

Исследование влияния воды Финского залива на химический состав и прочность древесины при длительной эксплуатации

С. И. Миронова, И.А. Кудрявцев

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург*

Аннотация: В статье показана значимость анализа состояния прочностных качеств старой древесины при проведении реставрационных работ и мониторинга состояния конструкции. В частности, анализируются физико-механические свойства древесины при длительной эксплуатации в водной среде. Определены изменения в химическом составе древесины в результате эксплуатации в воде Финского залива. На примере бревен ряжевого фундамента форта Кроншлот описано как изменение химического состава материала влияет на его прочностные свойства.

Ключевые слова: механические свойства древесины, длительная прочность, химический состав древесины, водорастворимые экстрактивные вещества.

Ряжевые, свайные и другие виды деревянных сооружений возводились с давних пор в большом количестве, в качестве подводных оснований для сооружений из других материалов [1]. Дешевизна, достаточная прочность и долговечность подводных деревянных сооружений ставили дерево на одно из первых мест среди других материалов, применяемых в этой области строительства [2].

На основании опыта многовековой эксплуатации древесины морских гидротехнических сооружений установилось мнение, что дерево способно неограниченно сохраняться под водой, если в море отсутствуют древоточцы. Однако ряд исследований показал, что в некоторых случаях древесина в морской воде сохраняется хуже, чем в пресной [3].

В наши дни сооружения, фундаменты которых включают в себя деревянные ряжи, зачастую являются памятниками культурного наследия, сохранение которых важнейшая задача [4]. Одним из примеров сооружения, воздвигнутого на ряжевых фундаментах, является форт Кроншлот, реставрация которого проходит в настоящий период [5].

В данной работе приводится результат исследования сосновых бревен, положенных в ряж фундамента в 1824 г. Их диаметр составлял 26 см, а длина 1,5 м. В результате осмотра материала было установлено, что центральная часть (ядровая) бревна имела светлую окраску и была не поврежденной. Периферийная часть (заболонная древесина) имела темно-серый цвет (см. рис. 1). Наружная часть заболони пронизана многочисленными радиальными трещинами (см. рис. 2) на глубину 0,5 – 2 см. Площадь разрушенной части составила 15 – 20 % всей площади поперечного сечения образца. Ширина годичных слоев от 0,4 до 5,1 мм. Плотность древесины составила 370 кг/м³.

По причине наличия большого количества дефектов (трещин) темно-серая древесина не использовалась для определения физико-механических характеристик изучаемого материала.



Рис. 1. Образцы из светлой и темно-серой древесины

С целью выявления влияния воды Финского залива на прочностные свойства и химический состав древесины ряжа, были проведены испытания.

Для испытаний было подготовлено по 10 образцов на каждый вид напряженного состояния: сжатие вдоль (ГОСТ 16483.10-73*) и поперек



Рис. 2. Трещины периферийной части бревна

волокон (ГОСТ 16483.11-72*), скалывание вдоль волокон (ГОСТ 16483.5-73*), растяжения (ГОСТ 16483.23-73*) и изгиба (ГОСТ 16483.9-73*). Исследования проводились на машине испытательной универсальной

Instron 5966 в испытательном центре СПбГАСУ, сектор механических испытаний строительных конструкций. Скорость приложения нагрузки составляла 4 мм/мин. Влажность образцов перед испытаниями определялась весовым способом и составила 20 %.

С целью анализа изменений физико-механических показателей материала был проведен химический анализ [6] для светлой и темно-серой древесины бревна. Данное исследование выполнялось на базе кафедры целлюлозно-бумажного производства СПб ЛТУ. Также для определения содержания различных химических элементов в исследуемом материале была выполнена рентгенофлуоресцентная спектроскопия на спектрометре марки Bruker Jaguar [7].

В таблице 1 представлены результаты испытаний моренной сосны, приведенные к стандартной влажности 12%. Также, для сравнения, приведены аналогичные показатели у стандартных образцов сосны по данным Б.П. Уголева [8].

Таблица 1.

Значение временного сопротивления по видам напряженного состояния образцов

№	Наименование напряженного состояния	Временное сопротивление сосны ряжа, МПа	Временное сопротивление сосны стандартного образца, МПа
1	Сжатие вдоль волокон	18,56	48,5
2	Сжатие поперек волокон	1,67	5,1
3	Скалывание вдоль волокон	3,62	6,5
4	Растяжение Вдоль волокон	55,97	100
5	Изгиб	70,36	86
6	Модуль упругости	1581,83	10000

Результаты химического анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты химического анализа

№	Наименование	Светлая часть сосны ряжа	Темно-окрашенная часть сосны ряжа	Сосна стандартного образца
1	Зольность, %	0,181	0,341	0,16
2	Целлюлоза, %	58,176	58,572	50,6
3	Лигнин, %	29,517	30,133	27,5
4	Количество веществ, растворимых в горячей воде	0,265	0,101	2,6
5	Количество веществ растворимых в ацетоне	0,878	0,566	19,14

Рентгенофлуоресцентный спектральный анализ показал наличие в полостях клеток металлов. Перечень и количество химических элементов светлой и темноокрашенной частей, представлены в таблице 3. Для удобства сравнения также указаны виды металлов присутствующих в древесине сосны стандартного образца [8].

Таблица 3. Химические элементы в древесине

№	Наименование	Концентрация, %		
		Светлая часть сосны ряжа	Темно-окрашенная часть сосны ряжа	Сосна стандартного образца
1	Гафний (Hf)	0,1455	0,1493	–
2	Сурьма (Sb)	0,6276	0,6569	–
3	Кальций (Ca)	0,3950	0,2222	0,208
4	Натрий (Na)	0,1547	0,1262	0,016
5	Железо (Fe)	0,3189	1,053	0,038
6	Висмут (Bi)	0,1167	–	–
7	Свинец (Pb)	0,1134	–	–
8	Кадмий (Cd)	0,0371	0,1520	–
9	Хлор (Cl)	0,0114	0,2530	–
10	Марганец (Mn)	–	–	0,030
11	Калий (K)	–	–	0,472
12	Сера (S)	–	–	0,087
13	Фосфор (P)	–	–	0,127
14	Кремний (Si)	–	–	0,055
15	Магний (Mg)	–	–	0,123
16	Алюминий (Al)	–	–	0,041
17	Азот (N)	–	–	2,090

Приведенные в таблице 1 данные показали, что прочностные характеристиками моренной сосны меньше аналогичных показателей у стандартных образцов, приведенных в справочной литературе. Максимальное снижение наблюдается у модуля упругости. Этот показатель уменьшился в 6 раз, так как древесина размягчается в воде и теряет свою жесткость. Это явление также можно объяснить тем, что экстрактивных водорастворимых веществ у исследуемых образцов достаточно мало (см. табл. 2). Экстрактивные вещества находятся не только в полостях клеток, но и пропитывают стенки клеток древесины, таким образом делая их более гибкими [9, 10]. За длительное время нахождения в воде они были вымыты, и древесина стала более хрупкой.

Прочность на:

- сжатие поперек волокон снизилась в 3 раза;
- сжатие вдоль волокон в 2, 6 раза;
- скалывание и растяжение вдоль волокон снизились в 1,8 раза;
- на изгиб в 1,2 раза.

В материале, длительно эксплуатируемом, снижается прочность сцепления ранней и поздней древесины, что объясняется более быстрым разрушением стенок ранней древесины из-за их незначительной толщины, особенно при сжатии [11].

Незначительное снижение прочности на скалывание вдоль волокон (по сравнению с другими показателями) можно объяснить тем, что разрушение проходило в радиальной плоскости, где площадь контакта ранней и поздней древесины была меньше [11].

Существенное влияние на прочностные свойства оказывает увеличенная зольность материала [6]. Значительная величина этого показателя указывает на наличие повышенного количества минеральных

веществ в древесине. Учитывая, что на воды, омывающие форт, существенное влияние оказывало загрязнение из-за трудовой деятельности человека [12] в исследуемом материале обнаружено много химических элементов. Этим фактором объясняется наличие в материале тяжелых металлов (см. таблицы №1, 2). В темно-серой древесине концентрация металлов выше, кроме кальция, что свидетельствует о значительном разрушении клеток древесины. Исходя из данных, представленных в таблицах 1, 2, 3 можно сделать вывод, что основными факторами, повлекшими снижение прочностных свойств древесины, являются:

- отсутствие калия и снижение количества кальция, основных химических элементов, образующих клетку древесины;
- уменьшение концентрации экстрактивных веществ;
- увеличение зольности, особенно в периферийной части бревна.

Изменение химического состава древесины ряжевого фундамента обусловлено процессом диффузии, скорость которого значительно увеличивалась под воздействием знакопеременных нагрузок, вызванных постоянным движением волн. Динамика волнового воздействия отличается значительной изменчивостью как по силовой нагрузке, так и по пространственному распределению. При малых глубинах (ряжевые фундаменты находятся на глубине 3...5 м) волна достигает дна, захватывает песок и перемещает его на ряжи фундамента. Песок оказывает абразивное влияние на конструкцию, что также способствует ее разрушению.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 22С24 при финансовой поддержке гранта СПб ГАСУ.

Литература

1. Фаткуллина, А. О., Возняк Е. Р. Деревянный фундамент в первой трети XVIII века в Санкт-Петербурге / Архитектурные сезоны в СПбГАСУ: Сборник материалов XII Регионального творческого форума с
-

международным участием, Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – С. 57-58.

2. Каган М.Е. Физико-механические свойства древесины свай, длительно находившихся в воде Каспийского моря. М. Вестник МИСИ. Исследования по деревянным конструкциям. [Сборник трудов №13] / Под общ. ред. доц. канд. техн. наук В.В. Большакова и проф. д-ра техн. наук М.Е. Кагана. - Москва: Госстройиздат, 1958. - 223 с.

3. Казанцева, Т.И. Физико-механические свойства древесины с акватории Саяно-Шушенского водохранилища. Материалы конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса», 2021. – С. 123-128.

4. Шашкин А. Г., Ступак Н. Н., Хисамов Р. Р. Форт "Император Петр I" Кронштадтской крепости: история строительства и современное техническое состояние / Геотехника. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 20-39.

5. Шашкин А. Г., Улицкий В. М., Волобой С. А. Форт "Кроншлот" - история и современность / Геотехника. – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 32-50.

6. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб: СПбЛТА, 1999. 628 с.

7. Мухамедова, М. М., Г. В. Пашкова Применение рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением для определения элементного состава объектов окружающей среды / Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая: Материалы V-ой международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Кызыл, 2018. – С. 156-158.

8. Уголев Б. Н. Проблемы древесиноведения и научные основы лесных технологий // Лесной вестник (1997-2002). – 1998. – № 1. – С. 21-28.

9. Цапаев, В. А. Оценка модуля упругости древесины конструкций / Жилищное строительство. – 2003. – № 2. – С. 11-13.

10. Shniewind A. On the influence of moisture content changes on the creep of beech wood perpendicular to the grain including the effects of temperature and temperature changes. Holz Roh Werkstoff. 1966. 24:87–98.

11. Ishimaru Y., Yamada Y., Iida I., Urakami H. Dynamic viscoelastic properties of wood in various stages of swelling. Mokuzai Gakkaishi. 1996. 42:205–257.

12. Зайцева, А. И. Некоторые вопросы применения водного кодекса в отношении загрязнений акватории Финского залива сточными и льяльными водами / Океанский менеджмент. 2019. № 1(4). С. 22-25.

References

1. Fatkullina, A. O., Voznyak E. R. Arxitektury`e sezony` v SPbGASU: Sbornik materialov XII Regional`nogo tvorcheskogo foruma s mezhdunarodny`m uchastiem, Sankt-Peterburg. Sankt-Peterburgskij gosudarstvenny`j arxitekturostroitel`ny`j universitet, 2022. Pp. 57-58.

2. Kagan M.E. M. Vestnik MISI. Sbornik trudov №13 Pod obshh. red. docz. kand. texn. nauk V.V. Bol`shakova i prof. d-ra texn. nauk M.E. Kagana. Moskva Gosstrojizdat, 1958. 223 p.

3. Kazanceva, T.I. Materialy` konferencii «Aktual`ny`e problemy` i perspektivy` razvitiya lesopromy`shlennogo kompleksa», 2021. Pp. 123-128.

1. 4. Shashkin A. G., Stupak N. N., Xisamov R. R. Geotexnika. 2021. T. 13, № 1. Pp. 20-39.

5. Shashkin A. G., Uliczkij V. M., Voloboj S. A. Geotexnika. 2021. T. 13, № 3. Pp. 32-50.

6. Azarov V. I., Burov A. V., Obolenskaya A. V. [Chemistry of wood and synthetic polymers SPb]. SPbLTA, 1999. 628 p.



7. Muxamedova, M. M., G. V. Materialy` V-oj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molody`x ucheny`x, aspirantov i studentov, Ky`zy`l, 2018. Pp. 156-158.
8. Ugolev, B. N. Lesnoj vestnik (1997-2002). 1998. № 1. Pp. 21-28.
9. Сераев, V. A. Zhilishhnoe stroitel`stvo. 2003. № 2. Pp. 11-13.
10. Shniewind A. Holz Roh Werkstoff. 1966. 24:87–98
11. Ishimaru Y., Yamada Y., Iida I., Urakami H. Mokuzai Gakkaishi. 1996. 42:205–257.
12. Zajceva, A. I. Okeanskij menedzhment. 2019. № 1(4). Pp. 22-25.

Дата поступления: 6.07.2024

Дата публикации: 16.08.2024