

УДК 069.44

<https://doi.org/10.24852/2587-6112.2023.4.149.159>

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТИ НАСЫЩЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ КОНСОЛИДАНТАМИ ПЭГ 1500 И TREHALOSE

©2023 г. В.И. Гордюшина, Е.Л. Малачевская

На примере консервации образцов древесины дисахаридом Trehalose и полиэтиленгликолем марки ПЭГ-1500 представлен метод контроля за процессом насыщения археологической древесины растворами консолидантов в пропиточных ваннах. В данной статье рассмотрены обменные процессы, протекающие в пропиточных ваннах, методический подход к введению в древесину оптимального количества консолиданта и выбор времени выдержки предметов в пропиточных ваннах. Изложен метод контроля за процессом консервации археологической древесины. Представлены результаты оценки скоростей насыщения археологической древесины в растворах Trehalose и ПЭГ-1500. По результатам проведенной работы было отмечено, что метод контроля насыщения предметов из дерева в пропиточных ваннах с высокой достоверностью позволяет оценивать содержание полимера в древесине на всех этапах консервационного процесса и при оптимальном введении консерванта своевременно завершать пропитку.

Ключевые слова: археологическая древесина, растворы консолидантов, метод контроля, консервация, ПЭГ-1500, Trehalose.

COMPARATIVE STUDIES OF THE RATE OF SATURATION OF ARCHAEOLOGICAL WOOD WITH CONSOLIDANTS PEG 1500 AND TREHALOSE

V.I. Gordyushina, E.L. Malachevskaya

On the example of preservation of wood samples with disaccharide Trehalose and PEG-1500 polyethylene glycol, a method of control over the process of saturation of archaeological wood with consolidant solutions in impregnating baths is presented. This article considers the exchange processes occurring in impregnating baths, methodical approach to the injection of the optimal amount of consolidant into wood and the choice of the time of keeping the objects in impregnating baths. The method of control over the process of conservation of archaeological wood is described. The results of estimation of saturation rates of archaeological wood in Trehalose and PEG-1500 solutions are presented. According to the results of the work carried out, it was noted that the control method of saturation of wood objects in impregnating baths with high reliability allows to assess the polymer content in wood at all stages of the conservation process and to complete impregnation in time at the optimal injection of a preservative.

Keywords: archaeological wood, consolidant solutions, control method, conservation, PEG-1500, Trehalose.

В лаборатории химико-технологических исследований ГОСНИИР разработан метод контроля за процессом насыщения археологической древесины консолидантом в пропиточных ваннах. Контроль за содержанием консолиданта в древесине в процессе ее пропитки – это важнейшая технологическая операция при консервации археологического предмета.

В большинстве случаев, насыщение древесины консолидантом в пропиточных ваннах – процесс неконтролируемый, в результате чего перенасыщение приводит к увеличению веса, изменению цвета (почернению) и фактуры

древесины, а недостаточное количество ПЭГ – к усадкам, утяжкам, растрескиванию и короблению предмета. Итог такой консервации – потеря экспозиционного вида, а в ряде случаев – утрата экспоната. Следовательно, для придания экспозиционного вида законсервированному предмету, а также для сохранности его во времени, древесина после консервации должна содержать оптимальное количество консерванта.

Неоправданно длительная выдержка сильно деградированной древесины в пропиточных растворах приводит к ее разупрочне-

нию. Прочность археологической древесины иногда уменьшается не на десятки процентов, а в несколько раз. Нередко такие набухшие объекты разламываются на фрагменты под действием собственного веса. Наибольшие проблемы в этом случае возникают при консервации предметов с мелкой резьбой: происходит размывание или полное исчезновение рисунка. Поэтому, оптимальное время пребывания экспоната в пропиточном растворе является важным технологическим параметром, определяющим результат консервации деградированной древесины.

Разработанный метод контроля позволяет во время пропитки, во-первых, ввести в древесину оптимальное количество консолиданта, во-вторых, сократить время пребывания предмета в пропиточных ваннах. В данной статье метод представлен на примере пропитки мокрой археологической древесины в растворах полиэтиленгликоля марки ПЭГ-1500 и дисахарида Trehalose. Инициатива проведения данной работы принадлежит художнику-реставратору высшей категории Государственного Эрмитажа Наталье Анатольевне Васильевой, которая высказала предположение, что скорость насыщения древесины Trehalose выше, чем ПЭГ-1500. Так как в нашей лаборатории разработан метод, который позволяет в процессе пропитки оценивать содержание консерванта в древесине в любой момент времени, было принято решение проверить данное предположение.

В зависимости от поставленной задачи разработано два варианта метода контроля содержания консолиданта в древесине в процессе пропитки (две методики):

– вариант 1: методика контроля для лабораторных исследований влияния различных факторов на процесс пропитки древесины (температура, растворитель, природа консерванта, исходная концентрация раствора, соотношение объемов исходного раствора и предмета, время экспозиции в растворе, добавки и другие);

– вариант 2: более простая (технологичная) в исполнении методика контроля при пропитке археологических предметов.

На рисунке 1 представлены данные по пропитке древесины в растворах ПЭГ-1500, полученные с использованием двух вариантов (двух методик) метода контроля.

Обменные процессы в пропиточных ваннах

Пропитку древесины в ваннах начинают с низких концентраций раствора консолиданта, затем поэтапно ее повышают. Высокая исходная концентрация раствора может привести к усадке и растрескиванию древесины непосредственно в ванне в результате более высокой скорости удаления воды из древесины, по сравнению со скоростью поступления в нее полимера из раствора. Повышение концентрации раствора осуществляют либо непосредственным введением консерванта в раствор, либо за счет испарения растворителя. В системе «раствор консолиданта – древесина» на каждом этапе пропитки древесины замещение влаги на консервант в древесине протекает до установления состояния равновесия. В начальный период пропитки эти обменные процессы протекают с большой скоростью, затем скорость падает, количество поглощенного древесиной консерванта в единицу времени при этом существенно уменьшается и чем больше времени проходит с начала обменного процесса, тем менее эффективен этот процесс. В состоянии равновесия системы «древесина – раствор консолиданта» содержание консерванта в древесине остается величиной постоянной независимо от времени ее пребывания в растворе. Поэтому, для активизации обменных процессов повышают концентрацию этого раствора. Разработанный метод контроля позволяет своевременно, не дожидаясь состояния равновесия, перейти на следующий этап пропитки (повысить концентрацию раствора), тем самым сократить время экспозиции предмета в пропиточной ванне.

Оптимальное количество консолиданта

Первостепенной и необходимой стадией любого консервационного процесса является оценка состояния реставрируемого объекта на момент его консервации. Проводят визуальное обследование, замеры и фотофиксацию археологического предмета, определяют видовую принадлежность древесины, ее прочностные и физические свойства, изучают структуру, химический состав и другие показатели. На основе полученных данных оценивается «степень деградации» древесины. Объективная оценка степени сохранности предмета необходима для выбора научно обоснованных методов его консервации. В зависимости от метода консервации (пропиточные ванны или «мокрым по мокрому») и способа оценки физических свойств древеси-

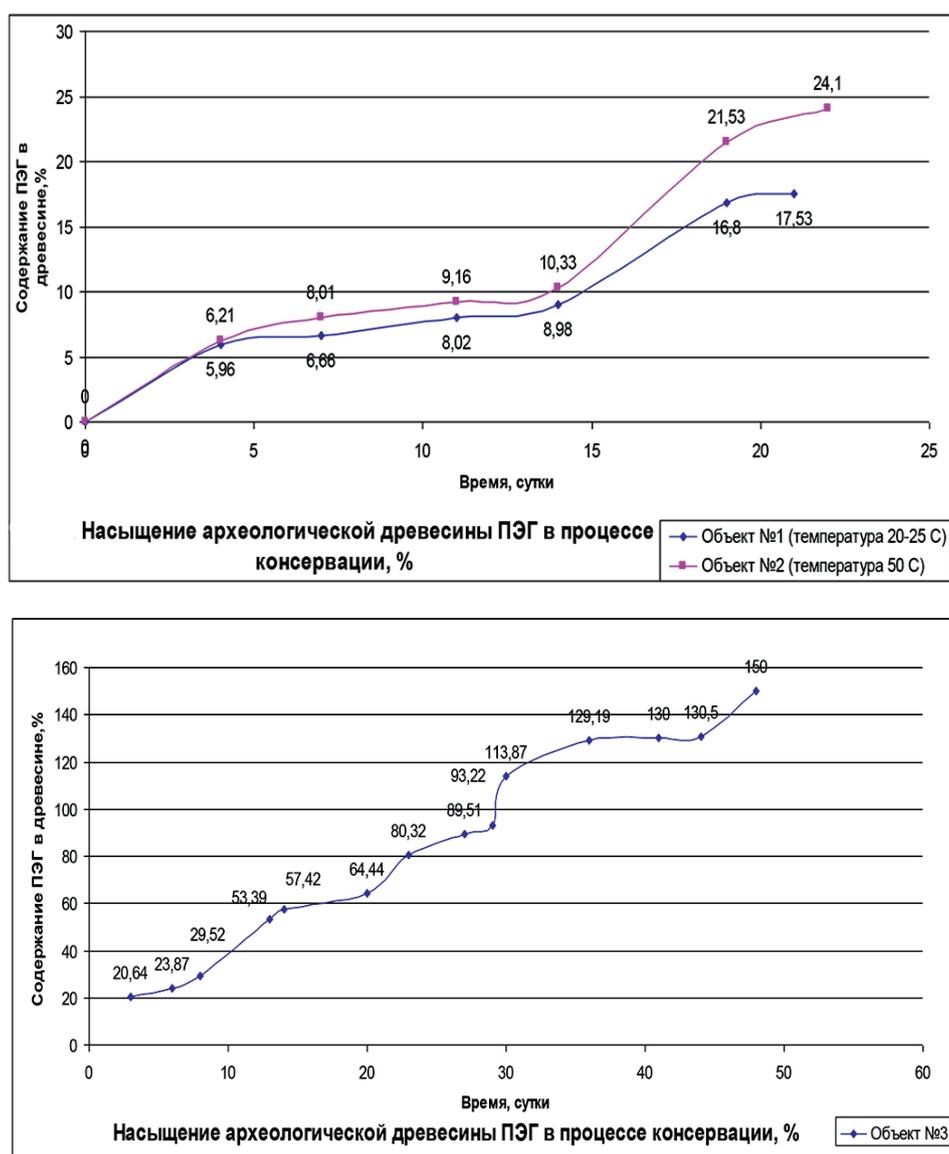


Рис. 1. Два варианта метода контроля за процессом насыщения древесины в пропиточных ваннах: объекты 1 и 2 – методика по 1-му варианту; объект 3 – методика по 2-му варианту.

Fig. 1. Two variants of the control method over the process of wood saturation in impregnating baths: objects 1 and 2 - the method of the 1st variant; object 3 - the method of the 2nd variant.

ны (по маленьким фрагментам или по глубине массива дерева) определяется оптимальное количество консерванта, которое необходимо ввести в археологический предмет в процессе его пропитки.

При проведении экспериментальных работ по консервации археологического предмета в пропиточных ваннах оптимальное количество консолиданта, которое необходимо ввести в древесину, зависит от ее «степени деградации». «Степень деградации» оценивается по уменьшению плотности археологической древесины относительно здоровой той же породы дерева. Метод оценки состояния архе-

ологической древесины по «степени деградации» в 80-е годы прошлого столетия был предложен нашими белорусскими коллегами Ю.В. Вихровым и С.Ю. Казанской (Вихров, Казанская, 1983). Они ввели понятие 4-х «степеней деградации»: уменьшение плотности абсолютно сухой археологической древесины по сравнению со здоровой: до 20% – I «степень деградации», от 20 до 40% – II «степень деградации», от 40 до 60% – III «степень деградации», выше 60% – IV «степень деградации». Практический опыт проведения консервационных работ показал, что для длительного сохранения экспозиционного вида предмета

после его консервации древесина сосны II «степени деградации» должна содержать от 70 до 120% консерванта, III «степени деградации» – 120–170%; липы III «степени деградации» – не менее 120%. Таким образом, оценив «степень деградации» археологической древесины по предварительно изученным ее свойствам, планируется количество консолиданта, которое необходимо ввести в предмет в процессе его пропитки.

Для крупногабаритных археологических предметов и метода пропитки «мокрым по мокрому» оптимальное количество консерванта рассчитывается на основе данных, полученных по изучению физических свойств древесины по глубине массива (Гордюшина и др., 2021).

Метод контроля за процессом пропитки археологической древесины в растворах консолиданта.

Насыщение древесины консервантом в пропиточных ваннах сопровождается изменением концентрации раствора полимера: концентрация уменьшается за счет обменных процессов с древесиной и увеличивается с испарением растворителя. Поэтому, периодически определяемая концентрация раствора консолиданта не является достаточно объективной характеристикой при контроле за процессом пропитки археологического предмета.

Разработанный метод контроля насыщения предметов из дерева в пропиточных ваннах с высокой достоверностью позволяет оценивать содержание полимера в древесине на всех этапах консервационного процесса и своевременно завершать пропитку при оптимальном введении консерванта.

При разработке метода контроля руководствовались «законом сохранения массы и энергии в изолированных системах».

В системе «мокрая древесина – раствор консолиданта» протекают обменные процессы между влагой древесины и консолидантом в растворе. В процессе пропитки древесины в негерметично закрытых ваннах изменяется масса раствора в основном за счет испарения растворителя, при этом количество консолиданта, которое изначально было внесено в раствор, остается величиной постоянной. Следовательно, в результате обменных процессов уменьшение содержания консолиданта в растворе соответствует равному по

величине увеличению его в древесине. Таким образом, определяя изменение массы полимера в растворе за определенный промежуток времени (между отборами проб раствора), можно рассчитать увеличение содержания консолиданта в древесине и, соответственно, суммарную его массу в предмете на данный момент времени. Содержание консолиданта в древесине рассчитывается в %-м отношении к массе абсолютно сухой древесины ($m_{0(\text{арх. древесины})}$ – величина постоянная). Масса консолиданта в растворе определяется по массе раствора и его концентрации. Данные по массе раствора, его концентрации и времени экспозиции предмета в консервационном растворе заносятся в таблицу; по внесенным данным непосредственно в таблице проводятся все необходимые расчеты для оценки содержания консолиданта в древесине. Строится график зависимости содержания консерванта в древесине от времени ее пребывания в пропиточном растворе. При существенном уменьшении скорости насыщения древесины полимером переходят на следующий этап консервации (повышение концентрации раствора). Перед каждой таблицей для конкретного предмета вносятся данные по физическим свойствам древесины, «степени ее деградации» и условиям пропитки. Также указывается запланированное количество консолиданта, которое необходимо ввести в древесину во время пропитки. Процесс пропитки древесины считается завершенным, если содержание в ней консерванта соответствует ранее запланированной величине.

Контроль за процессом насыщения древесины в пропиточных ваннах по вариантам 1 и 2 методически отличаются.

– По варианту 1: предмет погружается в раствор с известной массой и концентрацией. Периодически с интервалом в несколько суток раствор взвешивается, определяется его концентрация и проводятся необходимые расчеты с учетом потери массы раствора при отборе проб. Масса раствора определяется либо прямым взвешиванием, либо замером его объема и плотности, соответствующей температуре раствора. Пропитку древесины проводят поэтапно до достижения содержания в ней консерванта, соответствующего ранее запланированному количеству.

– По варианту 2: Последовательность проведения технологических операций анало-



Рис. 2. Образцы древесины XVII века из раскопа «Татарская слободка» острова-град Свияжск.

Fig. 2. Wood samples of the XVII century from the excavation "Tatarskaya Slobodka" of the island-town Sviyazhsk.

гична варианту 1. Отличие заключается в том, что при отборе проб раствор не взвешивается и все расчеты проводятся без учета уменьшения его массы за счет испарения растворителя. При переходе на следующий этап пропитки древесины по массе внесенного консерванта, концентрациям растворов предыдущего и последующего этапов рассчитывается реальная масса раствора предыдущего этапа и вносится соответствующая корректировка по содержанию полимера в древесине данного этапа.

Консервация образцов древесины растворами ПЭГ-1500 и Trehalose

Для сравнения скоростей насыщения археологической древесины растворами ПЭГ1500 и Trehalose были отобраны образцы древесины максимально одинаковых по массе, объему, физическим свойствам и «степени деградации». На рисунке 2 представлены две пары образцов древесины XVII века, подготовленных для консервации.

Оценку содержания в древесине консолидантов в процессе ее пропитки планировалось провести по методикам вариантов 1 и 2 метода контроля. В связи с тем, что работа была внеплановой эксперимент проводился только на образцах 1 и 3. Содержание ПЭГ1500 и Trehalose в древесине в процессе пропитки рассчитывалось по варианту 1 метода контроля. Пропитка древесины в растворах консолидантов осуществлялась в абсолютно одинако-

вых условиях (температура растворов, время экспозиции и др.). С целью предотвращения развития биологических процессов в ваннах на практике насыщение археологической древесины растворами Trehalose проводят при температуре 80°C. Однако известно, что при консервации ослабленной археологической древесины высокие температуры пропиточных растворов способствуют ее дополнительному разупрочнению и в ряде случаев могут привести к разрушению предмета при малейшем механическом воздействии (например, при извлечении из пропиточной ванны). Кроме того, не многие реставрационные отделы музеев оснащены обогреваемыми ваннами. Сознывая, что в процессе работы мы столкнемся с биологическими проблемами, было принято решение проводить пропитку древесины при температуре, более реальной для многих музеев - 40°C Исходные характеристики древесины, температура пропитки, запланированное оптимальное количество консерванта, а также результаты проведенного эксперимента представлены в таблицах: таблица 1 – пропитка образца 1 в растворах ПЭГ 1500, таблица 2 – образца 3 в растворах Trehalose.

В процессе пропитки образцов древесины наблюдалось помутнение растворов и появился гнилостный запах в ваннах с Trehalose в конце первой неделе, с ПЭГ 1500 – на 12–14 сутки. На 15 сутки пропитки после

Таблица 1. Образец 1. Насыщение древесины ПЭГ-1500 в процессе пропитки в ванне
 Table 1. Sample 1. Wood saturation with PEG-1500 during impregnating process in the bath

№ п/п	№ этапа	Конц-я соответ-го этапа, % масс	Время экспозиции, сутки		Раствор		Масса ПЭГ в растворе, г		Масса ПЭГ в древесине, г		ПЭГ в древесине, % масс.		Предмет					
			Между отборами пробы	Суммарное время Этап	Конц-я, % масс.	Масса до отбора пробы, г	Масса после отбора пробы, г	До отбора пробы	После отбора пробы	Между отборами пробы	Суммарная масса Этап	Между отборами пробы		Суммарный % Этап				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	3	0	0	0	3,02	350,1	350,1	10,57	10,57	0	0	0	0	0	0	59,2	0
2	-<<	-<<	1	1	1	2,83	347,1	337,3	9,82	9,55	0,75	0,75	0,75	7,43	7,43	60,7	+2,5	
3	-<<	-<<	4	5	5	2,79	336,2	326,0	9,38	9,10	0,17	0,92	0,92	1,68	9,11	9,11	61,6	+4,0
4	-<<	-<<	2	7	7	2,78	325,5	313,7	9,05	8,72	0,05	0,97	0,97	0,50	9,61	9,61	61,8	+4,4
5	2	6	0	0	7	5,98	343,8	333,5	20,56	19,94	0	0	0,97	-	-	-<<	-<<	
6	-<<	-<<	1	8	8	5,73	333,2	321,5	19,04	18,42	0,90	0,90	1,87	8,91	18,52	62,2	+5,1	
7	-<<	-<<	4	5	12	5,61	321,3	311,3	18,02	17,46	0,40	1,30	2,27	3,96	12,87	22,48	62,3	+5,2
8	-<<	-<<	2	7	14	5,61	310,7	299,9	17,43	16,82	0,03	1,33	2,30	0,3	13,17	22,78	62,4	+5,4
На 2-м этапе пропитки образца вначале появился гнилостный запах, затем в растворе были обнаружены прозрачные ступичные биообразований.																		
9	3	10	0	14	14	9,91	343,6	335,5	34,05	33,25	0	0	2,30	0	0	22,78	-<<	-<<
10	-<<	-<<	1	15	15	9,55	334,8	324,7	31,97	31,01	1,28	1,28	3,58	12,67	12,67	35,45	62,8	+6,1
11	-<<	-<<	1	15	15	10,10	-<<	324,7	-<<	31,01	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<
+2г.Б.К*																		
12	-<<	-<<	6	21	21	9,88	325,1	305,8	32,12	30,21	0,89	2,17	4,47	8,81	21,48	44,26	-	-
13	-<<	-<<	4	29	29	9,80	304,7	293,6	29,86	28,77	0,35	2,52	4,82	3,47	24,95	47,73	63,0	+6,4
14	-<<	-<<	1	12	26	9,82	293,0	282,6	28,77	27,75	0	2,52	4,82	0	24,95	47,73	62,9	+6,3
2г.Б.К* - на 3-м этапе консервации (1 сутки 3-й этап/15 суток суммарное время пропитки) в растворе после отбора пробы внесено 2,0 г борной кислоты																		
15	4	20	0	26	26	19,69	425,6	416,3	83,80	81,97	0	0	4,82	0	47,73	62,9	+6,3	
16	-<<	-<<	1	27	27	19,14	415,3	404,3	79,49	77,38	2,48	2,48	7,30	24,55	24,55	72,28	63,7	+7,6
17	-<<	-<<	2	3	29	18,94	404,0	393,7	76,52	74,57	0,86	3,34	8,16	8,51	33,06	80,79	63,9	+7,9
18	-<<	-<<	4	7	33	18,95	392,3	378,8	74,34	71,78	0,23	3,57	8,39	2,28	35,34	83,07	63,9	7,9
19	-<<	-<<	2	9	35	19,00	377,4	367,0	71,71	69,73	0,07	3,64	8,46	0,69	36,03	83,76	64,3	8,6
Для защиты от биовреждения с интервалом в 7-10 дней емкость с раствором и образцом выдерживалась при температуре 70°C в течение суток																		
20	5	30	0	35	35	29,53	739,0	729,4	218,20	215,39	0	0	8,46	0	83,76	64,3	8,6	
21	-<<	-<<	1	36	36	29,11	728,4	716,9	212,04	208,69	3,35	3,35	11,81	33,17	116,93	65,1	+9,9	
22	-<<	-<<	3	39	39	28,88	716,6	705,8	206,95	203,83	1,74	5,09	13,55	17,23	50,40	134,16	65,0	+9,8
23	-<<	-<<	5	9	44	28,82	705,8	694,3	203,41	200,10	0,42	5,51	13,97	4,16	54,56	138,32	64,9	+9,6
24	-<<	-<<	4	13	48	28,83	693,5	683,0	199,94	196,91	0,16	5,67	14,13	1,58	56,14	139,90	65,5	+10,6
25	-<<	-<<	1	14	49	28,85	682,6	672,3	196,93	193,96	-0,02	5,65	14,11	-0,20	55,94	139,70	65,3	+10,3
26	6	40	0	49	49	29,74	794,2	782,0	315,62	310,77	0	0	14,11	0	139,70	65,3	+10,3	
27	-<<	-<<	1	50	50	39,34	780,6	768,3	307,09	302,25	3,68	3,68	17,79	36,43	176,13	66,7	+12,7	
28	-<<	-<<	4	54	54	39,21	768,0	755,4	301,13	296,19	1,12	4,80	18,91	11,09	47,52	187,22	66,8	+12,8
29	-<<	-<<	3	57	57	39,22	755,0	740,3	296,11	290,35	0,09	4,89	19,00	0,89	48,41	188,11	66,7	+12,7
30	-<<	-<<	7	15	64	39,24	739,4	-	290,14	-	0,21	5,10	19,21	2,08	50,49	190,2	67,2	+13,5
6,09.19 г образец извлечен из раствора ПЭГ-1500. Расчетное содержание ПЭГ в древесине составляет 190% (к m_0 образца).																		

$m_w = 59,2г$; $V_w = 57,3см^3$; $W = 486%$; $\rho_w = 1033кг/м^3$; $\rho_0 \approx 240кг/м^3$; $m_0 = 10,1г$; $V_{раствора ПЭГ} \approx 6V_{образца 1}$; III «степень деградации» древесины; ввести в образец 1 ПЭГ-1500 в количестве 160–180% к массе абсолютно сухой древесины. $T_{p-ра} = 40 \pm 2^\circ C$.

Таблица 2. Образец 3. Насыщение древесины Trehalose в процессе пропитки в ванне
Table 2. Sample 3. Wood saturation with Trehalose during impregnating process in the bath

№ п/п	№ этапа	Конц-я ра-ра соответ-го этапа, % масс	Время экспозиции, сутки		Раствор			Масса Trehalose в растворе, г			Масса Trehalose в древесине, г			Trehalose в древесине, % масс.		Предмет		
			Между отбора-ми проб	Суммарное время Этап	Конц-я, % масс.	Масса до отбора пробы, г	Масса после отбора пробы, г	До отбора пробы	После отбора пробы	Между отборами проб	Суммарная масса Этап	Между отбора-ми проб	Суммарный % Этап	Этапы	Масса пред-мета, г		+ увеличение; - уменьшение, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	3	0	0	0	2,78	355,5	355,5	9,88	9,88	0	0	0	0	0	0	61,5	0
2	-<<	-<<	1	1	1	2,56	351,7	341,0	9,00	8,73	0,88	0,88	0,88	8,22	8,22	8,22	63,3	+2,9
3	-<<	-<<	4	5	5	2,55	339,5	329,0	8,66	8,39	0,07	0,95	0,95	8,88	8,88	8,88	63,4	+3,1
4	-<<	-<<	2	7	7	2,54	328,4	317,2	8,34	8,06	0,05	1,00	1,00	9,35	9,35	9,35	63,5	+3,3
К завершению 1-го этапа пропитки образца появился слабый неприятный запах.																		
5	2	6	0	7	5,90	352,2	342,8	342,8	20,78	20,23	0	0	1,0	0	0	0	9,35	-<<
6	-<<	-<<	1	8	5,57	341,0	329,8	329,8	18,99	18,37	1,24	1,24	2,24	11,59	11,59	20,94	64,4	+4,7
7	-<<	-<<	4	5	12	5,55	327,2	315,7	18,16	17,52	0,21	1,45	2,45	13,55	13,55	22,90	64,5	+4,9
8	-<<	-<<	2	7	14	5,55	315,2	304,3	17,49	16,89	0,03	1,48	2,48	13,83	13,83	23,18	64,5	+4,9
К завершению 2-го этапа пропитки образца гниlostный запах усилился, а в растворе появились нитеподобные образования.																		
9	3	10	0	14	9,81	354	344,3	344,3	34,73	33,78	0	0	2,48	0	0	0	23,18	64,5
10	-<<	-<<	1	15	9,45	343,9	333,3	333,3	32,50	31,50	1,28	1,28	3,76	11,96	11,96	35,14	64,6	+5,0
11	-<<	-<<	1	15	9,99	-<<	333,3	333,3	-<<	31,5+2г	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<	-<<
+2г.Б.К* - на 3-м этапе пропитки образца гниlostный запах усилился, а в растворе появились нитеподобные образования.																		
12	-<<	-<<	6	7	21	9,92	329,8	310,7	32,72	30,82	0,78	2,06	4,54	7,29	19,25	42,43	65,8	+7,0
13	-<<	-<<	4	11	25	9,9	308,9	296,3	30,58	29,33	0,24	2,30	4,78	2,24	21,49	44,67	65,8	+7,0
14	-<<	-<<	1	12	26	9,90	295,5	284,5	29,25	28,17	0,08	2,38	4,86	0,75	22,24	45,42	66,0	+7,3
2г.Б.К* - на 3-м этапе консервации (1 сутки 3-й этап/15 суток суммарное время пропитки) в раствор после отбора пробы внесено 2,0 г борной кислоты																		
15	4	20	0	26	19,79	429,5	419,2	419,2	-	82,96	0	0	4,86	0	0	45,42	66,0	+7,3
16	-<<	-<<	1	27	19,19	417,2	406,5	406,5	80,06	78,01	2,9	2,9	7,76	27,10	27,10	72,52	67,7	+10,1
17	-<<	-<<	2	3	29	18,92	405,9	395,2	76,80	74,77	1,21	4,11	8,97	11,31	38,41	83,83	66,7	+10,1
18	-<<	-<<	4	7	33	18,83	393,8	382,9	74,15	72,10	0,62	4,73	9,59	5,79	44,21	89,63	67,9	+10,4
19	-<<	-<<	2	9	35	18,83	382,0	370,2	71,93	69,71	0,17	4,90	9,76	1,59	45,79	91,21	68,0	+10,6
Для защиты от биоповреждения с интервалом в 7-10 дней емкость с раствором и образцом выдерживалась при температуре 70°C в течение суток																		
20	5	30	0	35	29,79	750,5	739,5	739,5	223,6	220,30	0	0	9,76	0	0	91,21	-<<	-<<
21	-<<	-<<	1	36	29,23	737,7	725,1	725,1	215,63	211,95	4,67	4,67	14,43	43,64	43,64	134,86	69,8	+13,5
22	-<<	-<<	3	4	39	29,21	724,6	712,5	211,66	208,12	0,29	4,96	14,72	2,71	46,35	137,57	70,1	+14,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
23	-<<	-<<	5	9	44	29,22	711,9	700,0	208,02	204,54	0,10	5,06	14,82	0,94	47,29	138,51	70,2	+14,1
24	-<<	-<<	4	13	48	29,21	698,9	688,8	204,15	201,20	0,39	5,45	15,21	3,64	50,93	142,15	70,3	+14,3
25	-<<	-<<	1	14	49	29,2	668,8	676,0	201,13	197,39	0,07	5,52	15,28	0,66	51,59	142,81	70,2	+14,1
26	6	40	0	49	39,74	798,5	786,9	786,9	317,32	312,71	0	0	15,28	0	0	142,81	-<<	-<<
27	-<<	-<<	1	50	39,35	783,8	767,8	767,8	308,43	302,13	4,28	4,28	19,56	40,00	40,00	182,80	72,0	+17,1
28	-<<	-<<	4	54	39,34	765,6	751,1	751,1	301,19	295,48	0,94	5,22	20,50	8,78	48,78	191,59	72,1	+17,2
29	-<<	-<<	3	8	57	39,35	749,8	734,5	295,05	289,03	0,43	5,65	20,93	4,02	52,80	195,61	72,0	+17,1
30	-<<	-<<	7	15	64	39,36	733,1	721,3	288,55	-	0,48	6,13	21,41	4,49	57,29	200,1	72,2	+17,4
На 64 сутки образец извлечен из раствора Trehalose. Расчетное содержание Trehalose в древесине составляет 200% (к m ₀ образца).																		

m_w = 61,5г; V_w = 58,9см³; W = 47,3%; ρ₀ = 1044 кг/м³; ρ_w = 240кг/м³; m₀ = 10,7г; V_{раствора} ПЭГ ≈ 6V_w образца 3; III «степень деградации» древесины; ввести в образец 3 Trehalose в количестве 160–180% к массе абсолютно сухой древесины. T_{р-ра} = 40°C

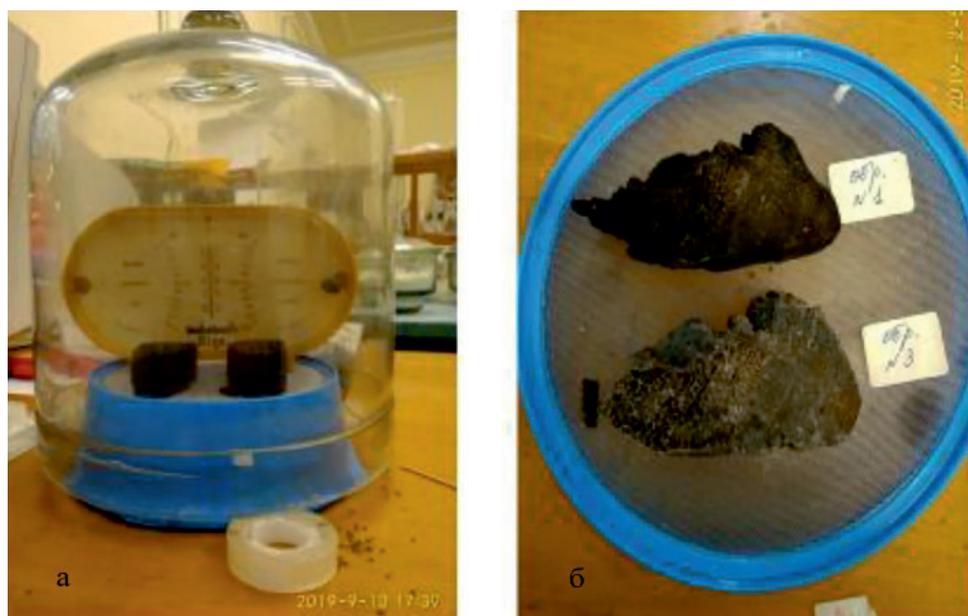


Рис. 3. Сушка пропитанных консолидантом образцов древесины: а – «мягкая» сушка с контролем влажности воздушной среды под стеклянным колпаком ($W_{\text{воздуха}} = 60-90\%$); б – досушка в температурно-влажностных условиях лаборатории

Fig. 3. Drying of wood samples impregnated with consolidant: а – "soft" drying with control of air humidity under a bell-glass ($W_{\text{air}} = 60-90\%$); б – additional drying in temperature and humidity conditions of the laboratory.

Таблица 3. Сушка образца 1: вначале в «мягких» условиях (под стеклянным колпаком с подсосом воздуха; $T_{\text{воздуха}} = 24-26\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{воздуха}} = 90-60\%$), затем в условиях температурно-влажностного режима лаборатории.

Table 3. Drying of sample 1: first under "soft" conditions (under a bell-glass with air suction; $T_{\text{air}} = 24-26\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{air}} = 90-60\%$), after – under the temperature and humidity conditions of the laboratory.

№ п/п	Время сушки образца, сутки	Условия сушки: $T_{\text{воздуха}},\text{ }^{\circ}\text{C} / W_{\text{воздуха}},\text{ \%}$	Масса образца в процессе сушки, г	Содержание ПЭГ+ равновесная влага в образце, $\%$ ($m_{\text{образца}} = 10,1\text{r}$)
1	2	3	4	5
1	0	«МЯГКИЕ»	67,2	565
2	7	-«-	45,87	354
3	11	-«-	39,79	294
4	17	-«-	34,80	245
5	27	24°C / ?%	31,74	214
6	54	25°C / 45%	31,11	208
7	104	24°C / 50%	31,24	209
8	119	24°C / 48%	31,20	209
9	129	25°C / 43%	31,09	208
10	137	24°C / 50%	31,24	209

введения в растворы консолидантов по 0,6% борной кислоты выпал осадок биообразований, раствор осветлился, гнилостный запах пропал. Примерно через 8–10 суток в ваннах вновь начался разрушительный биологический процесс, наиболее интенсивно в растворах Trehalose. Для того чтобы дополнительным введением борной кислоты не вносить

ошибку в проводимые расчеты, в дальнейшем защита от биоповреждений осуществлялась периодической (с интервалом 7–10 дней) выдержкой емкостей при температуре 65–70°C в течение суток.

На шестом этапе консервации процесс пропитки образцов древесины растворами ПЭГ1500 и Trehalose был завершен. Из данных

Таблица 4. Сушка образца 3: вначале в «мягких» условиях (под стеклянным колпаком с подсосом воздуха; $T_{\text{воздуха}} = 24-26^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{воздуха}} = 90-60\%$), затем в условиях температурно-влажностного режима лаборатории

Table 4. Drying of sample 3: first in "soft" conditions (under a bell-glass with air suction; $T_{\text{air}} = 24-26^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{air}} = 90-60\%$), after – in the temperature and humidity conditions of the laboratory.

№ п/п	Время сушки образца, сутки	Условия сушки: $T_{\text{воздуха}}, ^{\circ}\text{C} / W_{\text{воздуха}}, \%$	Масса образца в процессе сушки, г	Содержание Trehalose + равновесная влага в образце, % ($m_{\text{образца}} = 10,7\text{г}$)
1	2	3	4	5
1	0	«мягкие»	72,2	575
2	7	-«-	52,81	394
3	11	-«-	45,60	326
4	17	-«-	39,97	274
5	27	$24^{\circ}\text{C} / ?\%$	34,59	223
6	54	$25^{\circ}\text{C} / 45\%$	33,60	214
7	104	$24^{\circ}\text{C} / 50\%$	33,76	215
8	119	$24^{\circ}\text{C} / 48\%$	33,74	215
9	129	$25^{\circ}\text{C} / 43\%$	33,65	214
10	137	$24^{\circ}\text{C} / 50\%$	33,75	215

Таблица 5. Содержание консолиданта, рассчитанное в процессе пропитки образцов древесины и после их сушки

Table 5. Content of consolidant, calculated during impregnating process of wood samples and after their drying

№ п/п	Консолидant (образец)	Содержание консолиданта в древесине, рассчитанное в процессе пропитки, %	Содержание консолиданта (+ равновесная влага) в древесине после сушки, %
1	2	3	4
1	ПЭГ-1500 (образец 1)	190,2	208 ($T_{\text{воздуха}} = 25^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{воздуха}} = 43\%$)
2	Trehalose (образец 3)	200,1	214 ($T_{\text{воздуха}} = 25^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{воздуха}} = 43\%$)

таблиц 1 и 2 следует, что содержание консолиданта в древесине после пропитки больше, чем было запланировано (160–180%). Для ПЭГ1500 составляет 190,2 %, для Trehalose – 200,1 %. В связи загруженностью при выполнении плановых тем, на шестом этапе пропитки образцов 1 и 3 периодически отбирались только пробы и взвешивались растворы. После определения концентрации растворов, отобранных проб, и проведения соответствующих расчетов по содержанию полимера в древесине выяснилось, что процесс пропитки необходимо было завершить на 50 сутки консервации (176,1% – ПЭГ-1500 и 182,8% – Trehalose). На основе результатов, представленных в таблицах 1 и 2, был построен график зависимости содержания консолиданта в древесине от времени их пропитки.

Поверхность образцов, извлеченных из пропиточных ванн, не промывалась дистиллированной водой, с тем чтобы не вносить ошибки в расчеты содержания консолиданта в древесине после сушки. Сушку образцов древесины с контролем температуры и влажности окружающей среды вначале проводили в «мягких» условиях (повышенная влажность под стеклянным колпаком), далее в воздушной атмосфере лаборатории (рис. 3).

В таблицах 3 и 4 представлены данные по сушке образцов, пропитанных ПЭГ 1500 и Trehalose.

Из данных таблиц следует, что масса образцов, пропитанных ПЭГ-1500 и Trehalose, после ~ 50 суток сушки зависит от температурно-влажностных условий окружающей среды, то есть высохшая древесина, укреплен-



Рис. 4. Сушка укрепленных образцов древесины завершена: а – на плоской поверхности образца 3 видны продукты биообразования (погибшие); б – на торцевой поверхности образца 3 – кристаллы Trehalose.
Fig. 4. Drying of treated wood samples is completed: а – on the flat surface of sample 3, the products of bio-formations (dead) are visible; б – on the end surface of sample 3 - Trehalose crystals.

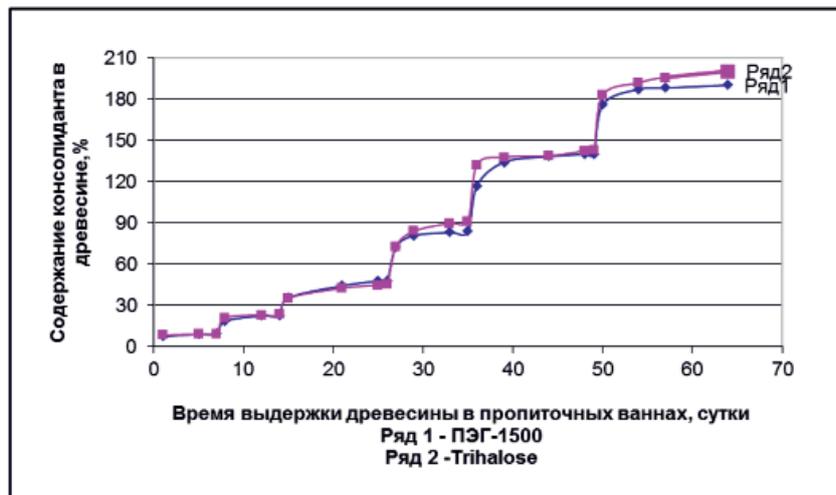


Рис. 5. Содержание ПЭГ-1500 и Trehalose в древесине (образцы 1 и 3) в процессе пропитки.
Fig. 5. Content of PEG-1500 and Trehalose in wood (samples 1 and 3) during the impregnation process.

ная консервантами, находится в комнатно-сухом состоянии и содержит влагу, по величине соответствующую равновесной влажности древесины и гигроскопичных консервантов. В таблице 5 представлены результаты расчетов содержания консервантов в древесине, как в процессе ее пропитки, так и после сушки.

Расчеты проводились по формулам:

- расчет процентного содержания консерванта в древесине в процессе пропитки: % консерванта = $(m_{\text{консерванта}} / m_{0(\text{образца})}) \times 100$;

- расчет процентного содержания консерванта + равновесной влаги в древесине после сушки: % консерванта + влага = $(m_{\text{конс. + влага}} / m_{0(\text{образца})}) \times 100$,

где: $m_{\text{конс. + влага}} = m_{\text{образца в комнатно-сухом состоянии}} - m_{0(\text{образца})}$.

Пропитанные консервантами образцы древесины после сушки представлены на рисунке 4.

Более высокие показатели содержания консервантов в древесине после сушки по сравнению с расчетами, проводимыми

в процессе консервации древесины, в большей степени связаны с наличием равновесной влаги в комнатно-сухой древесине, чем с некорректностью расчетов, приведенных по данной методике. Следовательно, можно сделать вывод о том, что в процессе пропитки получены достаточно достоверные данные по содержанию консолидантов в древесине.

На рисунке 5 представлен график зависимости содержания консолидантов в древесине от времени пропитки. Из данных графика следует, что существенной разницы в скоростях насыщения древесины консолидантами не наблюдается. Однако, следует отметить устойчивую тенденцию к незначительно

более высокой скорости пропитки древесины Trehalose, по сравнению с ПЭГ.1500. Известно, что биологическая пленка на поверхности консервируемого предмета, препятствует проникновению консолиданта в древесину. Пропиточные системы с Trehalose более подвержены биоповреждению, чем с ПЭГ-1500.

В заключении хотелось бы отметить, что в случае изначального устранения биологических проблем в ваннах, не исключена вероятность того, что показатели по скорости насыщения древесины Trehalose были бы значительно выше, чем полученные в данном эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

Вихров Ю.В., Казанская С.Ю. Опыт консервирования деградированной древесины // Музееведение и охрана памятников. Реставрация и консервация музейных ценностей Вып. 6. / Ред. А.Г. Григорьева. М.: Гос. б-ка СССР им. В.И. Ленина, 1983, С. 17–21.

Гордюшина В.И., Иванова А.И., Черненко И.Н., Терехова В.А., Сандюк И.Г. Методический подход к консервации археологических объектов из дерева на примере судна XVII века из фондов МБУК «Вытегорский объединенный музей» // Сборник статей научной конференции Археологическое Дерево (Свияжск, 10–12 ноября 2021) / Отв. ред. Е.И. Карташева Свияжск, 2021. С. 63–76.

Информация об авторах:

Гордюшина Валентина Ивановна, старший научный сотрудник лаборатории химико-технологических исследований, Федеральное государственное бюджетное научно-исследовательское учреждение «Государственный научно-исследовательский институт реставрации» (ФГБНИУ «ГОСНИИР») (г. Москва, Россия); vgordyushina@mail.ru

Малачевская Елена Львовна, заведующая лабораторией химико-технологических исследований, Федеральное государственное бюджетное научно-исследовательское учреждение «Государственный научно-исследовательский институт реставрации» (ФГБНИУ «ГОСНИИР») (г. Москва, Россия); elemal34@mail.ru

REFERENCES

Vikhrov, Yu. V., Kazanskaya, S. Yu. 1983. In Grigor'eva, A. G. (ed.). *Muzeevedenie i okhrana pamyatnikov. Restavratsiya i konservatsiya muzeynykh tsennostey (Museum studies and protection of monuments. Conservation of museum values)* 6. Moscow: The State Library of the USSR named after V.I. Lenin, 17–21 (in Russian).

Gordyushina, V. I., Ivanova, A. I., Chernenko, I. N., Terekhova, V. A., Sandyuk, I. G. 2021. In Kartasheva, E. I. (ed.) *Arkheologicheskoe derevo (Archaeological wood)*. Sviyazhsk, 63–76 (in Russian).

About the Authors:

Gordyushina Valentina I. The State Research Institute for Restoration. Gastello, str. 44, building 1, Moscow, 107014, Russian Federation; vgordyushina@mail.ru

Malachevskaya Elena L. The State Research Institute for Restoration. Gastello, str. 44, building 1, Moscow, 107014, Russian Federation; elemal34@mail.ru



Статья поступила в журнал 01.06.2023 г.
Статья принята к публикации 01.08.2023 г.
Авторы внесли равноценный вклад в работу.