

УДК 630*81+547.992.3

РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛИГНОУГЛЕВОДНОЙ МАТРИЦЫ ЛИСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ (НА ПРИМЕРЕ ОСИНЫ *POPULUS TREMULA*)**М.А. Пустынная¹, асп.**М.А. Гусакова¹, канд. техн. наук, зав. лабораторией**К.Г. Боголицын^{1,2}, д-р хим. наук, проф.*

¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН, наб. Северной Двины, 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: lobanova2806@gmail.com; тел.: (8182) 28-55-40

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

В настоящее время спрос на волокнистые полуфабрикаты для изготовления бумаги и картона существенно возрастает в результате увеличения их потребления. Совершенствование структуры потребления древесного сырья предусматривает увеличение доли быстрорастущей лиственной древесины, направляемой на переработку. Для управления технологическими процессами и качеством продукции необходимы данные о строении, составе и свойствах древесины, закономерностях превращения компонентов древесины на молекулярном и надмолекулярном уровнях при химическом и физическом воздействиях. Ряд таких факторов, как комплекс природно-климатических условий, возраст дерева и время рубки, оказывают влияние на содержание и распределение основных компонентов древесины даже в пределах одного вида. В последние десятилетия наблюдается активный интерес к древесине осины как с точки зрения генетических и биохимических исследований, так и с точки зрения перспективности сырья для целлюлозно-бумажной промышленности при выработке химико-термомеханической массы и др. волокнистых материалов. Цель работы – показать влияние абиотических факторов и продолжительности жизни на компонентный состав лиственной быстрорастущей древесины на примере осины. Для достижения поставленной цели необходимо: исследовать химический состав разновозрастной древесины осины, отобранной в разных климатических зонах; оценить влияние абиотических факторов на изменение содержания основных компонентов древесины и продолжительности жизни дерева на изменение содержания основных компонентов древесины. Для исследования была взята стволовая часть серокорой древесины осины (*Populus tremula*) возрастом от 10 до 45 лет. Полевой материал собран в естественных насаждениях в летний период на территории зон северной и средней тайги. В работе представлены результаты исследования компонентного состава разновозрастной древесины осины. Для достоверной оценки общего содержания лигнина в древесине осины необходимо учитывать содержание кислоторастворимой фракции. В более мягких климатических условиях зоны средней тайги по сравнению с зоной северной тайги преобладает биосинтез углеводных компонентов, что отражается в повышенном содержании целлюлозы в древесине. Полученные данные свидетельствуют о наличии зависимости содержания целлюлозы и лигнина от абиотических факторов, а также от возраста

*Работа выполнена в рамках проекта молодых ученых УрО РАН (№ 14-5-НП-156) и при поддержке программы Президиума РАН (проект № 12-П-5-1021) на оборудовании ЦКП КТ РФ-Арктика (ИЭПС, ИФПА УрО РАН).

древесины. Можно отметить незначительные колебания содержания спирторастворимых экстрактивных веществ с возрастом, преимущественно этот показатель стабилен.

Ключевые слова: осина, абиотические факторы, целлюлоза, кислоторастворимый лигнин, лигнин Класона, экстрактивные вещества, легкогидролизуемые полисахариды.

Спрос на волокнистые полуфабрикаты для изготовления бумаги и картона существенно возрастает в результате увеличения их потребления. С одной стороны, для поддержания устойчивого развития целлюлозно-бумажной отрасли необходимо принять меры для сохранения стабильных поставок сырья, с другой, природоохранное законодательство оказывает давление на промышленность в целях сохранения леса [12, 22]. Таким образом, совершенствование структуры потребления древесного сырья предусматривает увеличение доли быстрорастущей лиственной древесины, направляемой на переработку.

Для совершенствования технологических процессов и управления качеством продукции необходимы данные о строении, составе и свойствах древесины, закономерностях превращения компонентов древесины на молекулярном и надмолекулярном уровнях при химическом и физическом воздействиях. Ряд таких факторов, как комплекс природно-климатических условий, возраст дерева и время рубки, оказывают влияние на содержание и распределение основных компонентов древесины даже в пределах одного вида [7, 17, 18].

В последние десятилетия наблюдается активный интерес ученых к древесине осины как с точки зрения генетических и биохимических исследований [8], так и с точки зрения перспективности сырья при выработке химико-термомеханической массы и др. волокнистых материалов [2, 6, 12].

Осина (*Populus tremula*) относится к семейству ивовых (*Salicaceae*) и входит в род тополь (*Populus*). Рассматривая биолого-технические особенности осины, важно отметить быстроту роста, продуктивность, нетребовательность к почве, а также обширный ареал произрастания [16].

Цель работы – изучение влияния абиотических факторов и продолжительности жизненного цикла на компонентный химический состав лиственной быстрорастущей древесины осины.

Для исследования взята стволочная часть серокорой древесины осины возрастом от 10 до 45 лет. Полевой материал отобран на территории зон северной и средней тайги Архангельской области в летний период. Тип леса черничный. Согласно методике расчета оптимального объема выборки, представленной в работе [10], число образцов для исследования составляло 17. Тестовые площадки для отбора проб осины находились вне зоны антропогенного и техногенного влияния, характеристика районов отбора представлена в табл. 1 [1].

Таблица 1

Краткая характеристика районов отбора осины

Тестовая площадка	Средняя температура, °С		Годовое количество осадков, мм	Средняя продолжительность безморозного периода, дн.	Число дней в году с устойчивой температурой выше 5 °С
	января	июля			

Северотаежная зона	-12,9	15,6	509	86	120
Среднетаежная зона	-13,1	17,3	505	110	150

Возраст древесины определяли по количеству годичных колец на поперечных срезах у корневой шейки стволов осины. Для химического анализа использовали опилки (фракция 2 мм), приготовленные из воздушно-сухого сырья. Анализ проводили по стандартным методикам [19].

Наиболее распространенным в литературе аналитическим методом количественной оценки содержания лигнина в растительных тканях является кислотный гидролиз, в частности сернокислотный метод (метод Класона) [18, 21]. Следует отметить, что если для древесины хвойных пород определение лигнина по Класону дает достоверные результаты, то для лиственных характерны значительные погрешности анализа, связанные с растворением лигнина и переходом его в раствор вследствие частичной гидролитической фрагментации [4, 5, 20]. По данным [13] при анализе древесины лиственных пород содержание кислоторастворимого лигнина составляет 15...68 % от общего содержания лигнина, в раствор преимущественно переходят сиригинилпропановые структурные единицы.

Термин «растворимый лигнин» стал использоваться в химии после исследования К. Шторха, который выяснил локализацию и свойства этого компонента древесины [15]. Данные о кислоторастворимом лигнине активно обсуждались в литературе с 60-х годов прошлого века; его изучением занимались такие зарубежные специалисты, как В.Г. Кэмпбелл [24], К. Фрейденберг [25], Б.Л. Броунинг [23] и др. Однако при всем объеме информации по лигнину данные о выходе и составе кислоторастворимого лигнина отрывочны. Лишь некоторые исследователи в своих работах сообщают о содержании кислоторастворимого лигнина ряда лиственных пород.

Общее содержание лигнина в древесине вычисляли как сумму фракций кислотонерастворимого (лигнин Класона) и кислоторастворимого лигнинов.

Содержание кислоторастворимого лигнина определяли методом УФ-спектроскопии при длине волны 278 нм на УФ-спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония), в качестве эталона использовали препарат диоксанлигнина осины (30 лет), выделенный по методу Пеппера [9]. Для удаления фурфурола, имеющего максимум поглощения также при длине волны 278 нм, применяли кипячение реакционной смеси в течение 5 ч в открытом стакане при поддержании постоянного объема жидкости. Содержание кислотораствори-

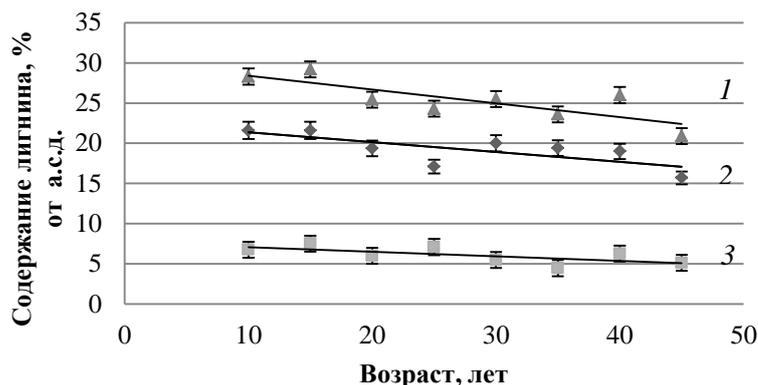


Рис. 1. Зависимость содержания лигнина от возраста осины:
1 – общий лигнин, 2 – лигнин Класона, 3 – кислоторастворимый лигнин

мого лигнина в анализируемых образцах древесины осины всего возрастного диапазона составляет 4,28...6,77 % от абс. сухой древесины (а.с.д.) (рис. 1).

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что для получения достоверных значений общего содержания лигнина в древесине осины необходимо учитывать содержание кислоторастворимой фракции, которая увеличивает содержание общего лигнина в древесине на 18...20 %.

Для оценки влияния условий произрастания на содержание основных компонентов выбраны образцы древесины возрастом 30... 35 лет, так как в данном диапазоне осина на территории Архангельской области признается технически спелой [11, 16]. Согласно данным, представленным в работе [10], число образцов, достаточное для получения репрезентативных оценок составляет не менее 5. В связи со сложностью отбора проб и продолжительностью анализа было определено число деревьев в возрастном диапазоне 30...35 лет:

3 – для зоны северной тайги, 3 – для зоны средней тайги.

Различия в содержании основных компонентов оценивали по критерию Стьюдента $t_{\text{крит}}$. Математическая обработка результатов показала отсутствие существенных различий в содержании общего лигнина и легкогидролизуемых полисахаридов, однако различия в содержании целлюлозы для зон север-

Таблица 2

Зависимость содержания (% от а.с.д.) основных компонентов древесины осины от условий места произрастания

Тестовая площадка	Целлюлоза	Лигнин общий	Легкогидролизуемые полисахариды
Северотаежная зона	48,1±2,5	27,1±1,8	14,6±1,1
Среднетаежная зона	53,6±2,1	23,4±2,4	15,3±0,7

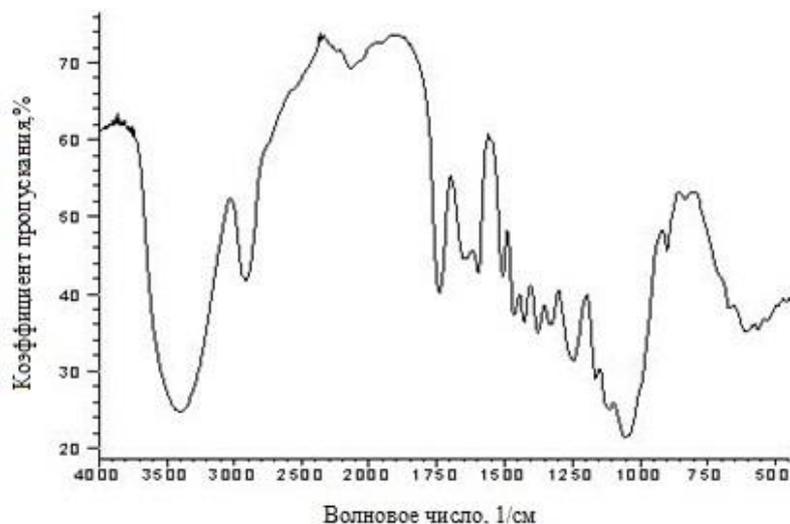


Рис. 2. ИК-спектр древесины осины (30...35 лет)

ной и средней тайги признаны значимыми. Содержание экстрактивных веществ, извлекаемых этиловым спиртом, составляет 3,9 и 2,8 % от а.с.д. для зон северной и средней тайги соответственно, содержание минеральной составляющей изменяется в узком диапазоне: $0,51 \pm 0,05$ % от а.с.д.

В целях подтверждения данных о компонентном составе древесины осины, полученных химическими методами, и его изменении в процессе биосинтеза были записаны ее ИК-спектры (рис. 2).

ИК-спектры регистрировали на ИК Фурье-спектрофотометре IRAFFINITY-1 (Shimadzu, Япония) в диапазоне $4000 \dots 400 \text{ см}^{-1}$ при разрешении 2 см^{-1} (образец запрессовывали с бромидом калия в таблетки). Для характеристики относительного содержания лигнина выбрана полоса при 1510 см^{-1} , обусловленная поглощением ароматических колец гваяцильного типа, для углеводной составляющей – 1060 см^{-1} , обусловленная валентными асимметричными колебаниями простых эфирных связей. Интенсивности полос определены относительно базовой, которую для всех ИК-спектров древесины проводили по волновым числам 4000, 3700, 2700, 1800, 850 см^{-1} с помощью программы «IR solution». Для характеристики относительного содержания лигнина и углеводного компонента в образцах древесины рассчитана их относительная оптическая плотность $K = D_v / D_{vi}$ (где D_v – оптическая плотность полосы поглощения компонента; D_{vi} – оптическая плотность полосы поглощения внутреннего стандарта).

Полученные результаты показали, что изменение относительной оптической плотности основных компонентов древесины согласуется с данными химического анализа: лигнин – $K_{\text{лиг}} = 0,65$ и $0,61$; целлюлоза – $K_{\text{цел}} = 0,23$ и $0,38$ для зон северной и средней тайги соответственно.

Известно, что природные условия северной и средней тайги в основном связаны с особенностями климата. На севере области климат менее континентальный, что обусловлено влиянием Белого и Баренцева морей. Температура как неотъемлемая составляющая климата определяет продолжительность вегетационного периода, влияет на рост дерева в высоту и толщину. Большой примерно в 1,5 раза вегетационный период на юге области влияет на строение и свойства древесины и ее компонентов. Продолжительность периода вегетации в совокупности с

освещенностью определяет интенсивность процессов фотосинтеза, а значит, и интенсивность образования субстратов основных компонентов древесины. По завершению формирования оболочки клетки в камбиальном слое начинается процесс утолщения клеточной стенки (синтез углеводов) и отложение лигнина, причем формирование последнего идет с запозданием [14]. Можно предположить, что продолжительность вегетационного периода в первую очередь определяет ход образования углеводной составляющей древесного вещества.

Таким образом, климатические условия зоны средней (юг области) тайги способствуют протеканию биосинтеза углеводных компонентов, что отражается в повышенном содержании целлюлозы (в среднем 53,6 %) по сравнению с зоной северной тайги (в среднем 48,1%).

Изменение содержания основных компонентов древесины от возраста оценивали для образцов осины, отобранных на территории средней тайги (табл. 3). Тестовые площадки выбирали таким образом, чтобы они обладали схожими природно-климатическими (см. табл. 1) и эдафическими условиями (черничный тип леса, подстилающие породы – активные формы карста).

С одной стороны, территория, где выбраны тестовые площадки, является лесосырьевой базой крупнейших предприятий целлюлозно-бумажной промышленности России (ОАО «Группа ИЛИМ» (г. Коряжма), ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК», ОАО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат»), использующих осину наряду с березой в качестве сырья для выработки волокнистых полуфабрикатов. С другой стороны, происходит естественное

Таблица 3

**Содержание основных компонентов древесины (% от а.с.д.)
в зависимости от возраста**

Возраст, лет	Целлюлоза	Лигнин общий	Легкогидролизуемые полисахариды	Экстрактивные вещества	Минеральные вещества
10	45,6	28,3	14,6	4,7	0,3
15	45,6	29,2	14,3	4,9	0,2
20	50,7	25,4	14,6	3,3	0,7
25	52,4	24,3	14,9	3,4	0,6
30	50,4	25,5	15,0	3,0	0,5
35	51,0	23,6	15,3	3,0	0,6
40	49,7	26,0	15,4	2,3	0,5
45	52,2	20,9	15,5	3,5	0,5

лесовосстановление, а осина занимает лидирующее положение из-за своих биологических особенностей. Поэтому прирост площадей, занимаемых осиной, обеспечивается в основном за счет территорий, пройденных сплошными рубками или лесными пожарами в хорошо освоенных регионах с развитой транспортной инфраструктурой, где промышленная заготовка древесины для лесоперерабатывающих предприятий наиболее рентабельна [17].

Согласно табл. 3 и литературным данным, динамику формирования лигноуглеводного комплекса от возраста можно представить следующим образом: на ранних стадиях роста и развития (до 20 лет) для осины характерен преимущественный рост в высоту. Прирост клеток в данном случае характеризуется преимущественным протеканием процессов лигнификации древесного вещества по сравнению с более зрелыми деревьями [3], что выражается в повышенном содержании лигнина. Дальнейшее развитие (после 25 лет) характеризуется интенсивной работой клеток камбия, отвечающих за утолщение ствола, что приводит к увеличению углеводной составляющей. С возрастом содержание спирторастворимых экстрактивных веществ изменяется незначительно: 3,52...4,65 % от а.с.д.

Выводы

1. Климатические факторы являются определяющими в процессах биосинтеза углеводных компонентов, что отражается в повышенном содержании целлюлозы в древесине осины средней тайги (в среднем 53,6 %) по сравнению с северной тайгой (в среднем 48,1 %).
2. Продолжительность жизненного цикла оказывает влияние на компонентный химический состав древесины осины: на ранних стадиях роста и развития (до 20 лет) характерно преобладание процессов биосинтеза лигнина, что выражается в повышенном его содержании, дальнейшее развитие (после 25 лет) характеризуется интенсификацией процессов биосинтеза углеводной составляющей и, как следствие, увеличением содержания целлюлозы.
3. При определении лигнина древесины осины по методу Класона доля кислоторастворимой фракции составляет 20...25 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Архангельской области / Под ред. Д.Ф. Федорова. М.: ГУГК, 1976. 72 с.
2. Аким Э.Л., Молотков Л.К. Проект «Лиственница». Биорефайнинг осины // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 8. С. 26–31.
3. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесн. жур. 2013. № 2. С. 45–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Боголицын К.Г., Резников В.М. Химия сульфитных методов делигнификации. М.: Экология, 1994. 420 с.
5. Браунс Ф.Э., Браунс Д.А. Химия лигнина. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 864 с.
6. Бучельникова Я.В. Особенности использования осинового сырья при производстве химико-термомеханической массы: дис. ... канд. техн. наук: М., 2011. 146 с.
7. Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 500 с.
8. Горшкова Т.А. Биогенез растительных волокон. М.: Наука, 2009. 260 с.
9. Грушников О.П., Елкин В.В. Достижения и проблемы химии лигнина. М.: Наука, 1973. 296 с.
10. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 104 с.
11. Елисеев С.Г. Технические и эксплуатационные свойства древесины морфологических форм осины: дис. ... канд. тех. наук. Красноярск, 2010. 119 с.

12. Желдак В. Вопросы совершенствования нормативно-методического регламентирования лесоводственных мероприятий, сохранения и усиления экологической, природоохранной роли лесов // Устойчивое лесопользование. 2013. № 1 (34). С. 45 – 52.
13. Зарубин М.Я. Реакция лигнина при сольволизе растворами кислот и оснований: дис. ... д-ра хим. наук. Л., 1976. 429 с.
14. Зубов И.Н., Хвилюзов С.С., Лобанова М.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г. Влияние абиотических факторов на формирование лигноуглеводной матрицы древесины можжевельника // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 113–120. (Изв. высш. учеб. заведений).
15. Лебедев К.К. Исследования по химии лигнина. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 292 с.
16. Михайлов Л.Е. Осинники: монография. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 119 с.
17. Неволин В.Ф., Полубояринов О.И., Зарудная Г.И. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы. В 3 т. Т.1 Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. I. СПб.: ЛТА, 2002. 432 с.
18. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 711 с.
19. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.Л. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
20. Лигнины / Под ред. К.В. Сарканена и К.Х. Людвига; пер. с англ. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 632 с.
21. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции). М.: Лесн. пром-сть, 1988. 512 с.
22. Чуйко В.А. Тенденции развития российской ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2012. № 1. С. 3 –7.
23. Browning B.L., Publitz I.O. The isolation of holocellulose from wqqd // Tappi. 1953. Vol. 36, N. 10. P. 452–458.
24. McDonald I.R.C., Campbell W.G. Acid-soluble Lignin // Nature. 1952. N 169. P. 33.
25. Stumpf W., Freudenberg, K. Losliches Lignin aus Fichten-und Buchenholz // Angew. Chem. 537 p.

Поступила 15.04.14

UDC 630*811; 630*812/813; 547.992.3

The Regional and Age-Related Changes of Hardwood Lignin-Carbohydrate Matrix Chemical Composition in Terms of Aspen (*Populus Tremula*)

M.A. Pustynnaya¹, Postgraduate

M.A. Gusakova¹, Candidate of Engineering

K.G. Bogolitsyn^{1,2}, Doctor of Chemistry, Professor

¹Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of the Russian Academy

of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000; Russia;

e-mail: lobanova2806@gmail.com; ph.: (8182) 28-55-40

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia

The demand for semi-finished fiber for paper and paperboard manufacturing is increased significantly as a result of their consumption. Improvement of wood raw material consumption structure leads to increase of fast-growing hardwood allocated for processing. Data on the structure, composition and properties of wood, wood components transformation regularities at the molecular and supramolecular levels in the chemical and physical impacts are needed for the industrial processing control and product quality. Several factors, such as complex of climatic conditions, age of a tree and felling time, influence on the content and distribution of the main components of wood, even within the same species. In recent decades many scientists pay their attention to the aspen wood in genetic and biochemical studies, and consider the aspen wood as a potential raw material for the pulp and paper industry in the development of chemi-thermomechanical pulp and some other fibrous materials. The purpose of this paper is to show the influence of abiotic factors and lifetime on the chemical composition of the fast-growing hardwood in terms of an aspen. To achieve this purpose it is necessary to:

- investigate the chemical composition of mixed-age aspen wood, selected in different climatic zones;
- evaluate the influence of abiotic factors on the content of the main components of wood;
- assess the impact of the tree life time to change the content of basic chemical components of wood.

The stick of aspen age from 10 to 45 years was felled for the study. Aspen wood was collected in the natural stands in the summer on the territory of the northern and central areas of the taiga. The paper presents the results of a study of volume components of the all-aged wood of aspen (*Populus tremula*). For a reliable assessment of the total value of the lignin content at aspen wood it is necessary to consider the content of acid-soluble fraction, which increases the value of lignin in wood. Mild climate conditions of the middle taiga allow the carbohydrate components biosynthesis to dominate, which is reflected in the higher content of cellulose compared with the samples from the northern taiga. These data indicate the dependencies of the content of cellulose and lignin on the abiotic factors, and the dependencies of the age of wood and the lignin content. As for the changes in the content of alcohol-soluble extractives with aging we can note the minor variations and the stable pattern in their content.

Keywords: aspen, abiotic factors, cellulose, acid-soluble lignin, Klason lignin, extractives, hydrolyzable polysaccharides.

REFERENCES

1. *Atlas Arhangel'skoj oblasti* [Atlas of the Arkhangelsk Region]. Ed. by D.F. Fedorov. Moscow, 1976. 72 p.
2. Akim E.L., Molotkov L.K. Proekt «Listvennica». Biorefajning osiny [The Project "Larch". Biorefayning of Aspen]. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 2011, no. 8, pp. 26 - 31.
3. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Obrazovanie i lignifikacija ksilemy pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj [Formation and Lignification of the Xylem of Scots Pine Seed-Production Trees]. *Lesnoj zhurnal*, 2013, no. 2.

4. Bogolitsyn K.G., Reznikov V.M. *Himija sul'fitnyh metodov delignifikacii* [Chemistry of Sulfite Methods of Delignification]. Moscow, 1994. 420 p.
5. Brauns F.E., Brauns D.A. *Himija lignina* [Chemistry of Lignin]. Moscow, 1964. 864 p.
6. Buchelnikova Ya.V. *Osobennosti ispol'zovanija osinovej drevesiny pri proizvodstve himiko-termomehanicheskoj massy*: dis. ... kand. tech. nauk [Usage Features of Aspen Wood in the Manufacture of Chemithermomechanical Pulp: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 2011. 146 p.
7. Geles I.S. *Drevesnoe syr'e - strategicheskaja osnova i rezerv civilizacii* [Wood Raw Materials - a Strategic Framework and Provision of Civilization]. Petrozavodsk, 2007. 500 p.
8. Gorshkova T.A. *Biogenez rastitel'nyh volokon* [Biogenesis of Plant Fibers]. Moscow, 2009. 260 p.
9. Grushnikov O.P., Yolkin V.V. *Dostizhenija i problemy himii lignina* [Achievements and Challenges of Lignin Chemistry]. Moscow, 1973. 296 p.
10. Ivanter E.V., Korosov A.V. *Jelementarnaja biometrija* [Elementary Biometrics]. Petrozavodsk, 2010. 104 p.
11. Yeliseev S.G. *Tehnicheskie i jekspluacionnyje svojstva drevesiny morfologicheskij form osiny*: dis. ... kand. tech. nauk [Technical and Operational Properties of Wood of Morphological Forms of Aspen: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 2010. 119 p.
12. Zheldak V. *Voprosy sovershenstvovanija normativno-metodicheskogo reglamentirovanija lesovodstvennyh meroprijatij, sohraneniya i usileniya jekologicheskij, prirodohrannoj roli lesov* [Questions to Improve the Regulatory and Methodical Regulation of Silvicultural Events, Conservation and Consolidation of Ecological, Environmental Role of Forests]. *Ustoichivoye lesopolzovanie*, 2013, no. 1 (34), pp. 45 - 52.
13. Zarubin M.Ya. *Reakcija lignina pri sol'volize rastvorami kislot i osnovanij*: dis. ... dokt. him. nauk [Reaction of Lignin at Solvolysis by Acids and Bases Solutions: Dr. Chem. Sci. Diss.]. Leningrad, 1976. 429 p.
14. Zubov I.N., Khviyuzov S.S., Lobanova M.A., Guskova M.A., Bogolitsyn K.G. *Vlijanie abioticheskij faktorov na formirovanie lignouglevodnoj matricy drevesiny mozhzhevel'nika* [Influence of Abiotic Factors on the Formation of Lignin-Carbohydrate Matrix of Juniper Wood]. *Lesnoj zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 113 – 120.
15. Lebedev K.K. *Issledovanija po himii lignina* [Studies on the Chemistry of Lignin]. Moscow, 1965. 292 p.
16. Mikhailov L.E. *Osinniki: monograf.* [Aspen: Monograph]. Moscow, 1972. 119 p.
17. Nevolin V.F., Poluboyarinov O.I., Zarudnaya G.I. *Tehnologija celljulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Technology of Pulp and Paper Production]. Saint Petersburg, 2002, vol. 1. 432 p.
18. Nikitin N.I. *Himija drevesiny i celljulozy* [Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow – Leningrad, 1962. 711 p.
19. Obolenskaya A.V., Yelnitskaya Z.P., Leonovich A.L. *Laboratornye raboty po himii drevesiny i celljulozy* [Laboratory Works on the Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow, 1991. 320 p.
20. Sarkanen K.V. *Ligniny (struktura, svojstva, reakcii)* [Lignans (Structure, Properties, Reaction)]. Moscow, 1975. 632 p.
21. Fengel D., Vegener G. *Drevesina (himija, ul'trastruktura, reakcii)* [Wood (Chemistry, Ultrastructure, Reactions)]. Moscow, 1988. 512 p.
22. Chuiko V.A. *Tendencii razvitija rossijskoj CBP* [Trends in the Development of the Russian Pulp and Paper Industry]. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 2012, no. 1, pp. 3 -7.
23. Browning B.L., Bublitz I.O. *The Isolation of Holocellulose from Wood*. *Tappi*, 1953, no. 36, pp. 452-458.

24. McDonald I. R. C., Campbell W. G. Acid-Soluble Lignin. *Nature*, 1952, no. 169, p. 33.

25. Stumpf, W., Freudenberg, K. Lösliches Lignin aus Fichten- und Buchenholz. *Angewandte Chemie*, 1950, vol. 62, no. 22, p. 537.

Received on April 15, 2014

