влаги более 18 % происходит гидролитическое разрушение с образованием карбонилсодержащих фрагментов.

Анализ данных ИК-спектроскопии целлюлозы, выделенной из образцов частично разрушенной древесины в области 4000–400 см<sup>-1</sup>, показал следующее (рис. 2).

Как видно из рис. 2, при биокоррозии древесины происходит увеличение оптической плотности в области 1730 см<sup>-1</sup> и 1650–1640 см<sup>-1</sup>. Пик 1740 см<sup>-1</sup> соответствует колебаниям карбонильных групп окисленного первичного атома углерода пиранозного кольца целлюлозы. Пик 1650 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям С=О, отличным от пика в области 1730 см<sup>-1</sup>. Данная группа образуется, по видимому, при окислительном гидролизе целлюлозы в присутствии микробиологических агентов, которые являются катализаторами этого процесса. Увеличение лигнина по вес. %, возможно, связано с концентрацией осколков окислительного гидролиза целлюлозы [10, 11].

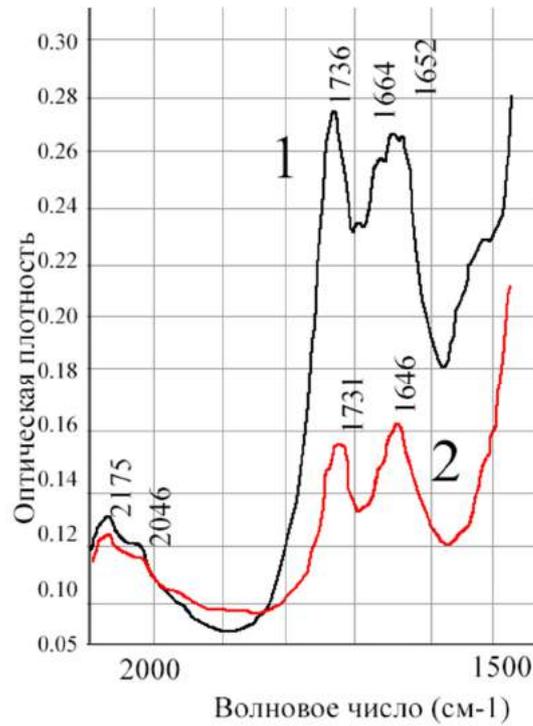


Рис. 2. Результаты ИК-спектроскопии целлюлозы частично разрушенной древесины

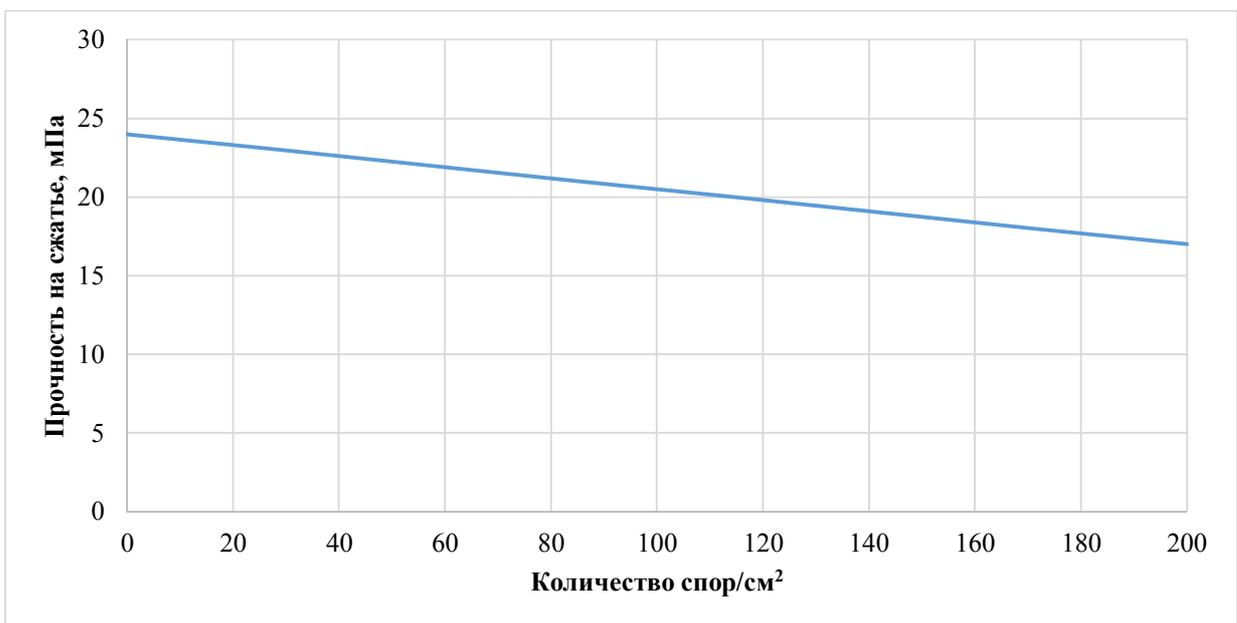


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие вдоль волокон древесины от количества ЖС

Зависимость прочности на сжатие вдоль волокон от количества жизнеспособных спор на 1 см<sup>2</sup> представлена на рис. 3.

На рис. 4 показано разрушение струк-

туры древесины исторического памятника – Никольской церкви (село Лявля), выявленное методом электронной микроскопии.

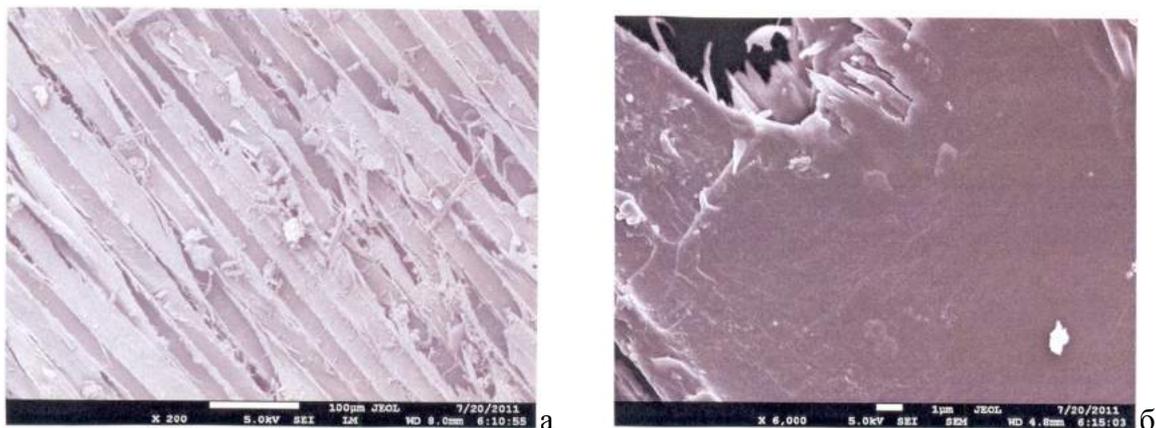


Рис. 4. Разрушение волокон целлюлозы восточной наружной стены Никольской церкви (ув. 200<sup>x</sup> раз) – а; нарушение матрицы лигнина восточной наружной стены Никольской церкви (ув. 6000<sup>x</sup> раз) – б

**Вывод.** Использование химико-микологического метода исследования древесины позволяет определить сохранность древесины, а применение физико-химических методов создаёт возможность дать рекомендации по определению сохранности конструкций.

Этот метод очень важен при реставрационных работах для определения возможности восстановления конструкций без их замены.

Проведённые исследования показывают, что долговечность древесины конструкций исторических памятников в основном зависит от активности биоразрушителей, которая усиливается при концен-

трации жизнеспособных спор микроорганизмов выше 80 сп./см<sup>2</sup>. Из повреждённых конструкций наиболее часто выделялись основные биоразрушители – микроскопические грибы родов *Aspergillus*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Ophistoma* и др. Однако не все виды грибов являются разрушающими. Такие виды, как *Penicillium rugulosum*, *P.biforme*, *P.cyaneo-fulvum* и др. окрашивают древесину и тем самым портят её внешний вид.

Таким образом, химические и микологические количественные исследования древесины в совокупности дают обоснованное представление о сохранности древесины и возможности её длительной эксплуатации.

#### Список литературы

1. Покровская Е.Н. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементарноорганических соединений. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. М.: Издательство АСВ, 2009. 136 с.
2. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin an overview / J. Perez, J. Munoz-Dorado, T. de la Rubia, J. Martinez. // Int. Microbiol. 2002. Vol. 5. Pp. 53-63.
3. Beduin P., Aubert J.P. The biological degradation of cellulose // Microbiol. Rev. 1994. Jan. Vol. 13 (1). Pp. 25-58.
4. Покровская Е.Н. Физико-химические основы увеличения долговечности древесины. М.: Издательство АСВ, 2003. 104 с.
5. Каневская И.Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. Л.: Наука. 1984. 232 с.
6. Биоповреждения и биокоррозия в строи-

тельстве: Материалы Международной научно-технической конференции. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2004. 255 с.

7. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.

8. Чистов И.Н., Покровская Е.Н. Исследование древесины исторических памятников архитектуры методом ИК-спектроскопии // Вестник МГСУ. 2009. Спецвып. № 1. С. 455-457.

9. Покровская Е.Н., Ковальчук Ю.Л. Биокоррозия, сохранение памятников истории и архитектуры. М.: МГСУ, 2013. 212 с.

10. Дехант И. Инфракрасная спектроскопия полимеров. М.: Химия, 1976. 472 с.

11. Highley T.L., Clausen C.A., Croan S.C. Research on biodeterioration of wood. 2. Diagnosis of decay and inplace treatments. Madison (Wisc.), 1994. 7 p.

Статья поступила в редакцию 19.10.16.

### Информация об авторах

**ПОКРОВСКАЯ Елена Николаевна** – доктор технических наук, профессор кафедры общей химии, Московский государственный строительный университет. Область научных интересов – исследование долговечности конструкций, долговременная химическая защита элементарноорганическими соединениями, защита древесины от биокоррозии. Автор 200 публикаций.

**КОВАЛЬЧУК Юлия Лукинична** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. Область научных интересов – исследование биоповреждений материалов и изделий, микологические исследования, биокоррозия зданий и сооружений. Автор 150 публикаций.

УДК 624.154.2

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.86

### CHEMICAL AND MYCOLOGICAL METHOD USED TO STUDY TIMBER

**E. N. Pokrovskaya<sup>1</sup>, Yu. L. Kovalchuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering,  
26, Yaroslavskoe Sh., Moscow, 129337, Russian Federation

E-mail: elenapokrovskaya@bk.ru

<sup>2</sup>Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences,  
33, Leninsky Prospect, Moscow, 119071, Russian Federation

E-mail: jlkovalchuk@rambler.ru

**Key words:** timber durability of timber; biodeteriorating fungi; lignin; cellulose.

#### ABSTRACT

**Introduction.** Preservation of lingo-carbohydrate complex determines the strength and durability of wooden constructions. The issue of wood preservation is of utmost practical value. There is an extensive academic discussion of the approaches to the issue. The activity of timber destroying fungi is defined by the number of viable spores per surface unit. The work **aims to** develop chemical and mycological timber research method in order to evaluate the condition of wooden architecture monuments and provide well-grounded prognosis of their durability. **Materials and methods.** The research was carried out using the samples brought from the Kremlin of Rostov the Great, Kizhi State Open-Air Museum of History, Moscow Small Vlasievsky lane house. The service life of these buildings and constructions is 100, 150, 350, 400 and 1,000 years. The developed chemical and mycological method of wood research implies quantitative estimation of viable fungi spores per 1 cm<sup>2</sup> of the surface under study along with the definition of the species composition of the fungi community supported with physical and chemical definition of component changes in lingo-carbohydrate wooden complex. Wood structure was examined by electronic microscopy method. **Conclusion.** As a result of the carried out research it was revealed that the destruction of wood begins when the quantity of viable fungi spores amounts to 80 spores per cm<sup>2</sup>. When the concentration of viable spores amounts to 180 spores per cm<sup>2</sup> it results in destruction of approximately 40-50 % of cellulose, thus wood loses 30 % strength. It was evidenced from microscopic research that wood destruction begins from the surface. Infrared spectroscopic analysis revealed that on IR spectrum of partially destructed wood the absorption spectrum increases within 1,730 cm<sup>-1</sup> and 1650 cm<sup>-1</sup>, which proves that there are carbonyl groups in the samples. The concentration of carbonyl groups increases in the process of biocorrosion of wood. Thus, chemical and mycological wood research method provides evidence of the wood condition and rationale for the possibility of long-term use of these wooden constructions.

#### REFERENCES

1. Pokrovskaya E.N. Sokhranenie pamyatnikov derevyannogo zodchestva s pomoshchyu elementorganicheskikh soedineniy. Khimiko-fizicheskie osnovy uvelicheniya dolgovечности drevesiny [Preservation of wooden architecture monuments using element-organic compositions. Chemical and physical grounds for extension of wood durability]. Moscow: ASV Publishing House, 2009. 136 p.
2. Perez J., Munoz-Dorado J., Rubia T. de la, Martinez J. Biodeterioration and biological treatments

of cellulose, hemicellulose and lignin an overview. *Int. Microbiol.* 2002. Vol.5. Pp. 53-63.

3. Beduin P., Aubert J.P. The biological degradation of cellulose. *Microbiol. Rev.* 1994. Jan. Vol. 13 (1). Pp. 25-58.

4. Pokrovskaya E.N. Fiziko-khimicheskie osnovy uvelicheniya dolgovechnosti drevesiny [Physical and chemical grounds for extension of wood durability]. Moscow: ASV Publishing House, 2003. 104 p.

5. Kanevskaya I.G. Biologicheskoe povrezhdenie promyshlennykh materialov [Biological damage of industrial materials]. Leningrad: Nauka. 1984, 232 p.

6. Biopovrezhdeniya i biokorroziya v stroitelstve: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Biological damages and biocorrosion in construction: Proceedings of International research and practical conference]. Saransk: Mordova State University Publishing House, 2004. 255 p.

7. Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leo-

novich A.A. Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy [Laboratory research on wood and cellulose chemistry]. Moscow: Ekologiya, 1991. 320 p.

8. Chistov I.N., Pokrovskaya E.N. Issledovanie drevesiny istoricheskikh pamyatnikov arkhitektury metodom IK-spektroskopii [Research into wood of historical architectural monuments by means of infrared spectroscopy]. *Vestnik of MGSU.* 2009. Special issue. No 1. Pp. 455-457.

9. Pokrovskaya E.N., Kovalchuk Iu.L. Biokorroziya, sokhranenie pamyatnikov istorii i arkhitektury [Biocorrosion, preservation of historical and architectural monuments]. Moscow: MGSU, 2013. 212 p.

10. Dekhant I. Infrakrasnaya spektroskopiya polimerov [Infrared spectroscopy of polymers]. Moscow: Khimiya, 1976. 472 p.

13. Highley T.L., Clausen C.A., Croan S.C. Research on bio-deterioration of wood. 2. Diagnosis of decay and in place treatments. Madison (Wisc.), 1994. 7 p.

The article was received 19.10.16.

**Citation for an article:** Pokrovskaya E. N., Kovalchuk Iu. L. Chemical and Mycological Method Used to Study Timber. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2017. No 1(33). Pp. 86-93. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.86.

#### Information about the authors

*POKROVSKAYA Elena Nikolaevna* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of General Chemistry, Moscow State University of Civil Engineering. Research interests – durability of constructions, long-term chemical protection by elementary organic compositions, wood protection from biocorrosion. Author of 200 publications.

*KOVALCHUK Iuliia Lukinichna* – Candidate of Biological Sciences, Senior Research Fellow, Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences. Research interests – biological deterioration of materials and objects, mycological research, biocorrosion of buildings and constructions. Author of 150 publications.