

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ПРОБЛЕМЫ КОНСЕРВАЦИИ¹

Э. К. КУБЛО, Л. Л. ЛЕОНТЬЕВ, М. И. КОЛОСОВА,
Л. В. КОКУЦА²

Лаборатория консервации мокрой археологической древесины Новгородского музея поставила своей целью отработку методики стабилизации деревянных предметов, ежегодно поступающих в музей с нескольких раскопов в городе и за его пределами. За основу взята методика, широко применяемая в лабораториях многих стран Западной Европы, но практически совсем не используемая в России, хотя проблема консервации мокрой археологической древесины актуальна не только для Новгорода. Речь идет о сушке древесины вымораживанием с применением вакуума, когда используются свойства испарения льда. При отрицательных температурах лед переходит в газообразное состояние, минуя жидкую стадию, при этом клеточная структура древесины не разрушается. Для предотвращения разрывов древесины замораживанию предшествует предварительная пропитка в водных растворах полиэтиленгликолей (ПЭГ). Попытка применения этой методики на практике дала неоднозначные результаты и показала необходимость исследования физических и химических свойств деградированной древесины, пролежавшей несколько столетий в увлажненной среде. Для эксперимента были отобраны на действующих раскопах Новгорода в слоях XIII–XIV вв. 29 образцов древесины различных пород: клена, дуба, ясеня, ивы, вяза, березы, осины, тополя, сосны и ели. Каждый образец был распилен на несколько частей для определения физико-механических параметров и проведения эксперимента, который состоял в пропитке древесины полиэтиленгликолями (ПЭГ) и последующей сушке методом сублимации. Часть образцов была высушена без какой-либо обработки при комнатной температуре и оставлена в качестве контрольных.

Всего были исследованы физические свойства древесины 11 пород из новгородских раскопок XII–XIV веков (Никитинский, Троицкий раскопы).

Методика работ. Работы проводились параллельно на идентичных образцах по двум направлениям: изучение свойств древесины археологических находок и изучение различных режимов обработки с целью сохранения археологической древесины. Для возможности сравнения свойств археологической древесины со свойствами нормальной древесины изу-

чение физических свойств проводилось по тем же методикам, которые применяются для обычной древесины.

Масса образцов определялась взвешиванием на электрических весах ВЛК-500 с точностью до 0,01 г.

Объем образцов при различной влажности определялся по методу измерения выталкивающей силы, взвешиванием образцов, погруженных в жидкость с той же точностью на тех же весах (Полубояринов 1976). В качестве жидкости использовалась вода.

Линейные размеры измерялись штангенциркулем с точностью до 0,05 мм.

Все измерения образцов проводились в четырех состояниях древесины:

- в исходном состоянии (при максимальной влажности);
- в воздушно сухом состоянии (после высушивания образцов до постоянной массы в комнатных условиях);
- в абсолютно сухом состоянии (после высушивания в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 103°C);
- в мокром состоянии после повторного вымачивания образцов в воде.

Принимаемые формулы и допущения. Применение многих формул в древесиноведении предполагает принятие ряда допущений, которые, к сожалению, не всегда оговариваются. Такие допущения тем более необходимы при оценке тех или иных свойств археологической древесины. При проведении наших исследований были приняты следующие допущения:

1. Плотность древесинного вещества археологической древесины не отличается от плотности древесинного вещества обычной древесины и равна 1,53 г/см³. Плотность древесинного вещества при максимальной влажности (без учета связанной воды в клеточных стенках) равна его плотности в абсолютно сухом состоянии (1,53 г/см³).

2. Плотность воды, содержащейся в археологической древесине, равна 1,0 г/см³;

3. Первоначальная плотность и иные физические свойства древесины археологических находок равны соответствующим табличным показателям малых чистых образцов современной древесины данной породы (по: Боровиков, Уголев 1989);

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, № проекта 03-06-80-390.

² Э. К. Кубло, Л. В. Кокуца. Россия. 173007. Новгород, Кремль, 11. Новгородский государственный музей-заповедник.
Л. Л. Леонтьев. Россия. 194021. Санкт-Петербург, Институтский пер., 3. Санкт-Петербургская лесотехническая академия.
М. И. Колосова. Россия. 191065. Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 34. Государственный Эрмитаж. Отдел научной экспертизы.

4. Общее изменение размеров и объема образцов археологической древесины $IP_{обш}$ складывается из двух взаимонезависимых процессов – усушки, происходящей за счет удаления из клеточных стенок связанной влаги, и усадки, вызванной сжатием клеточных стенок, и рассчитывается для изменения объема по формуле (в скобках указаны №№ образцов):

$$IP_{обш} = IP_{усушка} + IP_{усадка} = \frac{V_{max} - V_0}{V_{max}} \cdot 100 \quad (1)$$

где: V_{max} – объем образца в исходном (мокрое) состоянии, $см^3$;
 V_0 – объем образца в абсолютно сухом состоянии, $см^3$.

5. Изменение объема за счет усадки древесины $IP_{усадка}$ рассчитывается по формуле:

$$IP_{усадка} = \frac{V_{max} - V_{повт}}{V_{max}} \cdot 100 \quad (2)$$

где: V_{max} – объем образца в исходном (мокрое) состоянии, $см^3$;
 $V_{повт}$ – объем образца после повторного размачивания, $см^3$.

6. Изменение объема за счет полной усушки древесины $IP_{усушка}$ рассчитывается по формуле:

$$IP_{усушка} = \frac{V_{повт} - V_0}{V_{повт}} \cdot 100 \quad (3)$$

где: $V_{повт}$ – объем образца в исходном (мокрое) состоянии, $см^3$;
 $V_{повт}$ – объем образца после повторного размачивания, $см^3$;
 V_0 – объем образца в абсолютно сухом состоянии, $см^3$.

Следует оговориться, что показатели изменения размеров и объема за счет усушки не аналогичны соответствующим видам усушки.

7. Изменение объема за счет частичной усушки древесины $IP_{част.усушка}$ рассчитывается по формуле:

$$IP_{част.усушка} = \frac{V_{повт} - V_{в.с.}}{V_{повт}} \cdot 100 \quad (8)$$

где: $V_{повт}$ – объем образца в исходном (мокрое) состоянии, $см^3$;
 $V_{повт}$ – объем образца после повторного размачивания, $см^3$;
 $V_{в.с.}$ – объем образца в воздушно сухом состоянии, $см^3$.

8. Изменения линейных размеров за счет усадки, усушки и общее изменение размеров образцов древесины равны соответствующим изменениям соответствующих линейных размеров, и рассчитываются по формулам, аналогичным формулам 1–3.

Помимо этого использовались общепринятые в древесиноведении показатели и соответствующие формулы для их расчета (Уголев 2001). Влажность археологической древесины W рассчитывалась по формуле:

$$W = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (4)$$

где: m_w – масса образца при влажности W , г;

m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;

Плотность влажной древесины ρ_w рассчитывалась по формуле:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (5)$$

где: m_w – масса образца при влажности W , г;

V_w – объем образца при влажности W , $см^3$.

Плотность абсолютно сухой древесины ρ_0 рассчитывалась по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad (6)$$

где: m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;

V_0 – объем образца в абсолютно сухом состоянии, $см^3$.

Базисная плотность древесины $\rho_{баз}$ рассчитывалась по формуле:

$$\rho_{баз} = \frac{m_0}{V_{повт}} \quad (7)$$

где: m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;

$V_{повт}$ – объем образца в начальном (мокрое) состоянии, $см^3$.

Древесина новгородских раскопок находилась длительное время в грунте, насыщенном водой. За это время, несмотря на подчас значительную деструкцию (разрушение клеточных стенок), древесина достигла состояния максимальной влажности. В этом состоянии древесина выступает как двухфазная система и состоит только из древесинного вещества и воды. Состояние максимальной влажности древесины, так же, как и абсолютно сухое состояние, является единственным для данного образца древесины. Отсутствие воздуха, по-видимому, определило и сохранность археологической древесины, и специфичность ее деструкции.

При определении режимов сохранения древесины и при оценке изменения ее свойств крайне важно знать степень сохранности или разрушения образцов древесины. В работах различных авторов в качестве показателя сохранности древесины обычно использовалась влажность древесины: чем выше значение влажности, тем больше степень разрушения древесины (Sacterhaug 1985; Ambrose 1990; и др.). Однако влажность (а в данном случае речь идет о максимальной влажности) зависит от плотности древесины, в том числе изначальной плотности древесины до начала ее деструкции. Различные древесные породы могут отличаться по плотности довольно сильно, что ведет к несравнимости значений влажности, как показателя сохранности древесины. Например, максимальная расчетная влажность не деструктированной древесины бальзы (*Ochroma lagopus* Sw.) может принимать значения примерно от 500 до 2000%.

Кроме того, при принятии практических решений по сохранению того или иного образца важно знать не содержание в нем воды, а содержание древесинного вещества.

Поэтому одной из задач, стоящей перед нами, был поиск подходящих показателей оценки степени деструкции археологической древесины.

Степень разрушения древесины может быть охарактеризована ее деструкцией D , которая в общем виде определяется по формуле:

$$D = \frac{m_{0\max} - m_{0\text{дестр.}}}{m_{0\max}} \cdot 100 \quad (8)$$

где: $m_{0\max}$ – масса данного образца в абсолютно сухом состоянии до начала деструкции, г;

$m_{0\text{дестр.}}$ – масса образца в абсолютно сухом состоянии после деструкции, г;

Истинная изначальная масса образцов археологической древесины, как и любые другие показатели их свойства, никогда не будут точно известны. Единственным путем оценки предполагаемой степени деструкции является принятие неких средних (табличных) основных показателей данной древесной породы ($\rho_{\text{баз.}}$, $\rho_{\text{баз.}}$, $W_{\text{пл.}}$ и т. д.), и расчет по ним соответствующих предполагаемых параметров образцов (массы, плотности, влажности). Чем точнее и ближе к неизвестным истинным значениям будут подобраны принимаемые исходные значения, тем меньше будет ошибка. К сожалению, это единственный путь оценки примерной деструкции археологической древесины.

В результате проведенных изысканий были выведены три различных формулы для расчета предполагаемой степени деструкции древесины:

1. Для оценки примерной степени деструкции по массе может быть использована следующая формула:

$$D = \frac{m_{0\text{расч.}} - m_{0\text{дестр.}}}{m_{0\text{расч.}}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{m_{0\text{дестр.}}}{m_{0\text{расч.}}}\right) \cdot 100 \quad (9)$$

При этом

$$m_{0\text{расч.}} = V_{\text{макс.дестр.}} \cdot \rho_{\text{баз.теор.}} \quad (10)$$

где: $m_{0\text{расч.}}$ – предполагаемая расчетная масса данного образца в абсолютно сухом состоянии при отсутствии деструкции, г;

$m_{0\text{дестр.}}$ – масса исследуемого образца в абсолютно сухом состоянии, г;

$V_{\text{макс.дестр.}}$ – объем исследуемого образца в исходном состоянии, см^3 ;

$\rho_{\text{баз.теор.}}$ – предполагаемая базисная плотность данного образца при отсутствии деструкции (принимается равной табличному значению базисной плотности древесины данной породы), г/см^3 .

2. Примерная степень деструкции археологической древесины может быть определена по ее максимальной влажности $W_{\text{макс.дестр.}}$:

$$D = \left(1 - \frac{100}{m_{\text{баз.теор.}} \cdot (W_{\text{макс.дестр.}} + 65,36)}\right) \cdot 100 \quad (11)$$

3. Примерная степень деструкции археологической древесины может быть определена по максимальной плотности $\rho_{\text{макс.}}$:

$$D = \frac{\rho_{\text{макс.расч.}} - \rho_{\text{макс.дестр.}}}{\rho_{\text{макс.расч.}} - 1} \cdot 100 \quad (12)$$

где максимальная расчетная плотность $\rho_{\text{макс.расч.}}$ определяется по табличной базисной плотности для данной древесной породы по формуле

$$\rho_{\text{макс.расч.}} = 1 + 0,3464 \cdot \rho_{\text{баз.}} \quad (13)$$

а максимальная плотность деструктивной древесины

$\rho_{\text{макс.дестр.}}$ – по данным измерений образца в состоянии максимальной влажности.

Для удобства расчетов эту формулу можно представить в виде:

$$D = \frac{m_{\text{макс.расч.}} - m_{\text{макс.дестр.}}}{m_{\text{макс.расч.}} - V_{\text{макс.дестр.}}} \cdot 100 \quad (14)$$

где: $m_{\text{макс.расч.}}$ – максимальная расчетная масса, определяемая по максимальной расчетной плотности:

$$m_{\text{макс.расч.}} = \rho_{\text{макс.расч.}} \cdot V_{\text{макс.дестр.}} \quad (15)$$

$m_{\text{макс.дестр.}}$ – максимальная масса деструктивной древесины (в исходном состоянии);

$V_{\text{макс.дестр.}}$ – максимальный объем по данным измерений образца в исходном состоянии.

Определение степени деструкции по массе или максимальной влажности требует взвешивания образцов в исходном состоянии (при максимальной влажности) и в абсолютно сухом состоянии (после высушивания). Для практического использования это крайне неудобно, поскольку требует высушивания археологической древесины, что часто просто невозможно.

Для определения степени деструкции по максимальной плотности не требуется сушить образцы; достаточно определить массу и объем при максимальной влажности (исходное состояние). При определении объема гидростатическим взвешиванием или по определению выталкивающей силы образец может иметь любые размеры и форму, причем, чем больше будет образец, тем меньше ошибка.

Определение предполагаемой деструкции по максимальной плотности является единственным возможным способом примерной оценки деструкции древесины ценных археологических находок, нарушение целостности которых в исследовательских целях невозможно.

Предлагаемые методики оценки примерной степени деструкции древесины могут быть усовершенствованы введением целого ряда дополнительных показателей, более детально характеризующих особенности древесины археологических находок. Использование показателей ширины годичных слоев, процента поздней древесины, количественных характеристик анатомического строения позволит точнее подбирать предполагаемые исходные значения физических свойств исследуемой древесины, что значительно снизит и возможную ошибку.

Результаты. Представленные ниже результаты изучения археологической древесины, по сути, сводятся к оценке изменения тех или иных показателей малых чистых образцов древесины.

Влажность археологической древесины. Особенностью новгородского культурного слоя является крайне высокая влажность почвы, поэтому древеси-

на ископаемых предметах находится в состоянии максимальной влажности.

Влажность археологической древесины в исходном состоянии оказалась значительно (в большинстве случаев, при сильной деструкции в 3–6 раз) выше значений расчетной максимальной влажности древесины исследованных пород (табл. 1), которая обычно не превышала 200%. При крайне сильной деструкции влажность может возрасти почти в 10 раз и достигать 1000%. Наибольшие значения влажности были получены для древесины тополя – 1860%. Подобные значения влажности характерны для прикамбиальных слоев в период формирования клеток ранней древесины, т. е. в период отсутствия вторичной оболочки в клеточных стенках при относительно больших размерах формирующихся клеток.

Анализ влияния различных факторов на показатель влажности выявил, что основной причиной повышения максимальной влажности археологической древесины является не увеличение содержания в ней воды, а снижение содержания древесинного вещества в клеточных стенках, то есть их деструкция.

Крайне высокие значения максимальной влажности говорят не только о резком снижении содержания древесинного вещества в клеточных стенках, но и об отсутствии значительных количеств иных (например, минеральных) веществ в полостях клеток.

Сравнение с данными ряда авторов (Saeterhaug 1985; Ambrose 1990 и др.) показывает, что многие образцы археологической древесины новгородских раскопок имеют влажность, значительно превышающую влажность «сильно разрушенных» образцов примерно тех же пород. В то же время для ольхи и вяза приводятся значения влажности древесины, близкие к влажности некоторых наших образцов (Kaue, Cole-Hamilton 1994).

Плотность археологической древесины значительно отличалась от табличных или расчетных значений плотности древесины данных пород.

Плотность любой древесины при максимальной влажности (максимальная плотность древесины) находится в диапазоне от 1000 до 1530 кг/м³, никогда не достигая этих значений. Чем больше в реальной древесине доля клеточных стенок, тем ближе значение максимальной плотности к плотности древесинного вещества. *Максимальная плотность* археологической древесины (табл. 2) всех пород находилась в диапазоне от 1019 кг/м³ до 1092 кг/м³ (за исключением древесины с кренью, засмолками, древесины сучков, имеющих изначально более высокую плотность, и древесины ядра дуба). Максимальная плотность исследованной археологической древесины была гораздо ближе к плотности воды, чем к плотности древесинного вещества, что свидетельствует об увеличенной доле полостей клеток в образцах и подтверждает значительную потерю древесинного вещества в клеточных стенках.

В то же время, полученные цифры вполне соответствуют максимальной расчетной плотности не деструктированной ультралегкой древесины бальзы, которая составляет примерно 1017–1069 кг/м³.

Базисная плотность древесины показывает содержание сухого вещества в единице объема сырой древесины. Поскольку объем образцов древесины археологических находок существенно не изменялся, данный показатель, при сравнении с базисной плотностью нормальной древесины, будет характеризовать изменение содержания абсолютно сухого вещества, то есть деструкцию древесины.

За исключением древесины сучков, древесины с засмолком или кренью, у большинства образцов отмечено значительное снижение базисной плотности. Максимальное снижение произошло у сильно деструктированной древесины тополя – в 7,06 раза. В большинстве случаев снижение составляло от 2 до 4 раз. Относительно небольшое снижение отмечено у древесины ядра дуба (менее 2 раз) и у некоторых образцов хвойных пород.

При значительной степени деструкции базисная плотность составляла у большинства образцов 100–150 г/см³; абсолютного минимума она достигла у очень сильно деструктированной древесины тополя – 53,09 г/см³. Эти значения вполне сопоставимы со значениями базисной плотности нормальной древесины ультралегких пород (бальза и др.).

На *плотность* древесины в *абсолютно сухом состоянии* помимо деструкции клеточных стенок сильно влияет величина изменения объема образца при высыхании. Поэтому закономерности изменения этого показателя оказались более сложными, и в ряде случаев фактические ρ_0 значительно превышали табличные для данной породы. Наличие не только усушки, но и значительной усадки (смятия) образцов археологической древесины при высыхании, делает показатель плотности в абсолютно сухом состоянии гораздо менее ценным для практического использования и значительно менее информативным, чем у нормальной древесины.

Определение степени деструкции археологической древесины. В данной работе мы не ставили перед собой цели максимально точного определения степени деструкции археологической древесины. Усовершенствование разработанных нами методик определения деструкции может идти и дальше со значительным повышением точности оценки, за счет привлечения целого ряда дополнительных признаков. Однако эти методики потребуют и гораздо более детального анализа древесины самих археологических находок: определения ширины годичных слоев, процента поздней древесины, клеточного состава, наличия и количественной оценки гнилей и т.д., что значительно усложнит и удорожит всю процедуру.

Следует отметить специфичность деструкции археологической древесины. Несмотря на очень сильную степень деструкции у многих образцов, выраженную в значительной потере массы древесинного вещества, практически все исследованные образцы сохранили свою предполагаемую первоначальную форму и общую структуру как древесного материала. Деструкция археологической древесины проходила, очевидно, по пути достаточно равномерного (по всему объему образца) частичного (часто значительно-

Таблица 1. Максимальная влажность археологической древесины из новгородских раскопок

Table 1. Maximum humidity of archaeological wood from excavations in Novgorod

Порода	№	Зона	Результаты статистической обработки максимальной влажности ископаемой древесины						Максимальная расчетная $W_{\text{max, расч. образца, \%}}$	Максимальная расчетная $W_{\text{max, расч. породы, \%}}$	Превышение максимальной расчетной влажности	
			Влажность в сыром состоянии $W_{\text{max, descr. \%}}$								%	раз
			M	±	m	N	σ	V				
ель	1		322,21	±	11,15	3	19,32	6,0	235,76	208,61	113,60	1,54
	1		619,83	±	38,80	7	102,66	16,6	526,52		411,22	2,97
	4		352,48	±	15,95	4	31,89	9,0	264,74		143,86	1,69
	8		406,53	±	14,59	7	38,6	9,5	321,01		197,92	1,95
	9		457,17	±	9,93	5	22,21	4,9	373,30		248,56	2,19
	9		344,49	±	15,02	6	36,80	10,7	257,87		135,88	1,65
	26		252,82	±	1,41	3	2,44	1,0	170,16		44,2	1,21
сосна	19		567,24	±	4,66	4	9,33	1,6	482,39	175,60	391,63	3,23
	23		307,13	±	9,14	8	25,86	8,4	222,20		131,53	1,75
береза	2		716,97	±	72,58	4	145,17	20,2	609,26	126,95	590,02	5,65
	10		711,69	±	19,63	9	58,88	8,3	629,19		584,74	5,61
	16		707,23	±	11,33	7	29,97	4,2	626,04		580,28	5,57
	22		557,09	±	30,20	4	60,40	10,8	473,85		430,14	4,39
клен	14		637,89	±	32,92	5	73,62	11,5	550,73	110,08	527,81	5,79
	27		397,60	±	29,12	4	58,25	14,6	300,20		287,52	3,61
ольха	7		740,29	±	16,63	4	33,27	4,5	661,49	167,20	573,09	4,43
	24		802,92	±	13,16	9	39,48	4,9	721,73		635,72	4,80
	29		300,00	±		1			223,12		132,80	1,79
ива	11		726,99	±	31,09	3	53,85	7,4	646,06	226,72	500,27	3,21
липа	15		920,25	±	17,29	4	34,59	3,8	833,58	178,54	741,71	5,15
тополь	17	наружные	1860,68	±	126,06	6	308,78	16,6	1730,58	201,31	1659,37	9,24
	17	внутрен.	796,82	±	60,38	9	181,15	22,7	684,25		595,51	3,96
осина	20		937,17	±	22,51	5	50,34	5,4	849,58	184,64	752,53	5,08
вяз	21		555,26	±	37,14	4	74,27	13,4	469,74	121,56	433,70	4,57
	6		585,76	±	43,65	2	61,74	10,5	515,88		585,76	4,82
	28		375,44	±	44,03	4	88,07	23,5	274,77		375,44	3,09
дуб	3	заболонь	591,55	±	13,38	4	26,76	4,5	516,21	110,08	481,47	5,37
			641,91	±	11,99	5	26,80	4,2	559,72		531,83	5,83
			772,73	±	8,39	3	14,54	1,9	702,12		662,65	7,02
			277,51	±	15,21	4	30,42	11,0	213,56		167,43	2,52
			472,22	±		1			419,22		362,14	4,29
	3	ядро	123,76	±	1,21	4	2,43	2,0	36,18		13,69	1,12
			134,03	±	4,09	4	8,18	6,1	43,39		23,95	1,22
			241,72	±	0,65	2	0,92	0,4	156,55		131,64	2,20
			159,54	±	13,49	10	42,65	26,7	64,29		49,46	1,45
			137,74	±	4,36	4	8,72	6,3	50,07		27,66	1,25

го) разрушения веществ, образующих клеточную стенку. Хорошая общая сохранность исследованной древесины подтверждается и проведенным анатомическим изучением образцов археологической древесины.

Средние значения деструкции отдельных образцов по породам представлены в таблице 3. В связи с неоднородностью строения некоторых образцов, или различной степенью деструкции их древесины, в ряде

случаев при статистической обработке пришлось произвести дополнительное деление в пределах одного образца.

Определение деструкции по предполагаемому изменению массы образца в абсолютно сухом состоянии является наиболее прямым способом оценки деструкции, но применение данного способа на практике не всегда возможно. С другой стороны, для оценки деструкции по этому методу не обязательно наход-

Таблица 2. Максимальная плотность археологической древесины новгородских раскопок

Table 2 Maximum density of archaeological wood from excavations in Novgorod

Результаты статистической обработки плотности археологической древесины в исходном состоянии							Расчетные и табличные значения плотности, кг/м ³			Снижение максимальной плотности, %	
порода	№	зона	плотность ρ_{max} кг/м ³				$\rho_{расч}$	ρ_D	$\rho_{вк}$		
			M	$\pm m$	N	s				V	
ель	1		1084,38	$\pm 2,76$	3	4,77	0,4	1126,44	420	365	3,73
	1		1040,80	$\pm 5,28$	7	13,96	1,3				7,60
	4		1078,74	$\pm 3,96$	4	7,92	0,7				4,23
	8		1063,03	$\pm 1,91$	7	5,05	0,5				5,63
	9		1057,37	$\pm 1,24$	5	2,77	0,3				6,13
	9		1075,09	$\pm 2,75$	6	6,73	0,6				4,56
	26		1091,79	$\pm 7,01$	3	12,14	1,1				3,08
сосна	19		1050,00	$\pm 1,92$	4	3,84	0,4	1143,76	480	415	8,20
	23		1081,21	$\pm 2,48$	8	7,01	0,6				5,47
береза	2		1045,09	$\pm 4,39$	4	8,79	0,8	1180,13	620	520	11,44
	10		1032,78	$\pm 1,87$	9	5,61	0,5				12,49
	16		1034,79	$\pm 2,23$	7	5,90	0,6				12,32
	22		1040,95	$\pm 2,25$	4	4,49	0,4				11,79
клен	14		1040,10	$\pm 2,93$	5	6,55	0,6	1197,45	655	570	13,14
	27		1085,48	$\pm 7,36$	4	14,72	1,4				9,35
ольха	7		1030,29	$\pm 4,37$	4	8,74	0,8	1148,95	495	430	10,33
	24		1030,51	$\pm 2,78$	9	8,35	0,8				10,31
	29		1063,49	± 1							7,44
ива	11		1031,95	$\pm 1,96$	3	3,39	0,3	1118,60	394	342	7,75
липа	15		1033,22	$\pm 0,19$	4	0,38	0,0	1142,02	470	410	9,53
тополь	17		1018,72	$\pm 0,66$	6	1,62	0,2	1129,90	425	375	9,84
	17		1034,75	$\pm 1,85$	9	5,55	0,5				8,42
осина	20		1032,53	$\pm 1,09$	5	2,44	0,2	1138,56	465	400	9,31
вяз	6		1020,80	$\pm 4,41$	2	6,23	0,6	1185,32	620	535	13,88
	21		1041,85	$\pm 6,10$	4	12,20	1,2				12,10
	28		1081,96	$\pm 5,43$	4	10,87	1,0				8,72
дуб	3	заболонь	1032,34	$\pm 3,12$	4	6,24	0,6	1197,45	655	570	13,79
	12		1039,85	$\pm 1,00$	5	2,24	0,2				13,16
	13		1020,39	$\pm 3,57$	3	6,19	0,6				14,79
	18		1023,23	$\pm 16,93$	4	33,86	3,3				14,55
	25		–	1			–				
	3	ядро	1182,69	$\pm 1,05$	4	2,09	0,2				1,23
	12		1190,30	$\pm 4,68$	4	9,37	0,8				0,60
	13		1103,94	$\pm 0,11$	2	0,16	0,0				7,81
	18		1165,34	$\pm 8,37$	10	26,46	2,3				2,68
	25		1169,35	$\pm 3,96$	4	7,92	0,7				2,35

дене образца в состоянии максимальной влажности. Это крайне удобно для оценки деструкции неархеологической древесины, или археологической древесины, находившейся в иных, значительно более сухих условиях. Кроме того, данный метод позволяет контролировать величину деструкции древесины, определенную по максимальной влажности, в случае какого-либо нарушения условий хранения и частичного подсыхания образцов древесины.

В целом меньшей деструкции была подвержена древесина ядра дуба и некоторых образцов хвойных пород. Гораздо более значительная деструкция происходила у древесины заболони дуба, древесины вяза, и древесины всех лиственных рассеянносудистых пород, независимо от изначальной плотности.

При определении деструкции по максимальной влажности так же, как и в предыдущем методе, используется масса образцов в абсолютно сухом состоя-

Таблица 3. Деструкция образцов археологической древесины, определенная разными методами

Table 3. Destruction of specimens of archaeological wood evaluated by different methods

Порода	№	Зона	Кол-во повторностей	Деструкция по массе		Деструкция по влажности				Деструкция по плотности			
				M	± m	s	M	± m	s	M	± m	s	
ель	1		3	29,53	± 2,02	3,50	29,20	± 2,02	3,50	33,27	± 2,18	3,78	
	1		7	59,67	± 2,21	5,86	59,29	± 2,19	5,78	67,73	± 4,17	11,04	
	4		4	34,43	± 2,53	5,05	34,15	± 2,51	5,01	37,73	± 3,13	6,25	
	8		7	42,21	± 1,76	4,65	41,60	± 1,81	4,78	50,13	± 1,51	4,01	
	9		5	47,96	± 0,89	2,00	47,48	± 0,97	2,16	54,62	± 0,98	2,19	
	9		6	33,32	± 2,47	6,04	32,68	± 2,56	6,26	40,60	± 2,17	5,33	
	26		3	15,20	± 0,21	0,36	13,90	± 0,38	0,66	27,40	± 5,55	9,61	
сосна	19		4	62,08	± 0,21	0,42	61,88	± 0,28	0,57	65,20	± 1,34	2,68	
	23		8	35,78	± 1,48	4,17	35,06	± 1,47	4,17	43,51	± 1,72	4,86	
береза	2		4	74,78	± 2,36	4,72	74,75	± 2,37	4,75	74,95	± 2,45	4,91	
	10		9	75,43	± 0,61	1,82	75,12	± 0,61	1,83	81,78	± 1,04	3,12	
	16		7	75,31	± 0,39	1,03	75,07	± 0,38	1,02	80,70	± 1,24	3,27	
	22		4	69,33	± 1,56	3,11	68,88	± 1,59	3,18	77,25	± 1,25	2,51	
клен	14		5	75,08	± 1,12	2,50	74,84	± 1,13	2,53	79,68	± 1,48	3,31	
	27		4	61,28	± 2,53	5,05	61,68	± 2,40	4,80	56,70	± 3,73	7,47	
ольха	7		4	71,43	± 0,64	1,29	71,10	± 0,60	1,19	79,68	± 2,92	5,84	
	24		9	73,40	± 0,39	1,18	73,16	± 0,40	1,19	79,51	± 1,87	5,61	
	29		1	38,20	±		36,30	±		57,40	±		
ива	11		3	63,43	± 1,41	2,44	63,00	± 1,42	2,45	73,03	± 1,66	2,87	
липа	15		4	75,28	± 0,42	0,83	75,23	± 0,43	0,87	76,60	± 0,12	0,24	
тополь	17		6	85,85	± 0,96	2,34	85,85	± 0,98	2,40	85,57	± 0,51	1,25	
	17		9	68,17	± 2,04	6,12	67,92	± 2,09	6,26	73,23	± 1,42	4,25	
осина	20		5	75,06	± 0,55	1,24	75,02	± 0,56	1,25	76,52	± 0,79	1,76	
вяз	6		2	72,10	± 1,90	2,69	71,15	± 1,95	2,76	88,80	± 2,40	3,39	
	21		4	70,00	± 1,76	3,51	69,58	± 1,73	3,46	77,43	± 3,29	6,58	
	28		4	56,33	± 4,18	8,35	56,30	± 4,28	8,56	55,80	± 2,94	5,87	
дуб	3	заболонь	4	73,78	± 0,46	0,92	73,25	± 0,55	1,09	83,60	± 1,58	3,17	
			12	5	75,38	± 0,40	0,89	75,16	± 0,41	0,91	79,82	± 0,49	1,10
			13	3	79,50	± 0,21	0,36	79,07	± 0,22	0,38	89,67	± 1,82	3,16
			18	4	52,13	± 2,60	5,19	48,53	± 2,39	4,77	81,43	± 7,40	12,83
			25	1	69,30	±		67,40	±		-		
	3	ядро	4	7,25	± 0,56	1,11	7,25	± 0,60	1,19	7,50	± 0,52	1,04	
			12	4	10,65	± 1,93	3,86	11,90	± 1,85	3,69	3,63	± 2,38	4,76
			13	2	43,30	± 0,10	0,14	42,85	± 0,15	0,21	47,35	± 0,05	0,07
			18	10	19,27	± 4,23	13,38	19,72	± 4,23	13,37	16,26	± 4,24	13,40
			25	4	13,60	± 1,86	3,73	13,50	± 1,85	3,70	14,23	± 2,01	4,01

нии. Очевидно, поэтому и результаты оценки предполагаемой деструкции по максимальной влажности древесины были очень близки к результатам оценки деструкции по предыдущему методу. Соответственно, аналогичны и закономерности изменения показателей деструкции (табл. 3). Деструкция, определенная по данному методу, в большинстве случаев была несколько меньше деструкции, определенной по массе.

Оценка деструкции по максимальной плотности является наиболее интересным показателем для археологической древесины, поскольку позволяет оце-

нить деструкцию и принять решение по методике сохранения экспонатов сразу по их получению, не производя с ними никаких необратимых действий.

Для большинства исследованных образцов деструкция, определенная по методу максимальной плотности, вполне согласовывалась с показателями деструкции, определенными двумя другими методами (табл. 3), но величина различий между предыдущими была значительно выше. Чаще определение деструкции по методу максимальной плотности дает более высокие значения.

При использовании этого метода, в некоторых случаях получались значения деструкции равные (или даже превышающие) 100%; это происходило на относительно мелких образцах, и, вероятно, объясняется ошибкой в определении объема этих образцов методом погружения в воду. Очевидно, оценка деструкции по максимальной плотности на мелких и значительно деструктурированных образцах требует более точного оборудования для определения объема. Использование целых изделий (археологических находок) для определения степени их деструкции по данному методу является благоприятным фактором и будет способствовать повышению точности.

Отрицательные значения деструкции, независимо от метода, получались для образцов с неправильно подобранными параметрами исходной (нормальной) древесины (древесины сучков, крени и засмолок у хвойных пород). Дифференцированный подход к исходным параметрам в пределах породы исключит такие ошибки.

Изменение размеров и объема образцов археологической древесины при высыхании имеет огромное практическое значение, поскольку связано с сохранением формы и целостности древесных археологических находок. При высыхании археологической древесины её объем изменяется и за счет усадки (смятия клеточек с ослабленными клеточными стенками) и за счет усушки. Полностью разделить эти процессы достаточно сложно (а может быть и невозможно). Поэтому полученные результаты отдельно по изменению размеров и объема за счет усушки и усадки до некоторой степени условны.

Изменения размеров образцов древесины вдоль волокон при усушке или разбухании обычно незначительные, что объясняется небольшим углом наклона микрофибрилл в среднем слое вторичной оболочки клеточных стенок.

У исследованных образцов хвойных и лиственных кольцесосудистых пород полное изменение размеров в продольном направлении было положительным, но относительно небольшим. Лишь у двух образцов ели оно составило 2–3%, что не характерно для нормальной древесины.

У исследованных образцов лиственных рассеянососудистых пород полное изменение размеров в продольном направлении было гораздо больше, достигая у сильно деструктурированной древесины тополя 11,5%. Такие значения никогда не встречаются у нормальной древесины. Они свидетельствуют, очевидно, о значительной деструкции микрофибрилл целлюлозы в среднем слое вторичной оболочки.

Разница изменения размеров образцов при высыхании в радиальном и тангенциальном направлении обусловлена влиянием сердцевинных лучей: в радиальном направлении они являются сдерживающим фактором.

Полное изменение радиальных размеров археологической древесины было в большинстве случаев в два с лишним раза меньше изменения тангенциальных размеров. Только у сильно деструктурированной древесины тополя полное изменение радиальных

размеров значительно превышало полное изменение тангенциальных размеров и было крайне высоким – 74,3%.

Полное изменение размеров в тангенциальном направлении было относительно большим и составляло 9–11% у хвойных, 13–14% у лиственных кольцесосудистых и около 50% у лиственных рассеянососудистых пород.

Показатели полного изменения объема образцов археологической древесины являются комплексными и суммирующими изменения линейных размеров.

У хвойных пород полное изменение объема образцов при высыхании в большинстве случаев было относительно небольшим (до 21%). У лиственных пород происходило гораздо большее изменение объема при высыхании и часто оно достигало значений 70% и более.

Изменение размеров образцов как за счет полной, так и за счет частичной усушки археологической древесины вдоль волокон у хвойных и лиственных кольцесосудистых пород в большинстве случаев характеризовалось небольшими значениями. Эти показатели были значительно меньше соответствующих изменений радиальных и тангенциальных размеров. Значительное изменение размеров в продольном направлении за счет усушки отмечалось на образцах, имеющих большую (60–80%) степень деструкции древесины.

У лиственных рассеянососудистых пород значения изменения размеров за счет и частичной и полной усушки вдоль волокон были значительно больше. Во многих случаях они приближались или даже превосходили соответствующие значения радиального (и даже тангенциального) изменения размеров. Очевидно, это свидетельствует о сильном разрушении среднего слоя вторичной оболочки клеточных стенок. Из приведенных ниже графиков (рис. 1 и 2) видно, что при деструкции около 80% обычно происходит выравнивание показателей изменения линейных размеров за счет усушки в различных направлениях. Поскольку доля среднего слоя вторичной оболочки составляет порядка 75–80%, и если предположить, что внутренние слои клеточной оболочки разрушились полностью (так как содержат больше гемицеллюлоз и меньше лигнина), то доля срединного слоя вторичной оболочки в археологической древесине при такой деструкции должна быть незначительной. Естественно, что на усушку большее влияние оказывает уже не средний слой вторичной оболочки, а первичная оболочка и наружный слой вторичной оболочки, где ориентация микрофибрилл либо хаотичная, либо сильно отклоняется от продольной оси клетки.

При относительно небольшой степени деструкции (хвойные породы) изменение размеров за счет радиальной усушки археологической древесины отличалось меньшими значениями. Причем изменения размеров за счет частичной усушки были в большинстве случаев примерно в два раза меньше, чем за счет полной усушки. При значительной деструкции *ИР* частичной усушки были практически равны *ИР* полной радиальной усушки.

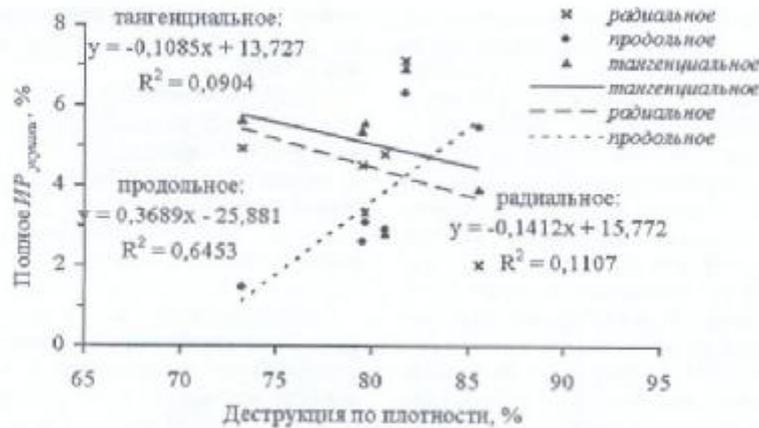


Рис. 1. Зависимость усушки рассеянососудистых пород от деструкции по массе

Fig. 1. Dependence of shrinkage of vaso-dispersed wood species on the mass changes during destruction

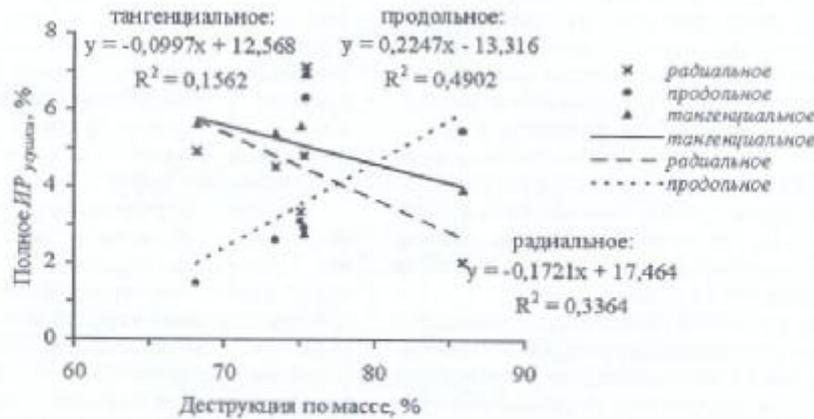


Рис. 2. Зависимость усушки рассеянососудистых пород от деструкции по плотности

Fig. 2. Dependence of shrinkage of vaso-dispersed wood species on the density changes during destruction

В любом случае, при сильной деструкции практически вся радиальная усушка происходит при высыхании до комнатно-сухой влажности, а именно к этой влажности приводятся экспонаты археологических находок из древесины.

Изменение размеров за счет полной тангенциальной усушки слабо деструктивной археологической древесины (хвойные и лиственные кольцесосудистые породы) было значительно больше. ИР частичной усушки у этих пород было заметно ниже ИР полной усушки.

У лиственных рассеянососудистых пород, отличающихся значительной деструкцией, ИР за счет тангенциальной усушки были меньше, причем при частичной усушке мало отличались от полной.

Снижение значений ИР за счет радиальной и тангенциальной усушки сильно деструктурированной древесины лиственных рассеянососудистых пород и их сближение между собой, вероятно связано с влиянием

усадки (смятия) древесины при высыхании. Во всяком случае, зигзагообразное искривление сердцевинных лучей на поперечном разрезе отмечалось для старой древесины, долгое время находившейся в эксплуатации (Пищик, Гончарова 1991). Такое изменение сердцевинных лучей, безусловно, сильно ослабляет их армирующее действие в древесине.

ИР за счет полной объемной усушки археологической древесины хвойных пород отличалось значениями, близкими к табличным значениям усушки. Основная доля объемной усушки приходится на диапазон влажности до комнатно-сухого состояния.

У лиственных рассеянососудистых пород ИР за счет полной объемной усушки археологической древесины было значительно меньше показателей усушки нормальной древесины, особенно у мягколиственных пород. Очевидно, это связано с гораздо большим смятием древесины мягколиственных пород при высыхании.

ИР за счет полной объемной усушки археологической древесины лиственных кольцесосудистых пород было больше показателей усушки нормальной древесины, особенно для ядра дуба (превышение табличных значений примерно в 2 раза).

Значения *ИР* за счет усадки археологической древесины вдоль волокон были в большинстве случаев незначительны и сопоставимы со значениями продольной усушки нормальной древесины. Только древесина клена и сильно разрушенная древесина тополя имели гораздо большую продольную усадку – 3,32 и 5,99 %, соответственно.

Усадка археологической древесины хвойных и лиственных кольцесосудистых пород в радиальном направлении также невелика.

Археологическая древесина лиственных рассеяннососудистых пород отличается очень большой – 15–20% радиальной усадкой, гораздо большей, чем радиальная усушка нормальной древесины. Радиальная усадка сильно разрушенной древесины тополя превышала 70%.

ИР за счет усадки археологической древесины в тангенциальном направлении составляет 2–3% у хвойных и около 4% в заболони лиственных кольцесосудистых пород. Эти цифры значительно ниже соответствующих показателей полной тангенциальной усушки.

ИР за счет тангенциальной усадки древесины ядра дуба близко к *ИР* за счет усадки в продольном направлении.

Археологическая древесина лиственных рассеяннососудистых пород характеризуется крайне большой – 42–53% тангенциальной усадкой. Эти показатели на порядок превышают соответствующие значения полной тангенциальной усушки.

ИР за счет объемной усадки древесины хвойных пород и яровой древесины дуба в большинстве случаев невелика и не превышает 5–10%. Лишь при разрушении хвойной древесины около 60% отмечается значительное повышение влияния объемной усадки – до 17–23%, по-видимому, за счет увеличения радиальной усадки.

ИР за счет объемной усадки в заболони дуба и в древесине вяза составляет 15–60%. Археологическая древесина лиственных рассеяннососудистых пород в большинстве случаев отличалась очень большим изменением размеров за счет объемной усадки – около 60%, а в сильно разрушенной древесине тополя этот показатель превышал 90%.

При равномерной разрушении древесины разрушение клеточных стенок начинается со стороны люмена и распространяется по направлению к срединной пластинке (Фенгел, Вегенер 1988). Это обусловлено и тем, что во внутренних слоях клеточной оболочки содержится гораздо больше относительно легкорастворимых веществ и очень мало лигнина. Изменение же химического состава древесины при старении начинается с легкорастворимых веществ; лигнин является наиболее устойчивым компонентом (Пищик и др. 1971; Фенгел, Вегенер 1988; Fengel 1989; Кистерная 2000).

Таблица 4. Условия пропитки образцов

Table 4. Parameters of impregnation of the samples

ПГ-400	15%	18–20°	12 недель
ПГ-1500	30%	35°	12 недель
ПГ-4000	35%	35°	12 недель
ПГ-4000	35%	35°–40°	24 недели
ПГ-4000	50%	35°	12 недель

Эти превращения хорошо согласуются с изменениями размеров древесины за счет усушки при разной степени ее разрушения.

С увеличением степени разрушения древесины изменение её размеров за счет усадки возрастало, особенно резко при значениях разрушения более 50%. Изменение размеров за счет усушки древесины, за исключением продольных, наоборот, с увеличением разрушения обычно значительно снижалось.

Режим пропитки древесины полигликолями. Полиэтиленгликоли – высокомолекулярные синтетические воски, которые в настоящее время широко используются при стабилизации мокрой археологической древесины. Имеется в виду, что частичная или полная замена воды в древесине предотвратит разрушение клеточной структуры в процессе высыхания. Существует несколько видов ПГ в зависимости от молекулярного веса, растворимости, гигроскопичности и других характеристик. ПГ достаточно удобны в работе, поскольку растворимы в воде и не токсичны. Однако, в той или иной степени, они (в зависимости от молекулярного веса) имеют свойство адсорбировать влагу, и слишком большое их количество в древесине создает проблемы при последующем хранении.

Для пропитки были взяты водные растворы ПГ с молекулярным весом 400, 1500 и 4000 с концентрацией раствора от 15 до 35% и сроками пропитки 12 недель и 24 недели (табл. 4)

После пропитки образцы были заморожены в камере предварительного замораживания при t° -18°, а затем высушены в вакуумной камере при t° от -18° в начальной стадии до 0° в конце процесса. Высушенные образцы мы сравнили с контрольными и получили следующие результаты.

Самым незначительным изменениям подверглись образцы хвойных пород: ели и сосны, причем различные режимы пропитки дали практически одинаковый результат. Образцы лиственных рассеяннососудистых пород с разрушением свыше 50% показали различные результаты в зависимости от выбора ПГ. Лучший результат дали образцы, пропитанные 15% ПГ-400 и 35% ПГ-4000 – 24 недели, то есть длительная пропитка. Несмотря на значительную потерю древесинного вещества, эти образцы после пропитки и сублимации сохранили внешнюю форму. После пропитки в ПГ-400 они оказались самыми светлыми и легкими, но в значительной степени потеряли физическую прочность и проявили склонность к выкрошке, что для последующего хранения крайне нежелательно.

Для кольцесосудистых пород наилучший результат показала пропитка в 15% ПГ-400, особенно для дуба с его неравномерными показателями от заболони к ядру.

Для всех образцов никаких обнадеживающих результатов не выявила пропитка в 50% ПГ-4000, а для рассеяннососудистых оказалась совсем не приемлемой: после сушки появилась неравномерная деформация, исказив форму предмета. Для таких пород, как береза, осина, ясень, тополь, ольха, клен следует испытать смешанную пропитку: 15% ПГ-400 с последующей заменой или добавлением 35% ПГ-4000.

Основные выводы. 1. Сочетание сильной деструкции (до 60–70% потери массы у многих пород) с сохранением общей структуры древесины в образцах археологической древесины новгородских раскопок говорит о том, что: а) не произошло микогенного разрушения древесины (вероятное исключение – заболонь дуба); б) не произошло насыщения древесины какими-либо иными (минеральными) веществами.

2. Исходя из примерного химического состава древесины (клеточных стенок): целлюлозы 35–50%, гемицеллюлозы и лигнина по 20–30%, особенностей химических свойств этих веществ и степени деструкции древесины 60–70% совершенно очевидно предположить полное разрушение и вывод из древесины гемицеллюлозы и частичное (часто значительное) разрушение целлюлозы и лигнина. Причем разрушение целлюлозы, очевидно, более сильное, за счет большей ее доли во внутренних слоях клеточной стенки.

3. При деструкции древесины около 80% происходит выравнивание величины изменения размеров за счет усушки в радиальном, тангенциальном и продольном направлении.

4. Увеличение продольной усушки и усадки у листовых рассеяннососудистых пород при значительной степени деструкции позволяет предположить, что в первую очередь происходит деструкция внутренних слоев клеточных стенок (W_s и S_2). Причем средний

слой вторичной оболочки S_2 подвержен очень сильному разрушению.

5. Неравномерность усадки и полное изменение размеров сохраняется и при очень сильной деструкции за счет клеточного строения; смятие полых волокон (трубок) в поперечном направлении значительно легче, чем в продольном.

6. У сильно деструктированной древесины клеточные стенки ослаблены. Поэтому при высыхании такой древесины не возникает больших внутренних напряжений в древесине, а усадка (смятие) происходит за счет «слабости» самих клеточных стенок (в отличие от смятия клеток нормальной древесины, происходящих за счет внутренних напряжений).

7. Отсутствие внутренних напряжений облегчает процесс сохранения древесины без появления трещин усушки.

8. Нарушение целостности предмета происходит при сочетании небольшой степени деструкции с относительно высокой плотностью древесины. За счет неравномерности усушки и относительной жесткости образца в древесине возникают внутренние напряжения; прочность же в поперечных направлениях даже у нормальной древесины невысокая, а при любой деструкции она становится еще меньше. В результате возникают различные разрывы древесины. Такие явления характерны для образцов древесины дуба.

Консервация. Опробована методика перевода мокрой археологической древесины в сухое состояние вымораживанием, когда из древесины испаряется лед, минуя жидкую фазу. Процесс происходит в вакуумной камере при отрицательных температурах. Предварительно образцы проходят процесс пропитки в полиэтиленгликолях, имеющих различные характеристики. При выборе методики консервации нужен дифференцированный подход, где должны учитываться такие факторы, как порода древесины, степень деструкции, плотность, а также форма и объем предмета.

Боровиков, Уголев 1989 – Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М., 1989.
 Вихров 1958 – Вихров В. Е. Использование древесины в древнем Новгороде // Работы по лесоведению. Труды института леса. № 37. М., 1958. С. 266–279.
 Кистерия 2000 – Кистерия М. В. Оценка состояния древесины архитектурных памятников. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2000.
 Колосова, Короткевич 2004 – Колосова М. И., Короткевич Б. С. Древесина в хозяйстве, ремеслах и быту Старой Ладогы VIII–X веков // Строение, свойства и качество древесины – 2004. Труды IV международного симпозиума. Т. 1. СПб., 2004. С. 70.
 Леонтьев, Кубло, Колосова 2004 – Леонтьев Л. Л., Кубло Э. К., Колосова М. И. Свойства древесины XII–XIV веков из новгородских раскопок // Строение, свойства и качество древесины – 2004. Труды IV международного симпозиума. № 1. СПб., 2004. С. 292–296.
 Пашик, Гончарова 1991 – Пашик И. И., Гончарова Е. В. Изменение микростроения древесины в процессе эксплуатации в памятниках // Лесной журнал. № 1. М., 1991. С. 120–122.

Пашик, Фефилов, Бурьянская 1971 – Пашик И. И., Фефилов В. В., Бурьянская Ю. И. О химическом составе и физических свойствах свежей и выдержанной древесины // Лесной журнал. № 6. М., 1971. С. 89–93.
 Полубояринов 1976 – Полубояринов О. И. Плотность древесины. М., 1976.
 Уголев 2001 – Уголев Б. Н. Древесноведение с основами лесного товароведения. М., 2001.
 Фенгел, Вегенер 1988 – Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакция). Пер. с англ. М., 1988.
 Ambrose 1990 – Ambrose W. R. Application of Freeze-Drying to Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation. Washington, 1990. P. 235–261.
 Saeterhaug 1985 – Saeterhaug R. Investigations concerning the freeze-drying of waterlogged wood conducted at the university of Trondheim // Proceedings of the Second ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference / Grenoble, 1985. P. 195–206.
 Kaye, Cole-Hamilton 1994 – Kaye B., Cole-Hamilton D. Novel Approaches to the Conservation of Wet Wood. A Celebration of Wood. WARP Occasional Paper N 8. York, 1994. P. 35–48.
 Fengel 1989 – Fengel D. Aging and fossilization of wood and its components // JAWA bull. n. s. V. 10. № 3. 1989. P. 334–335.

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF ARCHAEOLOGICAL WOOD AND PROBLEMS OF CONSERVATION

L. L. LEONT'EV, E. K. KUBLO, M. I. KOLOSOVA, L. V. KOKUTSA

The main properties. 1. The combination of heavy destruction (the mass loss up to 60–70 percent in many wood species) with preservation of the general structure of the wood in samples of archaeological wood from excavations in Novgorod suggests that: a) this wood has not been subjected to any mycogeneous destruction (with a possible exception of oak alburnum), and b) the wood has not been saturated with any other (mineral) substances.

2. On the basis of the approximate chemical composition of wood (cellular walls): 35–50% cellulose, 20–30% of each hemicellulose and lignin, as well as the peculiar chemical properties of these substances and the extent of destruction of wood equal to 60–70%, it is quite natural to suppose the complete destruction and withdrawal of hemicelluloses from the wood and partial (often considerable) destruction of cellulose and lignin, that of cellulose being more extensive due to its higher contents in the inner layers of the cellular walls.

3. When destruction of wood reaches 80%, levelling of the dimensional changes occurs owing to shrinkage in the radial, tangential and longitudinal directions.

4. The increase of longitudinal drying and shrinkage in deciduous vaso-dispersed species at considerable degrees of destruction suggests that the destruction of the inner layers of cellular walls (W_1 , S_1 and S_2) first takes place. Moreover, the middle layer of the secondary envelope S_2 is subjected to a very strong destruction.

5. The non-uniform shrinkage and complete change of the dimensions continues also during very extensive destruction due to the cellular structure; crumpling of

hollow fibres (pipes) in the transversal direction occurs considerably easier than in the longitudinal one.

6. In strongly destructed wood, cellular walls are weakened. As a result, during drying no considerable inner tensions occur in such wood, the shrinkage (crumpling) taking place owing to the «weakness» of the cellular walls themselves (in contrast to the crumpling of normal wood resulting of inner tensions).

7. The absence of inner tensions is propitious to the process of preservation of wood without the formation of shrinkage fissures.

8. Disruption of an object takes place when a small extent of destruction is combined with a relatively high density of the wood. Owing to irregularity of the shrinkage and relative rigidity of the sample, inner tensions appear in the wood, the transversal strength, which even in normal wood is fairly low, decreasing still more during any destruction. As a result, diverse disruptions of the wood occur. Such effects are characteristic of samples of oak.

Conservation. We have tested the method of drying humid archaeological wood by freezing it so that ice evaporates from the sample omitting the liquid phase. The process was conducted in a vacuum chamber under negative temperatures. Preliminarily, the samples were impregnated with polyethylene glycols having different characteristics. When selecting a method of conservation, a differentiated approach is necessary with taking into account such factors as the species of the wood, extent of its destruction and density, as well as the shape and volume of the object to be conserved.